

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TÍTULO A OBTENER

Ingeniero Ambiental

TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Biodiversidad y Potencial de captura de carbono en distintos tipos de bosque de la cuenca alta del Rio Napo.

AUTOR (A)

Gabriela Fernanda Moreno Samaniego

DIRECTOR DEL PROYECTO

PhD. Carlos Alfredo Bravo Medina

PUYO - ECUADOR

2018

DECLARACION DE AUTORÍA Y SESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe, Moreno Samaniego Gabriela Fernanda portadora de la cedula de identidad N° 2200106181-1, hago constar que soy la autora del proyecto de investigación con el título “BIODIVERSIDAD Y POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO EN DISTINTOS TIPOS DE BOSQUE DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO NAPO” el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del asesor de dicho trabajo, Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina en tal sentido, se manifiesta la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo, a la vez cedemos los derechos a la Universidad Estatal Amazónica que pueda realizar publicaciones sobre la misma así como su almacenamiento tanto en medio físico y electrónico.

En la ciudad de Puyo, a los 13 días del mes de julio del dos mil dieciocho.

Moreno Samaniego Gabriela F.

2200106181

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Por medio del presente, Yo, Carlos Alfredo Bravo Medina, con número de cedula 1757015373 certifico que la egresada Moreno Samaniego Gabriela Fernanda realizo el Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado “BIODIVERSIDAD Y POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO EN DISTINTOS TIPOS DE BOSQUE DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO NAPO”, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental bajo mi supervisión.

Dr. Bravo Medina Carlos A, PhD.

1757015373

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: “BIODIVERSIDAD Y POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO EN DISTINTOS TIPOS DE BOSQUE DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO NAPO”, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Puyo 13 de julio del 2018

Ms. Sc. Pedro Ríos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ms. Sc. Jorge Alba
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ms. Sc. Marco Heredia
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado a Dios por haberme dado la oportunidad de vivir y gracias a ello permitirme estar hoy aquí llegando a este momento tan importante de mi formación profesional logrando concluir mi carrera.

En especial dedico este proyecto de grado a mis padres Carlos Moreno y Nivia Samaniego, por haberme dado la vida y estar siempre conmigo apoyándome sin duda alguna en cada proyecto propuesto tanto a nivel personal como profesional y a través de la distancia apoyándome día a día brindándome sus consejos para hacer de mí una mejor persona. Por ser unos padres que con su ejemplo de trabajo y dedicación a lo que hacen me han demostrado que no es necesario tenerlo todo para ser feliz y lograr lo que uno quiere.

A mis hermanos Martha, Carlos, y Juan por brindarme su apoyo de una u otra manera estando cada día conmigo deseándome lo mejor en mi formación y por estar siempre ahí cuando los he necesitado siendo un pilar fundamental.

Dedicado también a mis sobrinos Jheison, Dayana, Scarleth, Joel y a ti bebe que desde el cielo sé que estas con nosotros a todos ustedes que han sido mi inspiración para poder seguir adelante y querer ser una mejor persona cada día.

Gabriela Fernanda Moreno Samaniego

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme permitido vivir y ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de muchas experiencias al alejarme de mi familia para hoy poder estar disfrutando de este momento de la culminación de mi carrera profesional.

Le doy gracias a mis padres Carlos Moreno y Nivia Samaniego por creer en mí y estar en cada uno de los momentos que los he necesitado por ser un ejemplo de vida.

A mis hermanos Martha, Carlos, y Juan por ser parte de mi vida y sobre todo estar ahí apoyándome cuando los he necesitado y dándome sus mejores deseos. En especial le agradezco a mis hermanos Martha y Carlos por darme a mis sobrinos que han sido la motivación para poder seguir adelante.

Agradezco a mis amigos Juan V, Andrés S, Gilmar C, y Yasmin P, a todos ustedes que siempre me han venido deseando sus mejores deseos para lograr mi objetivo propuesto al igual que a ti Julier L, que desde el cielo sé que sigues con nosotros y que mientras estuviste cerca me supiste dar todos tus buenos deseos, también quiero agradecer a mis amigos y compañeros que han estado conmigo durante estos 5 años Gonzalo Tomalá , Marlon Merchan y Carlos Picuña, por ser parte de un mismo sueño estando juntos en los buenos y malos momentos convirtiéndose así en mi familia y compartiendo tantas buenas cosas en todo este lapso de tiempo. Agradeciéndole también a mi amigo y fiel compañero que siempre estuvo ahí durante la redacción de este proyecto Sheldon Moreno.

Y un agradecimiento especial a mi tutor de proyecto de grado PhD. Carlos Bravo por brindarme parte de su tiempo para poder realizar este proyecto con su asesoramiento y guía, agradezco de igual manera a todas las personas amigos y familiares que creyeron en mí.

Gabriela Fernanda Moreno Samaniego

RESUMEN

Debido al preocupante avance de la deforestación y su impacto en el cambio climático actualmente se realiza el estudio de los bosques que cada día cobra mayor interés en especial sobre los servicios ecosistémicos que éstos pueden prestar con énfasis en la biodiversidad y el secuestro de carbono. Bajo este contexto, el objetivo de este trabajo consistió en caracterizar la biodiversidad y el potencial de captura de carbono en distintos tipos de bosque localizados en el Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz de la cuenca alta del río Napo, provincia de Pastaza. Se evaluó la biodiversidad arbórea usando distintos índices ecológicos y de diversidad de árboles (Simpson y Shannon), así como el secuestro de C en distintos componentes (biomasa aérea, suelo y hojarasca). Para ello, se recolectaron muestras de suelo a dos profundidades (0-10cm) y de (10-30cm) mediante un muestreo sistemático, a través de subparcelas para realizar el análisis de biodiversidad y captura de carbono. Los resultados de las variables físicas y químicas para los tres tipos de bosque no mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) para las dos profundidades, resultando en todos los casos en adecuadas condiciones físicas, limitadas condiciones químicas de P, y de bases cambiables. La determinación de biodiversidad y el C total almacenado mediante los índices de Simpson y Shannon indican que estos bosques son biodiversos y brindan un gran aporte para la realización de captura de Carbono. Confirmando el potencial de reducción de emisiones de CO₂ y minimizando los impactos negativos sobre el cambio climático.

Palabras claves: Carbono, Biodiversidad, Bases cambiables, Parcelas, Cambio climático, Simpson, Shannon,

ABSTRACT

Due to the worrying progress of deforestation and its impact on climate change, the study of the forests is becoming increasingly important, especially in the ecosystem services that can pay attention with emphasis on biodiversity and carbon sequestration. In this context, the objective of this work is to characterize biodiversity and the potential to capture in types of forests located in the Mera Canton and the Teniente Hugo Ortiz Parish of the upper Napo river basin, province of Pastaza. Biodiversity was evaluated with various ecological and tree diversity indices (Simpson and Shannon), as well as the C sector in several components (aerial biomass, soil and litter). For this, soil samples were collected at depths (0-10 cm) and (10-30 cm) by systematic sampling, through subplots to perform the analysis of biodiversity and carbon capture. The results of the physical and chemical variables for the three forest types significant differences ($P < 0.05$) for the two depths, resulting in all cases in the same physical conditions, limited chemical conditions of P, and changeable bases. The determination of biodiversity and the degree of total contamination of the Simpson and Shannon indices indicate that these forests are biodiverse and provide a great support for the realization of carbon capture. Confirming the potential of reducing CO₂ emissions and minimizing the negative impacts on climate change.

Keywords: Carbon, Biodiversity, Changeable Bases, Parcels, Climate Change, Simpson, Shannon,

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.....	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. HIPOTESIS.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1. Cambio climático.....	5
2.2. Biodiversidad:.....	5
2.3. Diversidad de flora:.....	6
2.4. Inventario forestal para determinación de carbono:.....	6
2.5. Diversidad florística, almacenamiento de carbono.....	7
2.6. El almacenamiento de Carbono en distintos componentes (Biomasa, suelo, Hojarasca).	8
2.7. Valorización económica de almacenamiento de carbono.	9
2.8. Indicadores de la calidad de suelos.....	10
CAPÍTULO III.....	11
3. MATERIALES Y METODOS.....	11
3.1 Localización.....	11
3.2. Tipo de investigación.....	12
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	12
3.3.1. Análisis Físicos.....	12
3.3.2. Análisis Químicos.....	13
3.3.3. Carbono orgánico del suelo.....	13

3.3.4. Análisis de biodiversidad y potencial de secuestro de carbono de los sistemas agroforestales.	13
3.3.5 Índices de Diversidad.	14
3.3.6. Secuestro de carbono en los distintos usos de la tierra seleccionado.	15
3.3.6.1. Carbono de la Biomasa aérea	15
3.3.6.2. Carbono de la vegetación no arbórea (Hojarasca, Verde).....	15
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACION	16
3.4.1. Diseño experimental.....	16
3.5. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES	17
3.5.1. RECURSOS HUMANOS	17
3.5.2. MATERIALES.....	18
CAPITULO IV	20
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1 Parámetros físicos del suelo bajo distintos tipos de bosque.	20
4.1.1. Densidad aparente (D_a , Mgm^{-3}).....	20
4.1.2. Conductividad hidráulica saturada (K_{sat} cm/h^{-1})	22
4.1.3. Porosidad total (P_t %)	23
4.1.4. Porosidad de aireación (P_a %).....	24
4.1.5. Porosidad de retención (P_r %).....	25
4.2. Parámetros químicos del suelo bajo distintos tipos de bosque.....	26
4.2.1. pH.....	27
4.2.2. Acides intercambiable ($Al^{+3}+H^{+1}$, meq/ 100ml).....	28
4.2.3. Aluminio (Al^{+3} , meq/ 100ml)	29
4.2.4. Fosforo (P $mgkg^{-1}$)	30
4.2.5. Potasio (K^{+1} meq/ 100ml).....	31
4.2.6. Calcio (Ca^{+2} meq/ 100ml)	32
4.2.7. Magnesio (Mg^{+2} , meq/ 100ml)	33
4.2.8. Carbono orgánico del suelo (CO kg/ha).....	34

4.3 FRECUENCIA DE BIODIVERSIDAD ARBÓREA POR FAMILIA EN LOS DISTINTOS TIPOS DE BOSQUE.	35
4.3.1. Bosque Boyacu.....	36
4.3.2. Bosque Simón Bolívar	36
4.3.3. Bosque Unión Llandia.....	37
4.4 CARACTERIZACIÓN DE BIODIVERSIDAD Y EL INDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA (IVI).....	37
4.4.1 Comunidad Boyacu	38
4.4.2 Comunidad Simón Bolívar.....	39
4.4.3 Comunidad Unión Llandia.....	40
4.5 ÍNDICES DE DIVERSIDAD BAJO DISTINTOS TIPOS DE BOSQUE (SIMPSON Y SHANNON).....	41
4.5.4. Comparación de biodiversidad de los tres tipos de bosque.....	42
4.6. SECUESTRO DE CARBONO EN DISTINTOS COMPONENTES PARA LOS TRES TIPOS DE BOSQUE (SUELO, BIOMASA AÉREA Y HOJARASCA).....	43
4.6.1 Carbono Orgánico Total del suelo de la profundidad (0-30cm).....	43
4.6.2 Carbono de la biomasa aérea.....	43
4.6.3 Carbono de la vegetación no arbórea (Hojarasca).....	45
4.6.4. Carbono Total Almacenado de los tres componentes (suelo, biomasa aérea, y hojarasca).	46
CAPITULO V	48
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1. CONCLUSIONES	48
5.2. RECOMENDACIONES	49
CAPITULO VI.....	50
6. BIBLIOGRAFÍA	50
CAPITULO VII	58
7. ANEXOS.....	58

TABLA DE CONTENIDO: FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio de los diferentes tipos de Bosque (Cantón Mera y parroquia teniente Hugo Ortiz).....	11
Figura 2. Esquema para la toma de muestras de suelo bajo los distintos tipos de bosque (Tomado de Bravo et al., 2017).....	16
Figura 3. Esquema para inventario forestal bajo distintos tipos de bosque pertenecientes al Cantón Mera y Parroquia Teniente Hugo Ortiz (Tomado de Bravo et al., 2017)	16
Figura 4. Valores de densidad aparente del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	21
Figura 5. Valores de conductividad hidráulica del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	22
Figura 6. Valores de porosidad total del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	23
Figura 7. Valores de porosidad de aireación del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	24
Figura 8. Valores de porosidad de retención del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	25
Figura 9. Valores de variación de pH del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	27
Figura.10 Valores de acidez ($Al^{+3}+H^{+1}$) del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	28
Figura 11. Valores de Aluminio (Al^{+3}) del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	29
Figura 12. Valores de fósforo del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	30
Figura 13. Valores de potasio del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	31
Figura 14. Valores de Calcio del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	32
Figura 15. Valores de Magnesio del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	33

Figura 16. Valores de Carbono Orgánico total del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.	34
Figura 17. Valores de Frecuencia y Números de Familias del Bosque Boayacu perteneciente al Cantón Mera.	36
Figura 18. Valores de Frecuencia y Números de Familias del Bosque Simón Bolívar perteneciente al Cantón Mera.	36
Figura 19. Valores de Frecuencia y Números de Familias del Bosque Unión Llandia perteneciente a la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	37
Figura 20. Valores de los Índices de Simpson y Shannon bajo los distintos tipos de bosque.	42
Figura 21. Valores del potencial de secuestro de C y retención de CO ² en la biomasa aérea bajo los distintos tipos de bosque.	44
Figura 22. Valores de Carbono Orgánico en hojarasca bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.	46
Figura 23. Valores de Carbono Orgánico total almacenado bajo los tres tipos de Bosque.	47
Figura 24. Extracción de muestras compuestas para la determinación de Carbono.	59
Figura 25. Recolección de hojarasca para la determinación de carbono.....	59
Figura 26. Extracción de muestras no alteradas para determinación de densidad	60
Figura 27. Conservación de las muestras no alteradas sobre papel aluminio para que mantengan sus condiciones de campo.	60
Figura 28. Realización de Inventario forestal para el análisis de biodiversidad.	61
Figura 29. Reconocimiento del nombre científico de las especies forestales.	61
Figura 30. Extendido de muestras de suelo Figura 31. Tamizado e ingreso de muestras	62
Figura 32. Determinación de pH. Figura 33. Análisis de Al, P, K, Ca y	62
Figura 34. Determinación de conductividad hidráulica.	63
Figura 35. Pesaje de los cilindros para la determinación de densidad aparente del suelo.	63
Figura 36. Pesaje de las fundas para hojarasca y determinación de carbono.	64
Figura 37. Pesaje de suelo para determinación de carbono mediante el método de calcinación.	64

TABLA DE CONTENIDO: TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo para Suelo e Inventario.....	12
Tabla 2. Recursos Humanos	17
Tabla 3. Materiales para la toma de muestras en campo	18
Tabla 4. Materiales y equipos para el análisis de (Da) del suelo.....	18
Tabla 5. Materiales y equipos para el análisis de (CO) en hojarasca	19
Tabla 6. Materiales y equipos para el análisis de (CO) en suelo	19
Tabla 7. Comportamiento físico del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades	20
Tabla 8. Condiciones químicas del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades.	26
Tabla 9. Principales familias de los tres tipos de bosque del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.	35
Tabla 10. Análisis del Índice de valor de importancia (IVI) del bosque 1 perteneciente a la comunidad Boayacu ubicada en el Cantón Mera.	38
Tabla 11. Análisis del Índice de valor de importancia (IVI) del bosque 2 perteneciente a la comunidad Simón Bolívar ubicado en el Cantón Mera.....	39
Tabla 12. Análisis del Índice de valor de importancia (IVI) del bosque 3 perteneciente a la comunidad Unión Llandia ubicada en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.	40
Tabla 13. Índices de Simpson y Shannon de los tres tipos de bosque perteneciente a Boayacu, Simón Bolívar y Unión Llandia.....	41
Tabla 14. Determinación de Carbono orgánico total de la profundidad de (0-30cm).....	43
Tabla 15. Determinación de Carbono en biomasa aérea bajo distintos tipos bosque.....	44
Tabla 16. Determinación de CO en Hojarasca en tres tipos de bosque.....	45
Tabla 17. Carbono total Almacenado de las distintas variables biomasa aérea, hojarasca y suelo bajo los distintos tipos de bosque.....	47
Tabla 18. Niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelo.	58

TABLA DE CONTENIDO: ECUACIONES

Ecuación 1 Carbono orgánico del suelo	13
Ecuación 2 Analisis de Biodiversidad y potencial de secuestro de carbono	13
Ecuación 3 Índice de Simpson.....	14
Ecuación 4 Índice de Shannon.....	14
Ecuación 5 Carbono de la biomasa aérea	15
Ecuación 6 Carbono de la vegetación arbórea (Hojarasca)	15

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCIÓN

Para la sociedad a nivel mundial el cambio climático es una de las preocupaciones más importantes que abordan hoy en día, puesto que sus efectos van más allá de la zona, empresa o país afectando principalmente al ambiente y a la salud de toda una población. El calentamiento global es uno de los resultados de aumento de las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera a causa de daños antropogénicos, por ende, este tema ha sido debatido en los últimos años. Por lo tanto, para resolver esto y alcanzar niveles aceptables de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera es necesario el apoyo y esfuerzo de toda la sociedad científica para mejorar y llevar a cabo las reducciones de dióxido de carbono mediante estrategias como mejorar la eficacia de la generación de energía, utilización de fuentes de energía que disminuyan las emisiones de dióxido de carbono, secuestrar o almacenar carbono mediante biomasa arbórea (Miranda *et al.*, 2007).

En los últimos años en muchas partes del mundo se han venido realizando intentos por detener la deforestación mediante proyecto de reforestación y manejo sustentable, con la visión de que reforestar implica una gran ayuda para el medio ambiente ya que se puede recapturar el dióxido de carbono (CO₂) y disminuir las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera y así reducir el calentamiento global. Todo ello, debido a que la biomasa de los bosques es un componente de gran importancia que permite determinar las cantidades de carbono (Schlegel, 2001).

Las plantas para su proceso fotosintético utilizan el dióxido de carbono (CO₂) y liberan oxígeno (O₂), y de la misma manera acumulan componentes de carbono en sus estructuras por periodos prolongados, por este motivo se les considera reservas naturales de carbono. La capacidad que tiene un ecosistema para acumular carbono en forma de biomasa aérea varía en las siguientes funciones altura de los componentes arbóreos, edad, diámetro, densidad de cada estrato y comunidad vegetal (Martel & Cairampoma, 2012).

Otros de los componentes importantes del secuestro de carbono, lo constituye el carbono orgánico (CO) que se encuentra en los suelos contienen un amplio rango de elementos carbonados, tales como: restos vegetales, la biomasa microbiana o de animales en descomposición (Picone, 2006). La MO encontrada es considerada como uno de los principales indicadores de las características de calidad del suelo debido a su efecto positivo

sobre las propiedades físicas del suelo y el suministro de nutrientes. La materia orgánica en los suelos de distintos tipos de bosques han sido positivos para el sistema productivo (Eyherabide *et al.*, 2014). En la práctica, se suele diferenciar entre dos tipos de materia orgánica; la total, que incluye todo tipo de compuestos orgánicos y la oxidable, que está totalmente transformada y que por lo tanto esta influye en mayor medida en las propiedades físico-químicas del suelo. En los distintos usos de suelo, los horizontes superficiales de los suelos manejados con labranza suelen contener entre el 1 y el 3 % de materia orgánica. Para estos suelos el contenido de materia orgánica no es de gran magnitud, pero su poca presencia tiene un papel fundamental en la estructura (Prieto Méndez *et al.*, 2014).

Los bosques de la Amazonia Ecuatoriana se encuentran compuestos por una gran cantidad de carbono ya que son fuentes de mitigación de los gases de efecto invernadero, y sobre todo del dióxido de carbono. Sin embargo, cuando estos bosques son perturbados o destruidos, las reservas de carbono en la biomasa aérea son removidas de una forma parcial o total de su lugar de origen por actividades antropogénicas y posteriormente transformar esta biomasa en productos maderables o deforestándola para crear el avance de fronteras agrícolas. Dentro de la vegetación forestal, los estratos arbóreo y herbáceo son en los cuales se reúnen la mayor cantidad de biomasa, y por lo tanto de carbono, la capacidad de almacenamiento y captura dependen de la comunidad vegetal que se encuentre en dicho bosque, el clima, la humedad, las especies arbóreas, la calidad del sitio y la densidad. En los principales componentes de la biomasa aérea en donde se puede encontrar el carbono es en el fuste, las ramas y el follaje (Ordóñez Díaz *et al.*, 2015).

En nuestro país y en especial en la región amazónica ecuatoriana existen pocos estudios sobre determinación de captura de carbono en distintos tipos de bosque, por lo que el presente estudio tiene gran relevancia debido a que se considera un análisis de la biodiversidad y el secuestro de carbono en distintos compartimientos, lo cual permitirá y determinar el aporte y su influencia como regulador del cambio climático.

1.1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

En el Ecuador y en especial la región Amazónica Ecuatoriana la tasa de deforestación de los bosques ha ido incrementando. Todo ello debido entre otras razones, al cambio en el uso de la tierra, al incremento de la ganadería, expansión de la colonización y a la construcción de carreteras clandestinas. Para el periodo 1990 a 2000 fueron deforestadas 32,655 ha, las provincias amazónicas con mayores tasas de deforestación fueron Sucumbíos y Orellana en cuyas provincias se hizo más flexible la permisología por parte del Ministerio del Ambiente - MAE y se estableció un programa de siembra de Palma Africana bajo un modelo de monocultivo que contribuyó al avance de la frontera agrícola. Para este periodo las menores tasas se correspondieron con la provincia de Pastaza y Napo. Para el segundo periodo (2000-2008) la deforestación afectó 38,036 ha, las provincias de Zamora Chinchipe, Morona Santiago y Pastaza presentaron las mayores tasas e incluso con un incremento sustancial con respecto al periodo anterior. La provincia de Napo exhibe menor tasa de deforestación debido principalmente a que es una de las provincias con mayor superficie de zonas bajo régimen especial (Parques, zonas de Biosfera; bosque protector; zonas de reserva natural, reservas biológicas, estaciones ecológicas o biológicas, refugios de vida silvestre) (Bravo *et al.*, 2017). En base a ello, la deforestación a gran escala en la cuenca media del río Napo ha provocado un gran interés de estudio de la zona ya que se están destruyendo los ecosistemas y así provocando pérdidas de biodiversidad tanto de flora y fauna nativas del lugar, contribuyendo de manera negativa con el cambio climático. Dado la importancia que representa el ciclo biogeoquímico del carbono existen razones que permiten señalar que la presente investigación ayudará a fortalecer la información base relacionada con esta temática en la zona de la Amazonía ecuatoriana y permitirá entender como es impactado el potencial de secuestro o captura de carbono cuando son afectados los recursos vegetación y suelo por un cambio de uso de la tierra.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La tala indiscriminada de bosques y el cambio de uso de suelo en la amazonia ecuatoriana son impulsores para el crecimiento de la frontera agrícola, lo cual viene provocando grandes impactos ambientales relacionados con los recursos suelo, vegetación, biodiversidad y que a su vez influyen en el potencial de carbono en los distintos compartimentos. Todo ello, modifican el funcionamiento de los ecosistemas y progresivamente van contribuyendo al cambio climático global.

1.3. HIPOTESIS

El incremento en el proceso de deforestación de los bosques de la cuenca alta del río Napo ubicados en la parroquia Teniente Hugo Ortiz y en el Cantón Mera Provincia de Pastaza afectará su estructura y biodiversidad, y por tanto generará una disminución del potencial de secuestro de carbono (CO₂) en los distintos tipos de componentes.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar la biodiversidad y el potencial de captura de carbono en distintos tipos de bosque en la cuenca alta del Rio Napo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los componentes físico y químicos del suelo bajo los distintos tipos de bosque.
- Cuantificar la biodiversidad de los distintos tipos de bosque de la cuenca alta del rio Napo.
- Determinar la captura de carbono de los distintos componentes, vegetación arbórea, hojarasca y suelo bajo distintos tipos de bosque.

CAPÍTULO II.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Cambio climático

El CO₂ que se encuentra presente en la atmósfera es absorbido por las plantas, a través del proceso llamado fotosíntesis. Por lo cual por este proceso las plantas transforman la luz solar en energía química que es aprovechada y de gran importancia para los organismos vivos. De esta manera la vegetación forestal almacena gran cantidad de (C) en la vegetación y suelo y este es intercambiado con la atmósfera a través del proceso de la respiración y fotosíntesis de las plantas. Diversos estudios demuestran que el contenido de carbono depende según de la especie y tejido de los árboles, de la calidad del sitio, edades de las plantaciones y según el IPCC el mayor porcentaje de carbono se puede encontrar en la biomasa aérea (Gayoso A & Guerra C, 2005).

La contaminación atmosférica es una de los principales problemas que conllevan al deterioro del medio ambiente, y que actualmente el mayor desequilibrio que presenta la tierra es el cambio climático debido a la contaminación por el aumento de gases que provocan el efecto invernadero. La especie humana desde su existencia en tan solo pocos años ha provocado daños que son inigualables en comparación con los efectos causados por fenómenos naturales. En base a esto se ha realizado diversas reuniones en donde buscan solucionar parte de este problema para tratar de disminuir o mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la captura de carbono (Carrillo Anzúres *et al.*, 2014).

2.2. Biodiversidad:

La biodiversidad comprende igualmente la variedad de ecosistemas y las diferencias genéticas dentro de cada especie que se encuentran en la naturaleza (Rau, 2005), para lo cual se hace lógico la importancia de conservar e implementar inventarios de biodiversidad para conocer la diversidad de flora y fauna aún desconocida elevado cuyas interacciones con el resto del entorno fundamentan el sustento de la vida sobre el mundo (Varea, 2006).

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

2.3. Diversidad de flora:

Es el conjunto de especies vegetales que se pueden localizar en una región geográfica, que son propias que habitan en un ecosistema determinado. La flora atiende al número de especies mientras que la vegetación hace referencia a la distribución de las especies y a la importancia que estas tienen, por número de individuos, tamaño según el clima y otros factores ambientales en un ecosistema (Álvarez & Novoa, 2010). Además, también un equilibrio de especies en un área como el uso de la tierra que potencian la susceptibilidad a invasiones por parte del ser humano por la riqueza de en una comunidad determinada. (Kutschker *et al.*, 2015).

2.4. Inventario forestal para determinación de carbono:

Un inventario forestal consiste en la recolección sistemática de datos sobre los recursos forestales de una zona determinada. Su importancia radica en la materia orgánica de los suelos donde comprenda un amplio rango de sustancias carbonadas (Eyherabide *et al.*, 2014) incluyendo: la biomasa microbiana, restos vegetales y/o animales en descomposición. De todos ello, los que aportan la mayor cantidad de carbono son las especies arbórea las cuales se relacionan directamente con el área basal (Acosta & Carrillo, 2009) el cual es un buen indicador del contenido de carbono para el estrato arbóreo en un ecosistema.

Al respecto, Bravo *et al.*, 2015, para tres zonas y diferentes usos de la tierra en condiciones amazónicas reportan valores para los índices de diversidad de Shannon (0,93 y 0,98) y Simpson (0,24 a 0,44). Concluyen que los resultados de dichos índices son considerados bajos al compararlos con ecosistemas de alta diversidad como son los bosques primarios, donde normalmente se consiguen índices de Shannon alrededor de 3 o 4 y de Simpson de 5 o mayor (Gliessman, 2014).

Los resultados de los índices están estrechamente relacionados con el número de especies promedio por uso del suelo (Bravo *et al.*, 2015). Con respecto a los bosques evaluados los bajos índices obtenidos (1,01) reflejan un espacio fragmentado que ha sido muy intervenido dado a las cercanías del mismo con las áreas de ganadería y donde los productores van deforestando las especies maderables de interés económico o de utilidad para usar la división de potreros.

Paralelamente, mediante algunos parámetros ecológicos se ha podido diferenciar la densidad y dominancia relativa para algunas localidades de la amazonia ecuatoriana

(Bravo *et al.*, 2015), resultando como especies más abundantes en los usos y zonas evaluadas las siguientes: **Arosemena Tola**, Borrego (*Brosimum guianensis*), Doncel (*Ochroma pyramidale*), Laurel (*Cordia Alliodora*), Colca (*Miconia crocea*), Canelo (*Nectandra oppositifolia*), Tamburo (*Vochysia megalantha*), Pigüe (*Pollalesta discolor*), Guaba (*Inga edulis*), Cedro (*Cedrela odorata*), Guayaba (*Spidium guajava*). **Para Archidona**, las especies principales fueron Canelo (*Nectandra oppositifolia*), Guaba (*Inga edulis*), Laurel (*Cordia Alliodora*), Cedro (*Cedrela odorata*) y Pambil (*Iriarteia deltoidea*). **Finalmente, para Borja**, Guayaba (*Spidium guajava*), Ishpingo (*Jacaranda copaia*) y Lechero (*Sapium sp.*). Se concluye que las especies en su mayoría son principalmente maderables remanentes de bosques nativos donde se va estableciendo un sistema silvopastoril no sistémico con árboles dispersos.

2.5. Diversidad florística, almacenamiento de carbono

Como parte de la lucha contra el cambio climático a través de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, ha sido necesario la realización de una estimación de las cantidades de carbono almacenadas en las áreas protegidas para determinar la cantidad de carbono almacenado y de esta manera buscar alternativas de usos de la tierra a través de plantaciones u otras plantas leñosas que ayuden al medio ambiente al secuestro de carbono. La siembra de diversidad florística puede ser una medida para equilibrar emisiones de la degradación del ecosistema natural de manera que las áreas replantadas se conviertan en verdaderos sumideros de carbono y centros de refugio para especies endógenas ya amenazadas debido a la explotación de los ecosistemas (Noumi *et al.*, 2017).

Los ecosistemas forestales realizan la captura de gases de CO₂ por ello en los últimos años ha existido un interés en incrementar la diversidad de la vegetación arbórea mediante la reforestación de áreas que han sido degradadas y deforestadas. Al respecto se ha señalado que existen una gran cantidad de investigaciones que demuestran que las especies arbóreas tienen una capacidad para almacenar carbón en su biomasa, lo que lleva a la reducción de carbón a la atmósfera y reducción del efecto del cambio climático por las actividades antrópicas. En este contexto se refuerza la idea que la deforestación ha provocado destrucción de los ecosistemas y el procesos de remediación y reducción de estos daños se lograría a través de distintos enfoques que incluye la restauración de las áreas forestales degradadas, evitar la deforestación, y manejar sustentablemente los bosques naturales (Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2016).

Bajo esta perspectiva, la biomasa aérea de los ecosistemas forestales es una de las principales fuentes de madera y energía, como lo indican estudios recientes lo cual conlleva a 3,400 millones de metros cúbicos de extracción anual de madera a nivel mundial y al mismo tiempo son el almacén principal de carbono terrestre. También señalan que en los bosques maduros se pueden encontrar árboles muertos, la caída de ramas producen la acumulación de residuos leñosos gruesos y debido a esto pueden permanecer por decenas de años en el piso forestal que a través de los años su descomposición nos brinda nutrientes para el suelo y frecuentemente son considerados como sumideros de carbono (Galicia *et al.*, 2015).

2.6. El almacenamiento de Carbono en distintos componentes (Biomasa, suelo, Hojarasca).

Las prácticas agrícolas en donde es utilizada la labranza en los suelos vírgenes provoca la reducción de materia orgánica, lo cual conlleva en el deterioro del recurso. La materia orgánica que se encuentra en el suelo está compuesta por sustancias carbonadas y este llega a representar muy significativamente mayor porcentaje de composición de C que se puede encontrar en los suelos, por ello al ser un componente de gran importancia este permite la identificación y cuantificación de evaluar su fertilidad y evaluar el riesgo de erosión (Kloster *et al.*, 2016).

El almacenamiento de carbono de los sistemas agroforestales (SAF) a través de la captura o secuestro de carbono tanto en suelo como en vegetación forestal (biomasa), es en donde se encuentra mayor parte de carbono y es más evidente el secuestro de C. No obstante, el almacenamiento del carbono va a depender del tamaño y la proporción arbórea, con ello se puede reducir los efectos que produce el dióxido de carbono atmosférico que forma parte del cambio climático. La vegetación mediante el proceso de la fotosíntesis asimila el dióxido de carbono CO₂, forma carbohidratos y aumenta su volumen. Los sistemas agroforestales SAF son aquellos sistemas de uso de la tierra donde especies leñosas perennes se manejan junto con cultivos agrícolas (Espinoza-Domínguez *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos en diversas condiciones concuerdan que los sistemas agroforestales que integran la producción de árboles con cultivos y el componente animal tienen un mayor potencial para secuestrar C que pastos o cultivos agrícolas (Bravo *et al.*, 2017). Esta afirmación se basa en la noción de que la incorporación de árboles en los sistemas ganaderos proporciona una mayor parte aérea neta, así como mayor captura de carbono en el suelo (Nair *et al.*, 2009) En diferentes zonas se ha obtenido rangos para sistemas silvopastoriles

de 12 a 228 Mg ha⁻¹, (Dixon, 1995), y para los distintos componentes de carbono como la biomasa aérea 60 a 312 Mg C ha⁻¹, (Bravo *et al.*, 2016) (70 Mg ha⁻¹), y el suelo (25 Mg ha⁻¹) (Mutuo *et al.*, 2005).

El carbono en el suelo se lo puede encontrar en forma orgánica e inorgánica por ello los suelos son los que contienen más carbón que la vegetación y que la atmosfera. El carbón orgánico que se puede encontrar en los suelos es un componente de gran importancia del ciclo del carbono al igual que la vegetación forestal el suelo es una fuente de reservorio de carbono todo esto depende del uso y su manejo (Martínez *et al.*, 2008).

Actualmente se están realizando estudios de uno de los compuestos que más afecta al ambiente como es el efecto invernadero, dióxido de carbono el cual a través de los años ha alcanzado cantidades considerables que se acumulan en la atmosfera. Existen formas de realizar la captura de carbono mediante procesos abióticos o bióticos; mediante la biomasa de las plantas la fijación de CO₂ mediante la fotosíntesis y canalización de CO₂ producido por las fábricas. Los tipos de suelos existentes varían en la acumulación de carbono orgánico, en suelos arenosos el 1% y en suelos de pantano un 20%, y los suelos que se forman bajo los bosques tienden acumular un mayor porcentaje de carbono orgánico esto se debe a la mayor acumulación de vegetación arbórea como sus hojas y madera en descomposición (Quintana & Luis, 2012).

2.7. Valorización económica de almacenamiento de carbono.

En base a los cambios que se han venido dando el clima por daños causados por el hombre al ambiente se lleva a cabo el incremento de reservas de carbono con la introducción y reforestación de especies arbóreas esto se ha convertido en un servicio ambiental reconocido que puede tener un valor económico considerable. Una de las alternativas para la remediación de lugares degradados son los sistemas silvopastoriles como una alternativa sostenible ya que con esto se puede tener grandes reservorios de producción de biomasa en donde podemos encontrar el carbono y de otra manera el aumento de biodiversidad o evitar la pérdida de las mismas, así mismo el agotamiento de los recursos naturales existentes (Miranda *et al.*, 2008).

2.8. Indicadores de la calidad de suelos

Para la vida en el planeta el suelo es un recurso de gran importancia. El suelo es un sistema estructurado heterogéneo y discontinuo lo cual este recurso es irremplazable, su formación es un proceso de cambios químicos (separación de las partículas minerales de las rocas), físicos (reducción del tamaño de las partículas sin alteración alguna) y biológicos de la roca originaria (realizados por la comunidad que habita en el suelo). El suelo tiene la capacidad de captar, retener y emitir agua a las plantas y es además un filtro ambiental. La capacidad de suelo es la capacidad de funcionar adecuadamente en relación con un uso específico, los indicadores de la calidad del suelo son herramientas tales como Indicadores físicos (se asocia con el uso eficiente del agua, nutrientes y pesticidas reduciendo el efecto invernadero y conllevando al incremento de la producción agrícola), indicadores químicos (aquí es la relación suelo-planta, disponibilidad y calidad del agua, capacidad amortiguadora del suelo, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, etc.), Indicadores biológicos (factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y los subproductos de macroinvertebrados.) mediante estos indicadores nos brindan información sobre las propiedades y características del suelo (García *et al.*, 2012).

CAPÍTULO III.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización

El presente trabajo de investigación se desarrolló en los bosques ubicados en el Cantón Mera y en la parroquia Teniente Hugo Ortiz las cuales pertenecen al Cantón Pastaza (Figura 1). Geográficamente el estudio realizado se encuentra en las siguientes coordenadas Mera X: 831730.465 Y: 9848273.23 y Teniente Hugo Ortiz X: 839032.666 Y: 9848006.977 WGS 84 que corresponde a la zona 17S, al igual que las coordenadas de los puntos de estudio (Tabla 1). El clima es cálido húmedo y su temperatura oscila entre los 18° y 24°C (Herrera Vásquez, 2012).

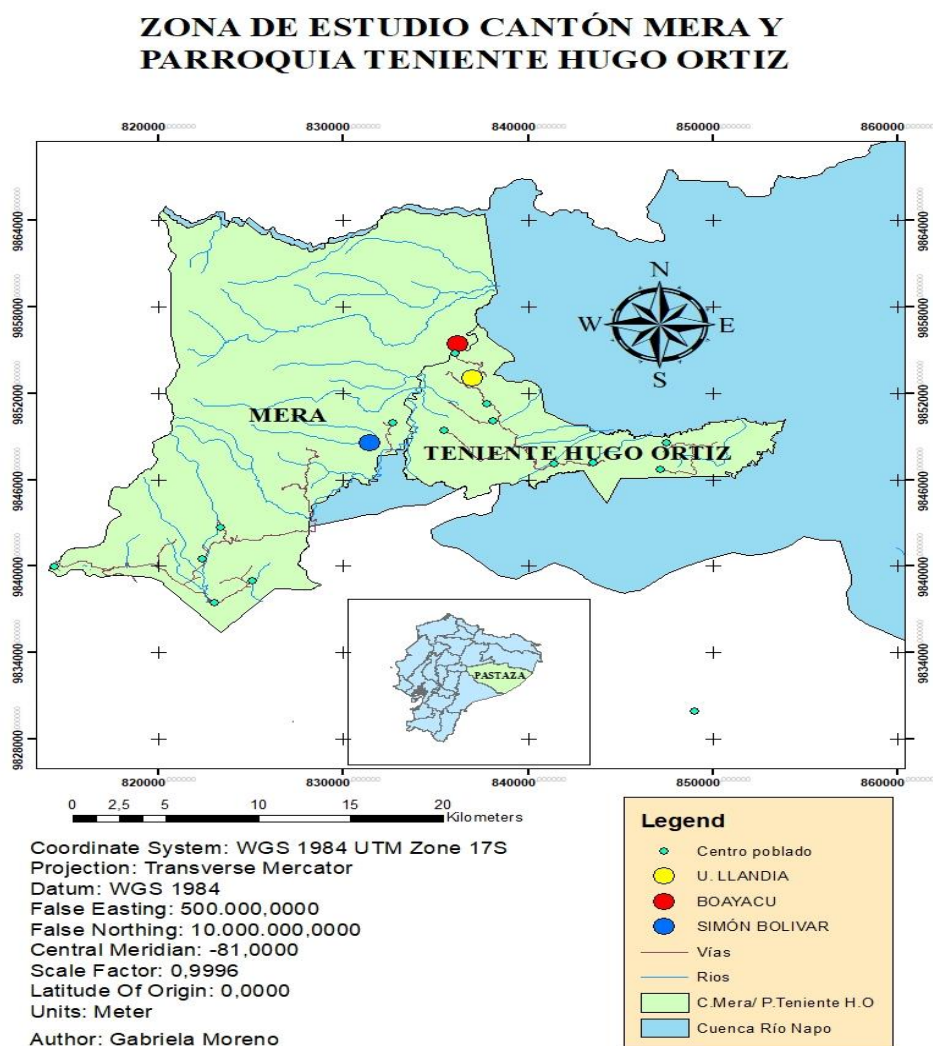


Figura 1. Localización del área de estudio de los diferentes tipos de Bosque (Cantón Mera y parroquia teniente Hugo Ortiz).

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo para Suelo e Inventario.

Bosque	Código	Coord. X	Coord. Y	Altura (msnm)
BOAYACU (MERA)	B1R1	168430,77	9855456,11	935
	B1R2	168424,99	9855445,03	930
	B1R3	168476,13	9855438,89	935
	B1R4	168475,37	9855422,07	936
	B1R5	168441,4	9855418,49	927
SIMON B (MERA)	B2R1	831409,45	9848542,93	1013
	B2R2	831475,23	9848499,13	1009
	B2R3	831462,79	9848444,58	1011
	B2R4	831479,92	9848418,44	1009
	B2R5	831565,51	9848363,21	899
U. LLANDIA (TENIENTE HUGO ORTIZ)	B3R1	169174,05	9853090,75	1032
	B3R2	169139,75	9853081,3	1062
	B3R3	169102,41	9853100,29	1062
	B3R4	169201,7	9852985,08	1104
	B3R5	169207,57	9853010,77	1101
COORDENADAS DE INVENTARIO FORESTAL				
BOAYACU (MERA)	B1R1	168430,77	9855456,11	935
	B1R2	168476,13	9855438,89	935
	B1R3	168441,4	9855418,49	927
SIMON B (MERA)	B2R1	831409,45	9848542,93	1013
	B2R2	831462,79	9848444,58	1011
	B2R3	831565,51	9848363,21	899
U. LLANDIA (TENIENTE HUGO ORTIZ)	B3R1	169174,05	9853090,75	1032
	B3R2	169102,41	9853100,29	1062
	B3R3	169207,57	9853010,77	1101

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se llevó a cabo en este trabajo fue de tipo experimental ya que se realizará análisis in situ y de laboratorio y exploratoria ya que con este tipo de investigación podremos partir con información inicial para continuar con una investigación.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Análisis Físicos

Para la determinación de parámetros físicos del suelo se usaron muestras no alteradas con cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con un toma muestra tipo Uhland, en los cuales se midieron las siguientes variables: Densidad aparente (Da) usando el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986) distribución de tamaño de poros (Pt:

porosidad total), porosidad de aireación (Pa: poros de radio >15 µm) y porosidad de retención usando la mesa de tensión a saturación y a un potencial mátrico de -10 kPa (Blake & Hartge, 1986). Conductividad hidráulica saturada (Ks) mediante el método de carga variable, siguiendo el método descrito en (Pla, 2010).

3.3.2. Análisis Químicos

El pH fue medido por potenciometría (relación suelo-agua 1:2,5), las bases cambiables (Ca, +Mg, K), contenido de fósforo fueron medidos por la metodología de Olsen modificado, el Aluminio fue determinado mediante la aplicación de KCl 1N, Rojo de metilo y mediante titulación con NaOH 0,1N (color amarillo opaco) (Bertsch, 1995).

3.3.3. Carbono orgánico del suelo

El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de calcinación o pérdida por ignición (loss on ignition, LOI) (Schulte & Hopkins, 1996), donde se cuantifica directamente el contenido de COT y se basa en determinar la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a elevadas temperaturas. Se aplicó método de LOI que incluye como pretratamiento el secado a 105 °C durante 24 h y luego 2 h de ignición a 360 °C (Eyherabide *et al.*, 2014).

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

$$\text{COS} = \text{Da} \times \text{CO} \times \text{Profundidad} \quad \text{Ecuación 1}$$

3.3.4. Análisis de biodiversidad y potencial de secuestro de carbono de los sistemas agroforestales.

Para cuantificar la biodiversidad grado de abundancia y frecuencias de las especies se determinaron distintos parámetros ecológicos tales como (P. Lozano *et al.*, 2013)

$$\text{Área basal (Ab)} = 0.7854 * (\text{DAP})^2 \quad \text{Ecuación 2}$$

- Densidad relativa (Dr). La abundancia de una especie o un a clase de planta, número de individuos (N) en un área (A) determinada.
- Dominancia relativa (DmR)= Área basal de la especie*100/ Σ de todas las especies.
- Índice de Valor de importancia (IVI)= Dr +DmR.
- Número de árboles por hectárea.

3.3.5 Índices de Diversidad.

La diversidad de los distintos usos de la tierra se estimó en base al índice de Shanon (H') y el de Simpson (D). Por su parte, el índice de Simpson conocido como el índice de la diversidad o de dominancia de las especies, constituye uno de los parámetros que nos permiten medir la riqueza de organismos. Para su interpretación toma valores entre 0 y 1, don de los valores cercanos a la unidad representan mayor diversidad (Gliessman, 2002). La ecuación para el índice de Simpson es:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- S = número de especies
- N= es el total de organismos presentes (o unidades cuadradas)
- n = es el número de ejemplares por especie

Para la interpretación del índice de Shanon en la mayoría de los ecosistemas varía entre 0,5 y 5, con un rango normal de 2 a 3 y donde valores inferiores a 2 se consideran bajos y superiores a 3 altos (Gliessman, 2002). La fórmula del índice de Shanon es.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- S=número de especies (riqueza de especie)
- P i= proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i):
- ni = número de individuos de la especie i
- N = número de todos los individuos de todas las especies

3.3.6. Secuestro de carbono en los distintos usos de la tierra seleccionado.

El potencial de secuestro de carbono de los distintos usos de la tierra se midió en los distintos compartimientos:

3.3.6.1. Carbono de la Biomasa aérea

Para estimar el stock de carbono de la biomasa aérea se utilizó una ecuación alométrica, aplicada a las mediciones de los árboles y generada para las condiciones de Bosque húmedo tropical (Chave *et al.*, 2005).

$$BSS_{\text{árbol}} = (p * \exp(-1.49 + (2.148 * \ln(D) + (0.207 * \ln(D)^2) - (0.0281 * \ln(D)^3)) * 0.01) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- BSS_{árbol} = Biomasa aérea sobre el suelo
- P: es la densidad de Madera (g/cm³).
- D: es el diámetro a la altura del pecho (cm).

3.3.6.2. Carbono de la vegetación no arbórea (Hojarasca, Verde)

En los mismos puntos para la toma de muestras de los parámetros físicos se estableció un marco cuadrado de 0.25 m² (0.5 m x 0.5 m) donde 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 de toneladas de materia seca por hectárea (t. MS /ha) y posteriormente se obtuvo la cantidad de carbono por hectárea (t. C /ha), mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta C_{BN} \text{ muestra} = MS * CF \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

ΔC_{BN} muestra: Cantidad de carbono en la biomasa de la muestra de vegetación no arbórea (kg C/0,25 m²);

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

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

3.4.1. Diseño experimental

Para la recolección de muestras de campo se usó un esquema de muestreo sistemático que cubrió toda la variabilidad de la unidad experimental (Uso del suelo). Para ello se tomaron 3 bosques. En cada bosque se realizaron cinco subparcelas de 10 x 10m para un área de 100m², tal como lo muestra la Figura 2 y en cada subparcela se establecieron 5 puntos sobre las cuales se determinaron una serie de parámetros tales como físicos y químicos. Dando un total de 25 puntos y 10 muestras compuestas por boque. Por otro lado, para la determinación de biodiversidad se realizó un inventario forestal donde se tomaron 3 subparcelas de 20 x 20m donde se identificaron y se midieron árboles con diámetros mayores o iguales a 10 cm a la altura del pecho. tal como se muestra en la Figura 3 (Díaz Villaruel, 2016).



Figura 2. Esquema para la toma de muestras de suelo bajo los distintos tipos de bosque (Tomado de Bravo et al., 2017)

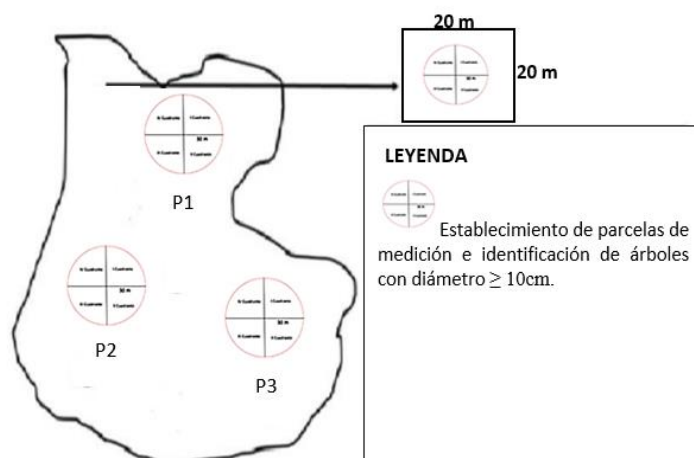


Figura 3. Esquema para inventario forestal bajo distintos tipos de bosque pertenecientes al Cantón Mera y Parroquia Teniente Hugo Ortiz (Tomado de Bravo et al., 2017)

3.5. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES

3.5.1. RECURSOS HUMANOS

Tabla 2. Recursos Humanos

RRHH		
Nombre y Apellido	Profesión	Cargo
Daniel Paguay	Ing. Ambiental	Equipo colaborador para la recolección de muestras en campo tanto de suelo, hojarasca e inventario forestal.
Frank Goyes	Ing. Agropecuario	
Gabriel Grefa	Botánico	
Carlos Bravo	PhD	Tutor del proyecto de grado
Gabriela Moreno	Estudiante	Autor del proyecto de grado

3.5.2. MATERIALES

Tabla 3. Materiales para la toma de muestras en campo

MATERIALES PARA TOMA DE MUESTRAS	
Campo	Palas
	Fundas ziploc
	Barrenos
	Cilindros
	Uhland
	Baldes pequeños
	Fundas quintaleras transparentes
	Fundas de alar
	Papel aluminio
	Flexómetro
	Cinta métrica
	GPS
	Penetrómetro
	Clinómetro
	Cuadrante de 0,5 x 0,5m
	Tabla munsell
	Piola
Marcadores	
Libreta	
Toallas de cocina	
Tijera	

Tabla 4. Materiales y equipos para el análisis de (Da) del suelo

DETERMINACIÓN DE DENSIDAD APARENTE (Da)	
Laboratorio	Cilindros
	Ligas
	Liencillos
	Bandejas
	Anillos
	Balanza
	Plato poroso
	Embudos
	Probetas de 100ml
	Estufa
	Papel Periódico

Tabla 5. Materiales y equipos para el análisis de (CO) en hojarasca

CARBONO ORGÁNICO (CO) EN HOJARASCA	
Laboratorio	Fundas de alar
	Fundas de papel
	Bandejas
	Grapadora
	Perforadora
	Balanza
	Estufa
	Marcadores
	Lápiz
	Libreta

Tabla 6. Materiales y equipos para el análisis de (CO) en suelo

CARBONO ORGÁNICO (CO) EN SUELO	
Laboratorio	Fundas de alar
	Fundas de ziploc
	Bandejas
	Papel periódico
	Mesa
	Tamiz
	Barreno
	Crisoles
	Balanza de precisión
	Estufa
	Mufla
	Desecador
	Pinzas
	Guantes
	Marcadores
Lápiz	
Libreta	

CAPITULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Parámetros físicos del suelo bajo distintos tipos de bosque.

Las características de las propiedades físicas de los tres tipos de bosque realizados en las comunidades de Boayacu, Simón Bolívar, Unión Llandia, pertenecientes al Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz se muestran en la tabla 7. En general, los índices estructurales para los tres tipos de bosques no mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$), resultando en todos los casos en adecuadas condiciones físicas al compararse el valor obtenido con los valores críticos de cada variable en ambas profundidades.

Tabla 7. Comportamiento físico del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades

Indicador	Unidad de medida	Bosque Boayacu	Bosque Simón Bolívar	Bosque Unión Llandia
Profundidad de 0-10 cm				
Da	Mg m ⁻³	0,30 ± 0,07 (a)	0,28 ± 0,03 (a)	0,39 ± 0,16 (a)
Ksat	cm/h-1	66,85 ± 40,90 (a)	71,12 ± 42,02 (a)	77,11 ± 50,93 (a)
Pt	%	89,98 ± 3,26 (a)	88,84 ± 5,52 (a)	85,64 ± 5,20 (a)
Pa	%	24,46 ± 5,89 (a)	21,29 ± 2,26 (ab)	17,67 ± 1,49 (c)
Pr	%	65,52 ± 8,46 (a)	67,55 ± 5,45 (a)	67,97 ± 6,62 (a)
Profundidad de 10 – 30 cm				
Da	Mg m ⁻³	0,45 ± 0,09 (a)	0,41 ± 0,04 (a)	0,54 ± 0,23 (a)
Ksat	cm/h ⁻¹	51,95 ± 45,03 (a)	31,41 ± 39,28 (a)	7,65 ± 8,64 (a)
Pt	%	89,39 ± 4,39 (a)	92,59 ± 2,47 (a)	84,40 ± 8,84 (a)
Pa	%	13,31 ± 1,84 (a)	13,50 ± 1,55 (a)	8,89 ± 1,84 (b)
Pr	%	76,08 ± 3,75 (a)	79,09 ± 3,83 (a)	75,51 ± 7,01 (a)

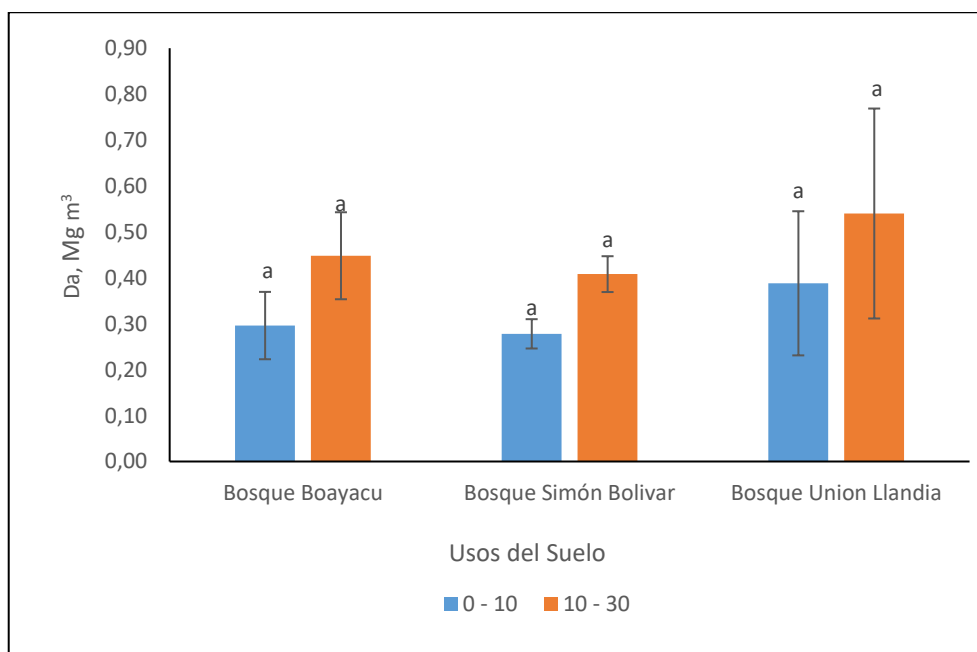
Da: Densidad aparente, **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada, **Pt:** Porosidad total, **Pa:** Porosidad de aireación, **Pr:** Porosidad de retención. Letras iguales denotan que no existe diferencias significativas entre los tres tipos de Bosque a un nivel de $P < 0.05$

4.1.1. Densidad aparente (Da, Mgm⁻³)

La Da en el suelo es un indicador de propiedades de gran importancia y que tiene una fuerte influencia sobre otros parámetros físicos tales como: porosidad, compactación, la capacidad de aireación e infiltración. Los resultados de esta variable presentaron valores cercanos que oscilaron entre 0,28 a 0,39 Mg m⁻³ valores considerados bajos al compararlo con el valor

óptimo de $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ para suelos arcillosos lo cual indica que los Da esta en rangos aceptables para estos suelos (Pla, 2010). Se ha señalado que una adecuada Da contribuye a mejorar la circulación de agua y aire, por ende se deduce que mientras mayor sea la densidad aparente menor será la porosidad (Rubio Gutiérrez, 2010). Es decir a como aumenta la materia orgánica y los espacios porosos va a disminuir la densidad aparente según (Salamanca & Sadeghian, 2006) determina que en suelos de textura fina la densidad aparente (Da) se encuentre entre 1 a $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$.

Indistintamente del tipo de bosque se observó un incremento de la Da con la profundidad (Figura 4), sin embargo, los valores obtenido en ambos horizontes están por debajo del límite óptimo para estos suelos. Resultados similares para este tipo de variable han sido reportado para esta zona señalando que está relacionado con altos valores de materia orgánica (Bravo *et al.*, 2017). Los valores obtenidos representan que no existen limitaciones para la penetración de agua hacia las raíces y la circulación de aire y que no existe una degradación de las propiedades físicas del suelo. Estudios realizados en la región amazónica muestran que los suelos amazónicos se encuentran con parámetros físicos como Da en condiciones favorables que ayudan con la penetración de raíces beneficiando el aprovechamiento de nutrientes y agua en el suelo (Bravo *et al.*, 2017).



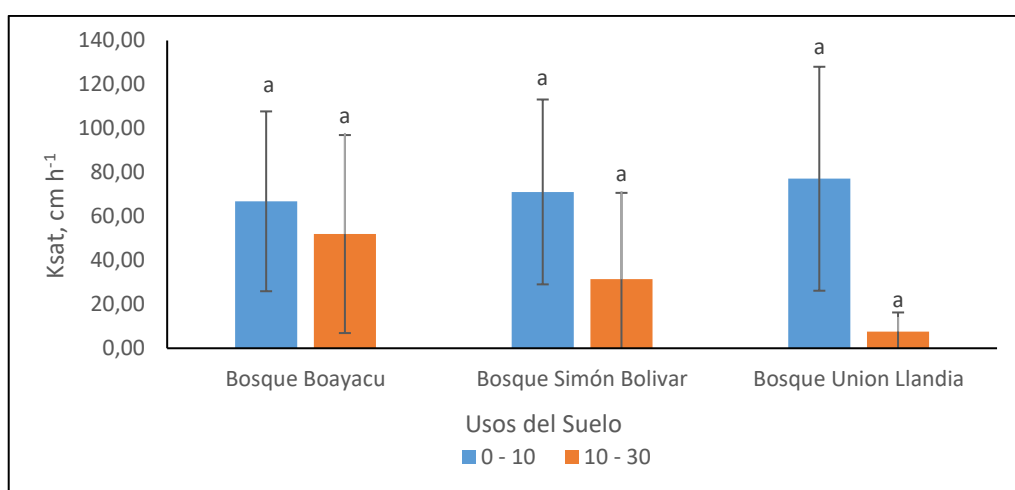
Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

Figura 4. Valores de densidad aparente del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.1.2. Conductividad hidráulica saturada (K_{sat} cm/h^{-1})

La conductividad hidráulica saturada se define como la capacidad que tiene el suelo para permitir la penetración y velocidad de agua en el suelo y es una propiedad que tiene relación con la porosidad del suelo (Barbecho & Calle, 2012). Dicha capacidad puede controlar la infiltración, y el desplazamiento de los contaminantes a la superficie (Rojas & Ludwig, 2008). Esta propiedad es una variable de mucha importancia para determinar la capacidad que tiene el suelo para dejar penetrar el agua, y dar soluciones a problemas que se relacionan con el drenaje, riego, y conservación del suelo (Chirinos & Mattiazzo, 2004).

La conductividad hidráulica saturada (K_{sat} $cm h^{-1}$) presento valores altos en las profundidades de (0 – 10 cm) sobresaliendo con el valor más alto el bosque perteneciente a Unión Llandia $77,11 \pm 50,93$ (a), en un valor medio el bosque de Simón Bolívar $71,12 \pm 42,02$ (a) y con valor bajo el bosque Boayacu $66,85 \pm 40,90$ (a) y en la profundidad de (10 – 30cm) el bosque que mayor valor tiene pertenece a Boayacu $51,95 \pm 45,03$ (a), un valor medio bosque Simón Bolívar $31,41 \pm 39,28$, y con un valor bajo el bosque de Unión Llandia (a) $7,65 \pm 8,64$ (a) en la (Figura 5). Se puede apreciar una disminución con la profundidad en los tres tipos de bosque, pero con valores superiores en ambos horizontes al límite optimo $0.5 cm h^{-1}$, (Pla, 2010). Tales resultados coinciden con otro reportados para la zona amazónica y están relacionados con la condición textural y estructural que favorece la penetración y movimiento de agua en el perfil del suelo y los contenidos de materia orgánica (Bravo *et al.*, 2015).



Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

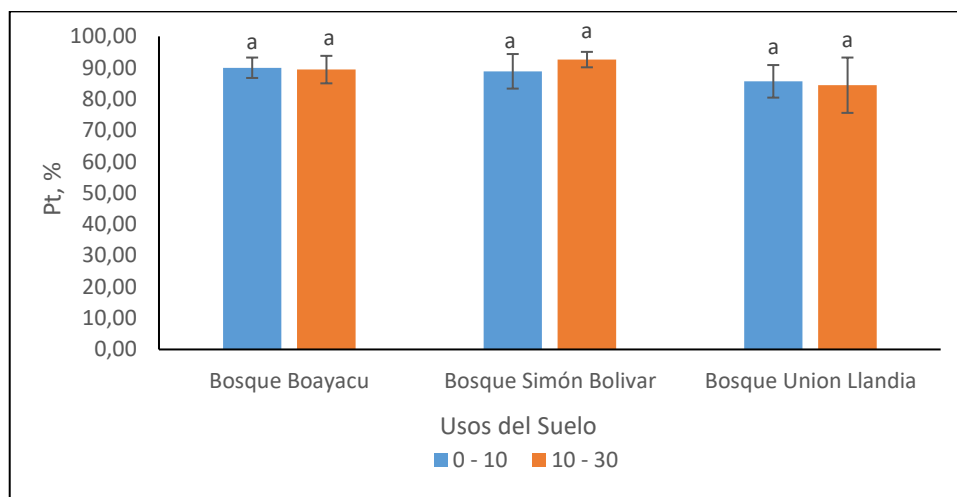
Figura 5. Valores de conductividad hidráulica del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.1.3. Porosidad total (Pt %)

La porosidad total es la cual permite desempeñar principalmente funciones como transportar absorber, y almacenar agua en el suelo (González *et al.*, 2011).

La porosidad del suelo a bajas profundidades determina en mayor medida la infiltración y el escurrimiento del agua que determina la circulación de agua hacia niveles superficiales o profundos del suelo (Sampaio, 2009).

Los análisis realizados de porosidad total en el suelo bajo distintos tipos de bosque nos dan como resultados valores altos para ambas profundidades al compararlos con el valor óptimo 50% como se puede apreciar en la Tabla 7, aun así, sobresaliendo con valores más altos los bosques de Boayacu y Unión Llandia para la profundidad (0-10cm) y el bosque de Simón Bolívar en la profundidad de (10 – 30cm). (Figura 6). Las comparaciones de los tres tipos de bosque para las dos profundidades no presentaron diferencias significativas a un nivel de $P < 0.05$. Estudios previos demuestran que la porosidad del suelo es de gran importancia ya que contribuye a servicios ambientales como la recepción, almacenamiento y transporte de agua lo cual es de gran contribución para las plantas para la absorción de nutrientes (González *et al.*, 2012).



Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

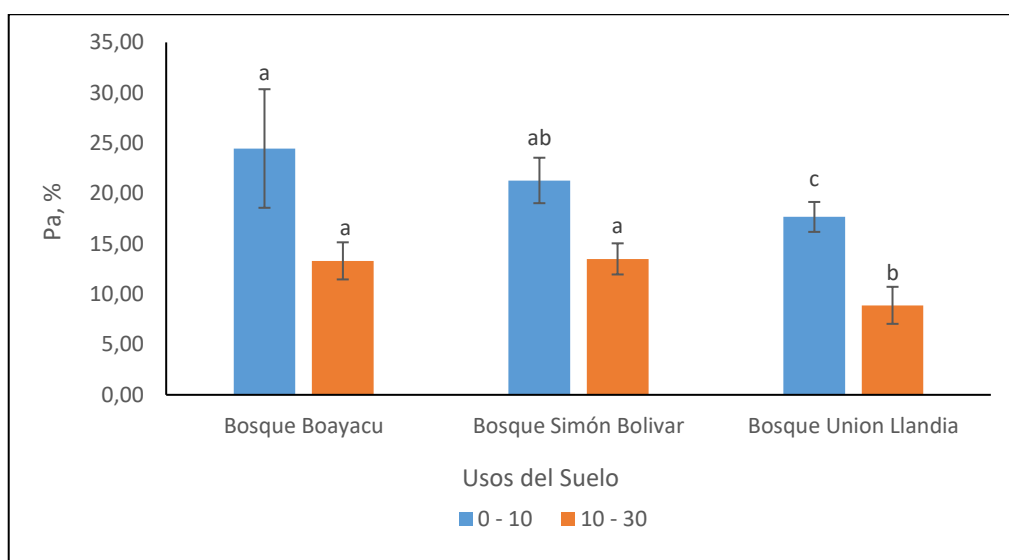
Figura 6. Valores de porosidad total del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

Los valores de la porosidad total obtenidos estuvieron muy relacionados con la densidad aparente, sugiriendo que una mayor densidad significó menor porosidad total (Pt). La (Pt) es alta en todos los bosques estudiados (mayor de 50 %), con una gran fracción del volumen total representada por los poros de retención (Pr) y menor proporción de macroporos, lo cual

les confiere a estos suelos una alta capacidad de retención de humedad, indistintamente del tipo de bosque.

4.1.4. Porosidad de aireación (Pa %)

El volumen de poros de aireación (macroporos (Pa) > 15 μm) que contribuyen activamente al flujo de agua (Bravo *et al.*, 2017; Taboada & Alvarez, 2008), son los que están en menores proporciones (Tabla 7). Se ha señalado que aquellos valores por debajo de 10 % pueden representar serias limitaciones al flujo de agua, de aire, a la actividad biológica y a la penetración de raíces (Florentino, 1998; Pla, 2010; Bravo, 2014). En este contexto, cuando se detallan los valores de dicha variable para los tres tipos de bosque se aprecia para el horizonte superficial los mayores porcentajes que sobresalen por encima del 10 % como se puede observar en la (Figura 7). No obstante para la segunda profundidad (10–30cm) se aprecia una disminución de la Pa para el bosque de Unión Llandia alcanzando valores inferiores al 10 % considerado como crítico (Shiguango & Zambrano, 2018). Valores Superiores a un 10% sugieren una adecuada porosidad de aireación, permitiendo la existencia de una buena almacenación, aireación y drenaje de agua asegurando un adecuado desarrollo de los cultivos ya que permite el crecimiento de raíces en un estado normal (López & Galantini, 2016).



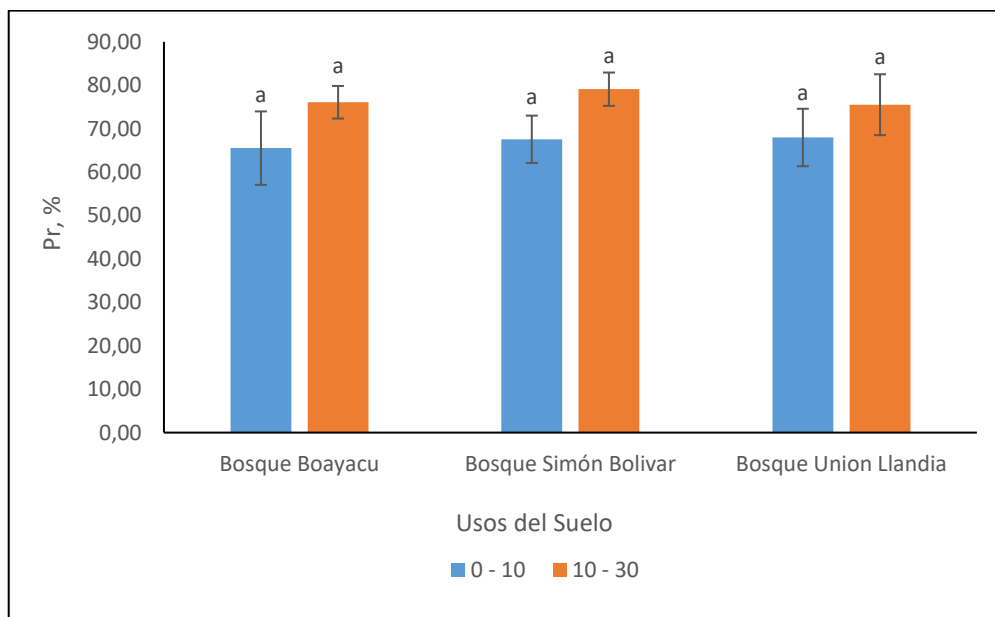
Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

Figura 7. Valores de porosidad de aireación del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.1.5. Porosidad de retención (Pr %)

La porosidad de retención es la capacidad que tiene el suelo para poder retener el agua en las profundidades del suelo durante periodos prolongados, por la existencia de los macro y micro poros que se encuentran en el suelo. (Gutiérrez *et al.*, 2011). La porosidad de retención es una de las propiedades de mayor importancia para el desarrollo de las plantas ya que les permite a las plantas que absorban los nutrientes que transporta, en los distintos tipos de suelo las raíces buscan horizontes de mayor profundidad (Sustaita & Ordaz, 2000).

Los análisis de la porosidad de retención muestran que los mismos representan la mayor proporción de la distribución total de poros con valores altos en ambas profundidades al compararlos con los valores óptimos del 55% como se puede apreciar en la (Tabla 7) Estudios realizados describen que la cantidad de agua acumulada en la profundidad del suelo va a depender de la textura y profundidad . La comparación de los distintos tipos de bosque indica que la Pr es mayor en la capa subsuperficial (10-30cm), sin diferencia significativa ($P < 0.05$) (Figura 8).



Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

Figura 8. Valores de porosidad de retención del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.2. Parámetros químicos del suelo bajo distintos tipos de bosque

Las características de las propiedades químicas de los tres tipos de bosque realizados en las comunidades de Boayacu, Simón Bolívar, Unión Llandia, pertenecientes al Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz se muestran en la Tabla 8. En general, los parámetros químicos para los tres tipos de bosques no mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$), resultando en todos los casos en limitadas condiciones químicas al compararse el valor obtenido con los valores críticos de cada variable en ambas profundidades.

Tabla 8. Condiciones químicas del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades.

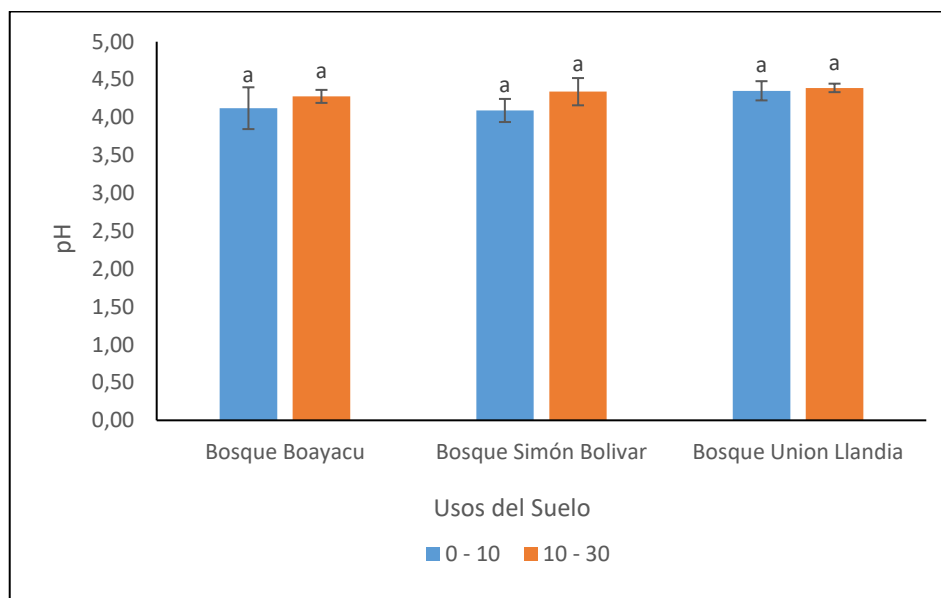
Indicador	Unidad de medida	Bosque Boayacu	Bosque Simón Bolívar	Bosque Unión Llandia
Profundidad de 0-10 cm				
pH		4,12 ± 0,28 (a)	4,09 ± 0,15 (a)	4,35 ± 0,13 (a)
Al ⁺³ +H ⁺¹	meq/ 100ml	2,32 ± 1,09 (a)	3,94 ± 1,20 (a)	2,76 ± 1,35 (a)
Al ⁺³	meq/ 100ml	0,36 ± 0,05 (a)	0,28 ± 0,13 (a)	0,76 ± 0,52 (a)
P	mg/kg-1	4,28 ± 1,38 (c)	6,26 ± 0,99 (a)	4,56 ± 0,93 (ab)
K ⁺¹	meq/ 100ml	0,15 ± 0,07 (a)	0,15 ± 0,06 (a)	0,16 ± 0,06 (a)
Ca ⁺²	meq/ 100ml	0,59 ± 0,29 (b)	1,00 ± 0,39 (b)	3,16 ± 1,21 (a)
Mg ⁺²	meq/ 100ml	0,28 ± 0,09 (c)	0,38 ± 0,09 (ab)	0,58 ± 0,24 (a)
CO suelo	%	17,94 ± 3,71 (a)	17,74 ± 2,13 (a)	14,72 ± 4,89 (a)
Profundidad de 10 – 30cm				
pH		4,28 ± 0,09 (a)	4,34 ± 0,18 (a)	4,39 ± 0,06 (a)
Al ⁺³ +H ⁺¹	meq/ 100ml	1,38 ± 0,64 (a)	1,94 ± 1,34 (a)	2,20 ± 1,71 (a)
Al ⁺³	meq/ 100ml	0,56 ± 0,53 (a)	0,52 ± 0,28 (a)	0,52 ± 0,19 (a)
P	mg/kg-1	3,26 ± 0,91 (a)	2,16 ± 0,44 (a)	2,50 ± 0,83 (a)
K ⁺¹	meq/ 100ml	0,10 ± 0,09 (a)	0,06 ± 0,02 (a)	0,04 ± 0,03 (a)
Ca ⁺²	meq/ 100ml	0,47 ± 0,50 (a)	0,35 ± 0,15 (a)	0,79 ± 0,46 (a)
Mg ⁺²	meq/ 100ml	0,21 ± 0,15 (a)	0,17 ± 0,02 (a)	0,20 ± 0,09 (a)
CO Suelo	%	10,96 ± 2,03 (a)	10,76 ± 1,48 (a)	8,76 ± 3,97 (a)

Al⁺³+H⁺¹: Acidez intercambiable, Al⁺³: Aluminio, P: Fosforo, K⁺¹: Potasio, Ca⁺²: Calcio, Mg⁺²: Magnesio, CO: Carbono orgánico. Letras iguales denotan que no existe deferencia significativa entre los tres tipos de Bosque a un nivel de $P < 0.05$

4.2.1. pH

El pH en el suelo es una medida de acidez o alcalinidad que interfiere en muchas de las actividades químicas y biológicas valores extremos pueden afectar la disponibilidad de nutrientes del suelo, la actividad biológica (Ibarra Castillo *et al.*, 2009). Los resultados de esta variable denotan que no existe una diferencia significativa para los tres tipos de bosque, entre los valores que se encuentran los suelos a dos profundidades es un pH de 4 los cuales se consideran muy ácidos al compararlos con el valor crítico tal como se muestran establecidos en la Tabla 18 para suelos arcillosos.

Indistintamente de los tipos de bosque pertenecientes a la Provincia de Pastaza los rangos de pH se denotan que en la capa superficial los valores son menores como se observa en la (Figura 9), esto podrían ser atribuibles a la descomposición de los residuos en superficie, formación de ácidos orgánicos o a la nitrificación del NH_4^+ proveniente del material fresco (heces y orina), tal y como lo sugieren (Bravo *et al.*, 2017; Wei *et al.*, 2006). En síntesis, el pH del suelo es afectado por la materia orgánica del suelo 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 (Martínez, Fuentes, Silva, et al., 2008). Esta variable es uno de los parámetros de mayor importancia ya que este influye en la fertilidad del suelo, existencia de nutrientes (Bravo *et al.*, 2015).



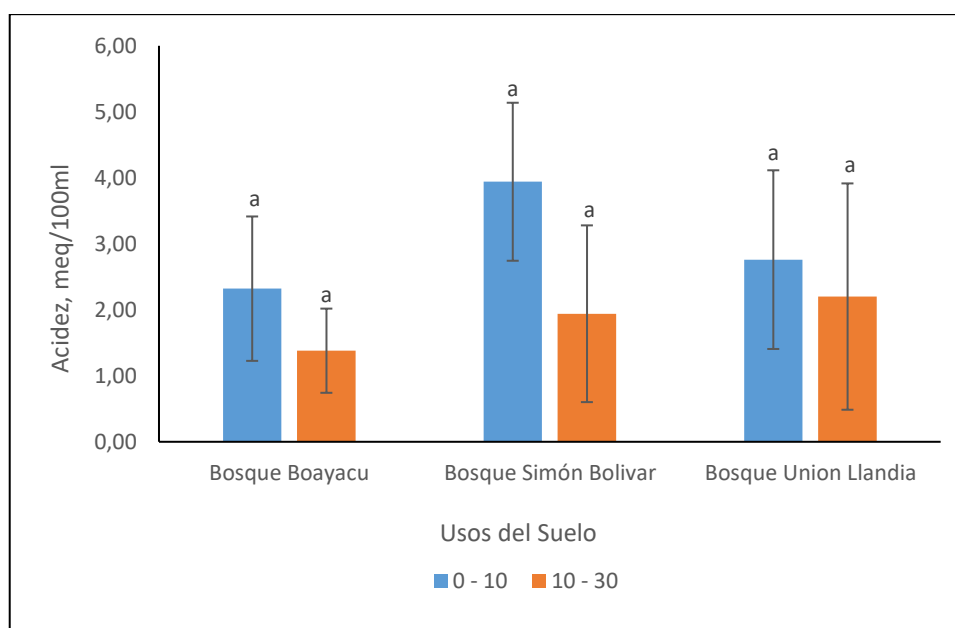
Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

Figura 9. Valores de variación de pH del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.2.2. Acidez intercambiable ($Al^{+3}+H^{+1}$, meq/ 100ml)

La acidez intercambiable en los suelos de la amazonia es la consecuencia de la existencia de hidrógeno (H^{+1}) y Aluminio (Al^{+3}). Debido a la presencia de Al pueden causar una disminución en el pH del suelo (Shiguango & Zambrano, 2018). Los análisis mostraron un pH muy ácido en los tres tipos de bosque para las dos profundidades tal como se muestran en la (Tabla. 8), por debajo de 5,5 lo cual favorece la presencia de los cationes ácidos. Esto se debe a la relación con presencia de un número de toxicidades como el aluminio y ausencia molibdeno y otros ambientes limitativos para las plantas (FAO, 2018).

En los resultados obtenidos indistintamente del tipo de bosque se puede observar presencia de acidez intercambiable con valores tóxicos (Tabla. 8) al compararlos con el valor crítico >1.5 establecidos en la (Tabla 18), implicando afectaciones sobre la fertilidad del suelo (Castro & Munevar, 2013).



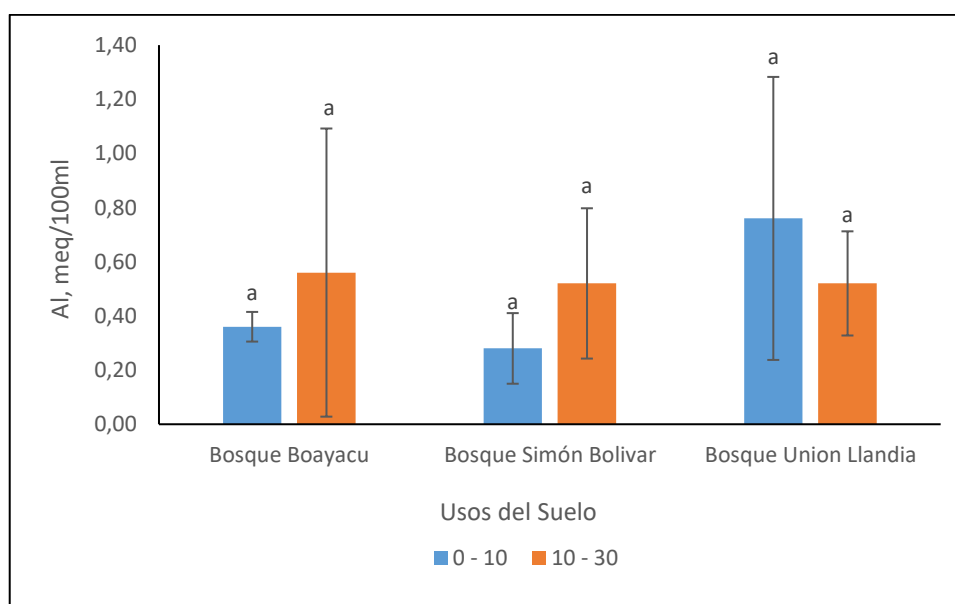
Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

Figura.10 Valores de acidez ($Al^{+3}+H^{+1}$) del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.2.3. Aluminio (Al^{3+} , meq/ 100ml)

La presencia de aluminio intercambiable en el suelo es una de los primeros factores que limita el crecimiento y desarrollo de las plantas, es uno de los elementos que se encuentra en gran abundancia sobre la tierra. En los suelos encontrados con un pH ácido el Al puede no ser solo trasladado a los ambientes acuáticos sino que este puede ser trasladados hacia las plantas como medio de estrada en suelo y este es absorbido por las raíces dificultando al desarrollo de las plantas (Carreño & Chaparro, 2013).

En la (Figura 11) se puede observar la comparación de los tres tipos de bosque a ambas profundidades y que los cuales denotan que no existe deferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$. Los tres tipos de bosque estudiados a dos profundidades muestran rangos que se encuentran de 0.3 a 1.00 (Tabla 8) que se categorizan como valores medios. La presencia de este elemento puede ser un problema ya que los iones de (Al^{3+}) pueden ser solubilizados y estos podrían llegar hacia las células radiculares, lo que dificulta al crecimiento de las raíces obstaculizando la absorción del agua y los nutrientes esenciales tales como P, Ca (Kochian & Hoekenga, 2004).



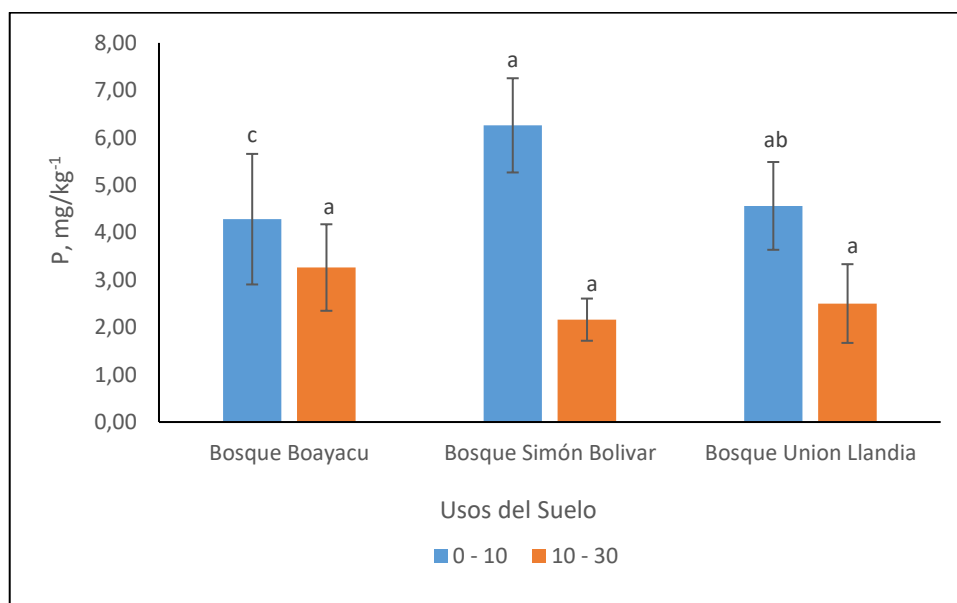
Letras iguales denotan que no existe deferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

Figura 11. Valores de Aluminio (Al^{3+}) del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.2.4. Fosforo (P mgkg⁻¹)

El fósforo es uno de los elementos de mayor importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas siendo un contribuyente primario responsable de la transferencia y acumulación de energía para las plantas. Este elemento encontrado en el suelo se transfiere a la planta en pequeñas cantidades mediante el contacto con la superficie radicular lo cual permita un crecimiento normal de la planta (Fernández & Rodríguez, 2006).

El contenido de fósforo disponible osciló entre 2.16 a 6.26 mg kg⁻¹ valores considerados muy bajos al compararlos con el valor crítico de <10 mg kg⁻¹ (Tabla. 8). Se observó que existe una diferencia significativa a un nivel de P<0.05 en la capa superficial, resultado en un mayor contenido el Bosque localizado en Simón Bolívar (Figura 12). En investigaciones realizadas sobre los usos de suelo determinando el valor de (P) por (Z. Lozano *et al.*, 2010). Encontraron que las cantidades de fósforo son mayores en la profundidad superficial y van disminuyendo con la profundidad lo cual está relacionado con la descomposición de residuos en la superficie y la naturaleza del elemento que es poco móvil del P.

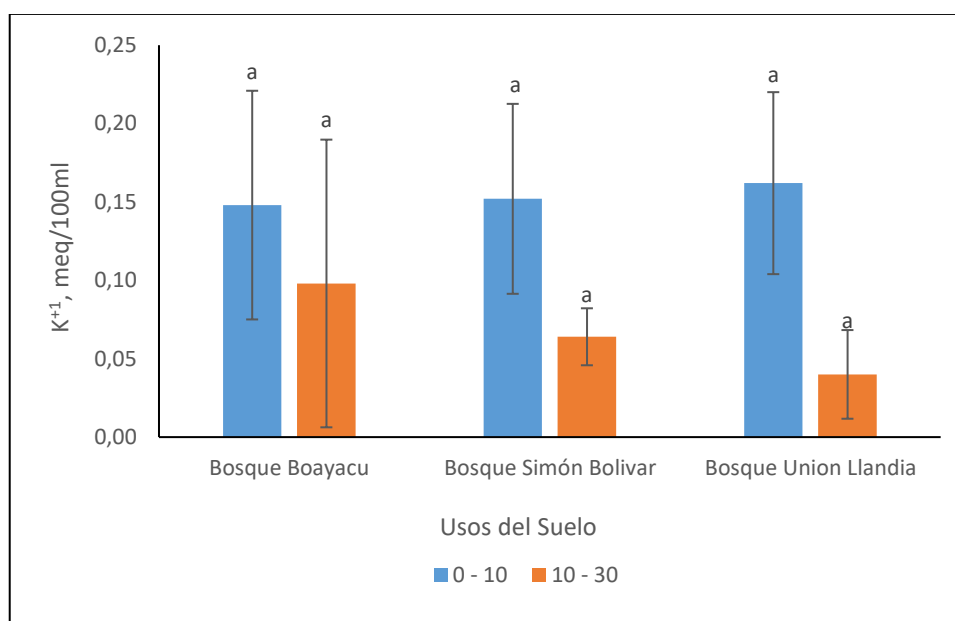


Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de P<0.05

Figura 12. Valores de fósforo del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.2.5. Potasio (K^{+1} meq/ 100ml)

El potasio es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, y su contenido en el suelo puede ser muy variable (Conti, 2002). Los resultados de esta variable para los tres tipos bosques a dos profundidades se puede observar que los valores de potasio oscilaron entre 0.04 a 0.16 meq/ 100ml valores considerados como bajos al compararlos con el valor crítico de <0.2 meq/ 100ml (Tabla. 8). Indistintamente, del tipo de bosque se observó una disminución de K con la profundidad (Figura. 13) sin embargo, los valores obtenidos en ambos horizontes están por debajo del límite crítico para estos suelos o categorizados como bajos (INIAP, 2012), (Tabla. 18) aun así, se puede observar que no existe deferencia significativa a un nivel de $P<0.05$.



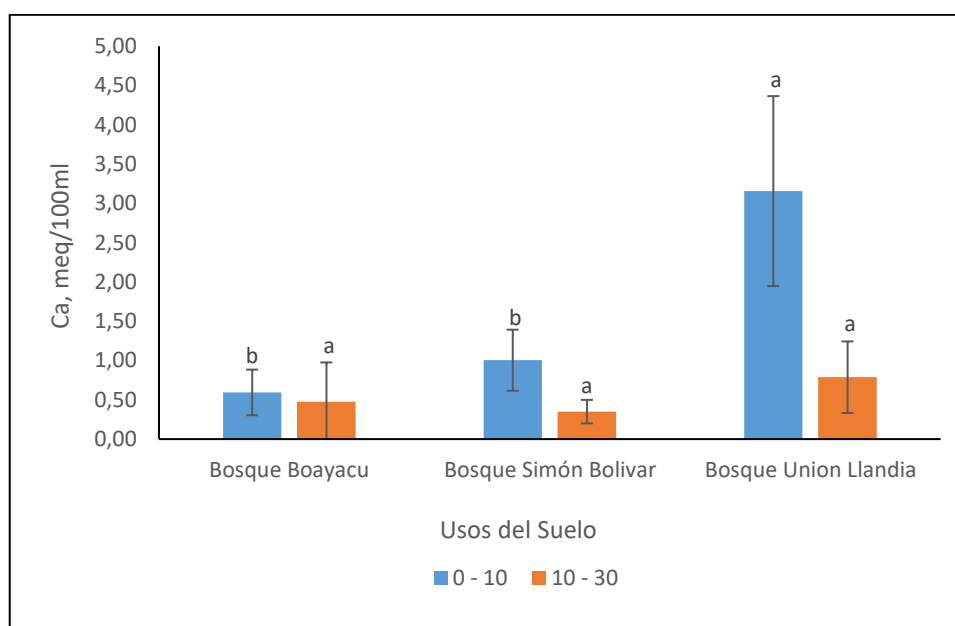
Letras iguales denotan que no existe deferencia significativa a un nivel de $P<0.05$

Figura 13. Valores de potasio del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.2.6. Calcio (Ca^{+2} meq/ 100ml)

El calcio al igual que otros elementos nutritivos son de gran importancia para las planta y algunos estudios demuestran que es un elemento de gran abundancia en la mayoría de los suelos, a excepción de los suelos ácidos donde este elemento se lo puede encontrar en menor cantidades (Rincón & Gallardo, 2003). Por otro lado el contenido de calcio en los suelos va a depender del material de origen (Fernández & Rodríguez, 2006).

El calcio intercambiable solo mostro diferencias significativas ($P < 0.05$) para la primera profundidad (Figura 14), resultando en mayor concentración en el Bosque Unión Llandia. En los tres tipos de bosque los valores de calcio oscilaron entre 0.35 a 3.16 meq/ 100ml valores que se le consideran bajos al compararlos con el valor critico < 2 meq/ 100ml para estos suelos a excepción del bosque de Unión Llandia que al compararlo con el valor critico de entre 2 – 5 se le considera medio como se puede apreciar en la (Tabla 8). Investigaciones realizadas por (Bravo *et al.*, 2017) señalan que a profundidades superficiales la concentraciones de calcio son mayores con respecto al horizonte subsuperficial y puede variar en función de tipo de roca o material parental que le da origen al suelo.

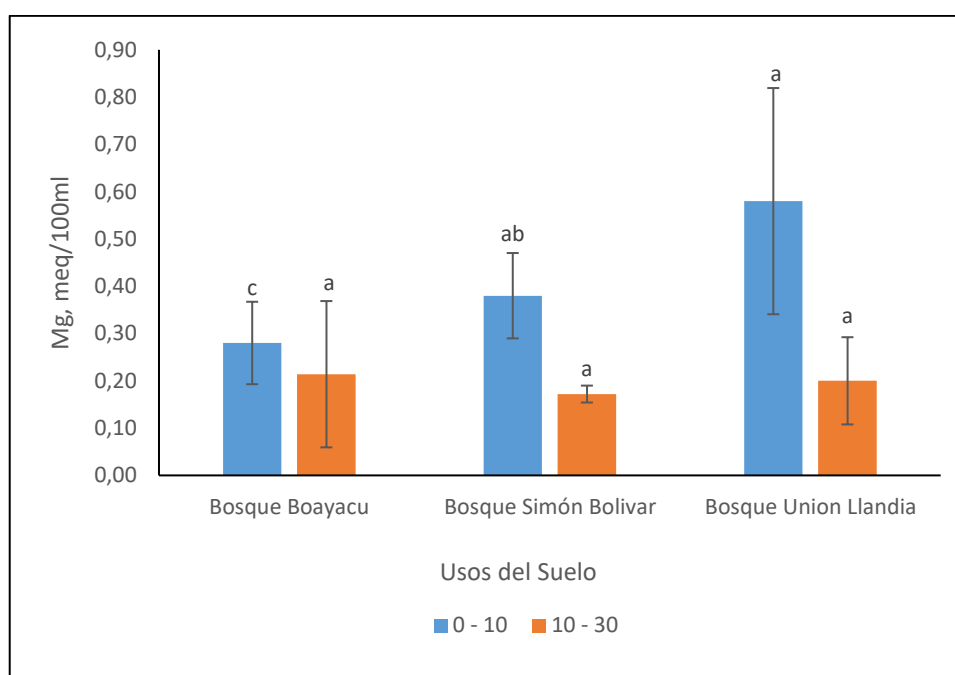


Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

Figura 14. Valores de Calcio del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.2.7. Magnesio (Mg^{+2} , meq/ 100ml)

El magnesio es un macronutriente de gran importancia para el desarrollo de las plantas, la poca presencia de este elemento existe con más frecuencia en suelos ácidos otro factor por la deficiencia de este elemento se da por el clima como son en las regiones húmedas (García-Ávila *et al.*, 2015). Los resultados de estas variables para los tres bosques oscilaron entre 0.17 a 0.58 meq/100ml categorizados como bajos al compararlos con el valor crítico <0.5 meq/ 100ml (Tabla 8). Solo se presentó diferencias significativas para la primera profundidad, sin embargo, independientemente del tipo de bosque se observó una mayor concentración de Mg para el horizonte superficial (Figura15). Usualmente la variación en suelos sobre el contenido de magnesio puede variar ampliamente de acuerdo al tipo de textura, por tanto un suelo con clase textural arenosa tiene menor contenido de Mg que en suelos arcillosos (Bussler, 1980).



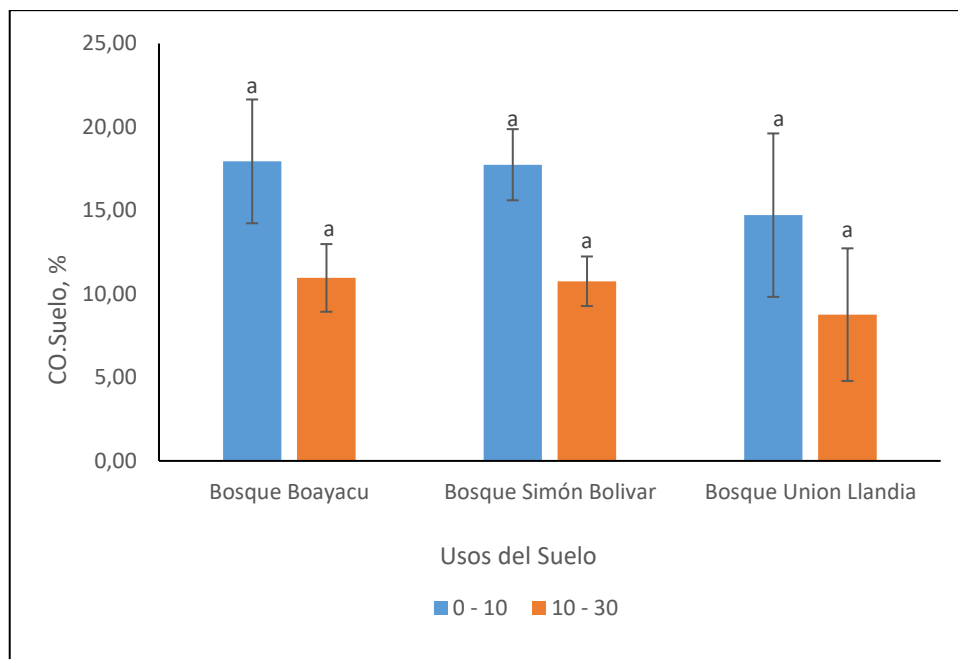
Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

Figura 15. Valores de Magnesio del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.2.8. Carbono orgánico del suelo (CO kg/ha)

El carbono orgánico del suelo es un elemento importante del ciclo del C, ocupando un porcentaje aceptable en la biosfera. El suelo puede funcionar como una fuente o reservorio de Carbono orgánico (Martínez & Fuentes, 2008). El cambio sobre los usos del suelo y la aplicación de adecuadas prácticas agrícolas podría ayudar a aumentar el secuestro de dióxido de carbono atmosférico (González *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos en esta investigación sobre el carbono orgánico total de los distintos tipos de bosque oscilaron de 8 a 17 %, valores considerados altos al compararlo con el valor de >5% (Tabla 8). Indistintamente del tipo de bosque se puede denotar que en las profundidades de (0-10cm) los valores de CO son más altos que para la profundidad de (10-30cm) (Figura. 16), sin embargo, los valores obtenidos en ambos horizontes son categorizados como altos (Tabla 18).



Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

Figura 16. Valores de Carbono Orgánico total del suelo bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.3 FRECUENCIA DE BIODIVERSIDAD ARBÓREA POR FAMILIA EN LOS DISTINTOS TIPOS DE BOSQUE.

Investigaciones realizadas refuerzan la importancia que tienen los bosques como reguladores del cambio climático aportando con el secuestro de carbono, y la existencia de modelos para estimar el carbono almacenado (Moreno & Herrera, 2011). En esta investigación para la caracterización de la Biodiversidad de los tres tipos de bosque se realizaron la frecuencia con las principales familias encontradas en los bosques que fueron estudiados pertenecientes al Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz (Tabla 9).

Tabla 9. Principales familias de los tres tipos de bosque del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

Bosque Boayacu	Bosque Simón Bolívar	Bosque Unión Llandia
Achariaceae	Anacardiaceae	Annonaceae
Annonaceae	Annonaceae	Arecaceae
Arecaceae	Apocynaceae	Asteraceae
Burseraceae	Arecaceae	Boraginaceae
Celastraceae	Asteraceae	Cannabaceae
Clusiaceae	Burseraceae	Cecropiaceae
Euphorbiaceae	Cecropiaceae	Euphorbiaceae
Fabaceae	Clusiaceae	Fabaceae
Lacistemataceae	Elaeocarpaceae	Lacistemataceae
Lauraceae	Euphorbiaceae	Lamiaceae
Malvaceae	Fabaceae	Lauraceae
Melastomatacea	Hypericaceae	Malvaceae
Meliaceae	Lamiaceae	Meliaceae
Moraceae	Lecythidaceae	Mirtaceae
Myristicaceae	Melastomatacea	Moraceae
Myrtaceae	Meliaceae	Myristicaceae
Ochnaceae	Myrtaceae	Myrtaceae
Olacaceae	Moraceae	Poligonaceas
Primulaceae	Myristicaceae	Rubiaceae
Sapotaceae	Myrtaceae	Salicaceae
Silicaceae	Olacaceae	Sapindaceae
Siparunaceae	Phyllanthaceae	Sapotaceae
Ulmaceae	Rubiaceae	Urticaceae
Violaceae	Sapotaceae	
Vochysiaceae	Staphyleaceae	
	Urticaceae	

4.3.1. Bosque Boayacu

La Figura 17 representa el número de familias en el bosque de Boayacu, teniendo como resultado 25 familias y una frecuencia de mayor valor para las familias de las Fabaceae, Sapotaceae y Arecaceae en comparación con las demás familias que se encuentran con una frecuencia menor.

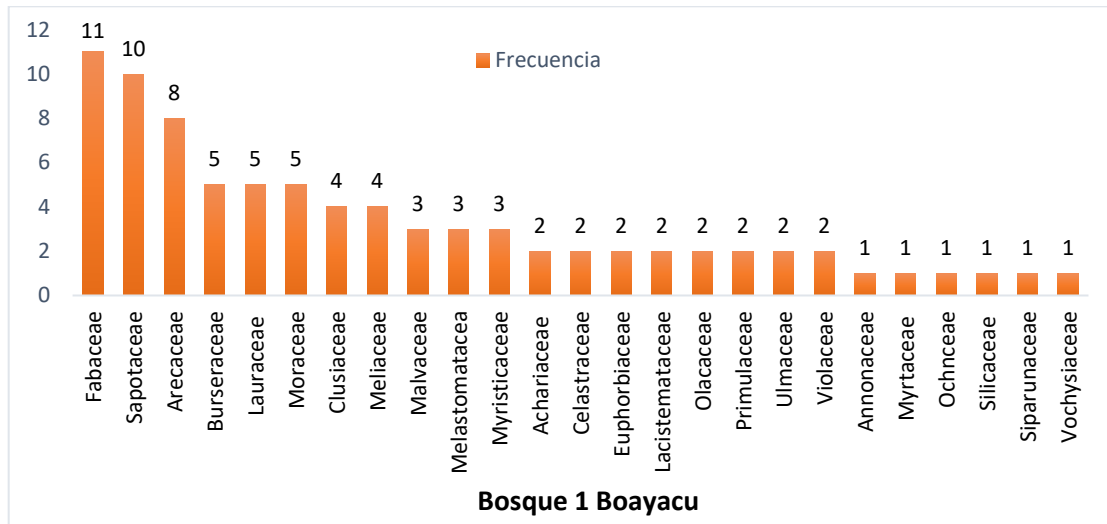


Figura 17. Valores de Frecuencia y Números de Familias del Bosque Boayacu perteneciente al Cantón Mera.

4.3.2. Bosque Simón Bolívar

Para el Bosque Simón Bolívar se identificaron 25 familias y una frecuencia de mayor valor para las familias de las Urticaceae, Arecaceae, Anacardiaceae, Melastomatacea, Fabaceae y Asteraceae (Figura 18).

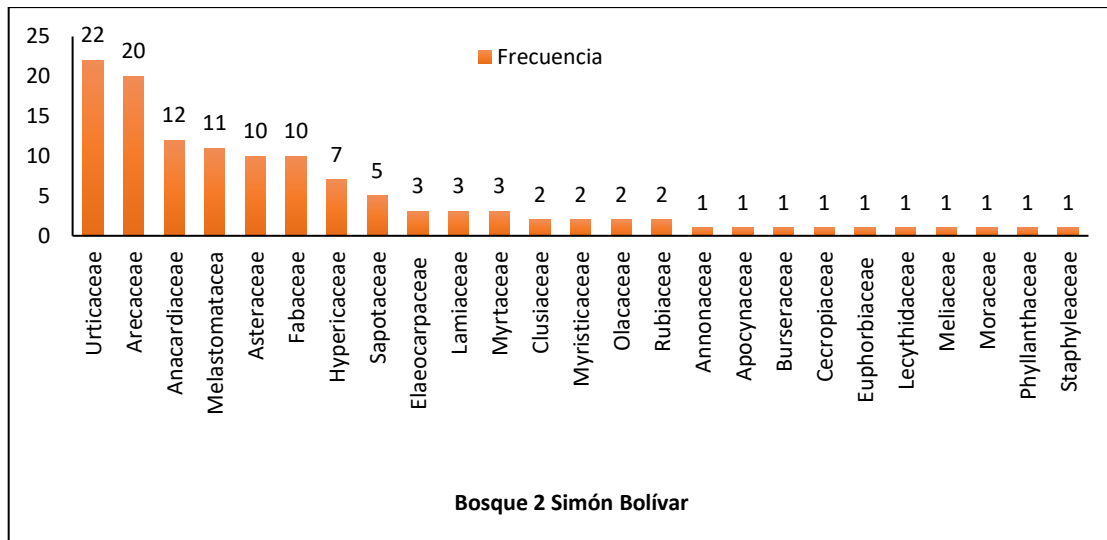


Figura 18. Valores de Frecuencia y Números de Familias del Bosque Simón Bolívar perteneciente al Cantón Mera.

4.3.3. Bosque Unión Llandia

En el bosque de Unión Llandia como se puede observar en la Figura 19 se encontraron 22 familias y una frecuencia de mayor valor para las familias de las Asteraceae, Urticaceae y Arecaceae, las demás familias se encuentran con una frecuencia menor.

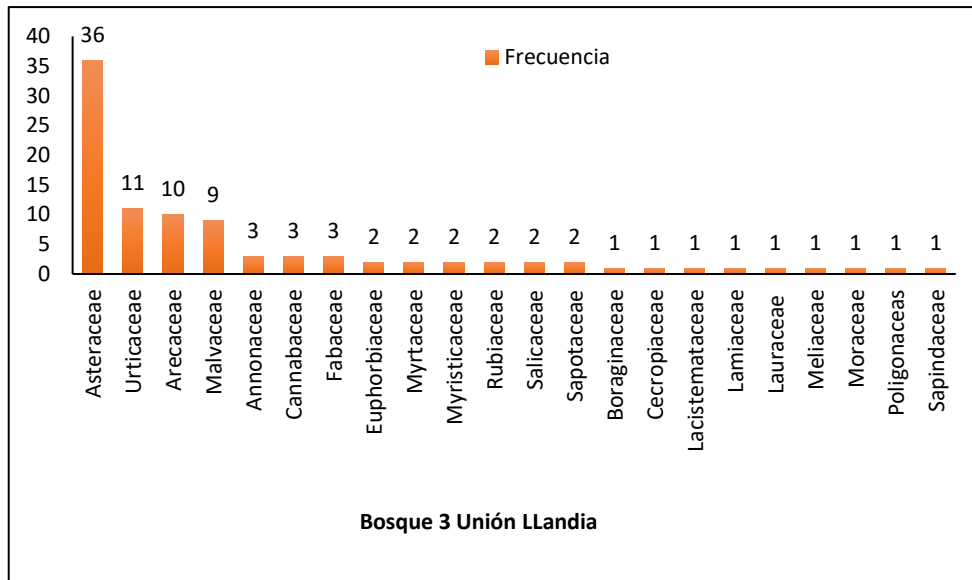


Figura 19. Valores de Frecuencia y Números de Familias del Bosque Unión Llandia perteneciente a la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.4 CARACTERIZACIÓN DE BIODIVERSIDAD Y EL INDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA (IVI)

Para la determinación de diversidad y grado de abundancia y frecuencia de las especies arbóreas se determinaron parámetros ecológicos como el Valor de Importancia (IVI), para lo cual se dispuso de datos del inventario forestal tomados en campo. Para la realización del cálculo del (IVI) se obtiene la sumatoria de la Densidad relativa (D_r) más la Dominancia relativa (D_mR). Lo cual con este parámetro nos permite analizar la importancia de la vegetación y a la vez determinar que especies contribuyen en la estructura de los ecosistemas y capacidad de adaptación a las condiciones de estos bosques pertenecientes a la Cuenca alta del río Napo (Pardos, 2010).

Algunos estudios indican que la diversidad y composición florística de los bosques explicadas en gran medida por el clima, el drenaje, la topografía y los suelos, tales resultados parecen apoyar la teoría del nicho, que asume que las especies coexisten como respuesta a adaptaciones específicas del hábitat, las cuales otorgan una ventaja competitiva a unas especies frente a otras (Mosquera & Hurtado, 2014).

4.4.1 Comunidad Boayacu

El primer bosque estudiado fue el localizado en la comunidad Boayacu, perteneciente al Cantón Mera. En dicho Bosque se encontró total de 83 especies, y un valor de importancia para las especies *Iriartea deltoidea* 12.95, *Otoba glycyarpa* 11.88 y *Tachigali Sp* 10.79 tal como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Análisis del Índice de valor de importancia (IVI) del bosque 1 perteneciente a la comunidad Boayacu ubicada en el Cantón Mera.

Nombre científico	Familia	Frecuencia	Densidad Relativa (Dr)	ΣG area basal	Dominancia relativa (DmR)	Índice Valor de Importancia (IVI)
<i>Abarema Sp</i>	Fabaceae	1	1,20	0,01	0,23	1,43
<i>Alchornea triplinervia</i>	Euphorbiaceae	1	1,20	0,12	2,42	3,62
<i>Ampelocera Sp</i>	Ulmaceae	2	2,41	0,07	1,43	3,84
<i>Apeiba membranacea</i>	Malvaceae	1	1,20	0,04	0,79	1,99
<i>Brosimun utile</i>	Moraceae	1	1,20	0,05	1,08	2,29
<i>Casearia arborea</i>	Silicaceae	1	1,20	0,02	0,32	1,52
<i>Chrysophyllum Sp</i>	Sapotaceae	2	2,41	0,16	3,33	5,74
<i>Chrysophyllum venezuelanense</i>	Sapotaceae	1	1,20	0,02	0,35	1,55
<i>Endlicheria tessmannii</i>	Lauraceae	1	1,20	0,23	4,77	5,97
<i>Garcinia macrophylla</i>	Clusiaceae	1	1,20	0,04	0,84	2,05
<i>Guarea pterorhachis</i>	Meliaceae	1	1,20	0,11	2,27	3,47
<i>Guarea septentrionalis</i>	Meliaceae	2	2,41	0,12	2,57	4,98
<i>Heisteria acuminata</i>	Olacaceae	1	1,20	0,02	0,40	1,60
<i>Inga velutina</i>	Fabaceae	2	2,41	0,04	0,92	3,33
<i>Inga vismitifolia</i>	Fabaceae	2	2,41	0,07	1,53	3,94
<i>Iriartea deltoidea</i>	Arecaceae	7	8,43	0,22	4,51	12,95
<i>Lacistema aggregatum</i>	Lacistemataceae	2	2,41	0,05	1,02	3,43
<i>Leonia glycyarpa</i>	Violaceae	2	2,41	0,09	1,91	4,32
<i>Lindackeria paludosa</i>	Achariaceae	1	1,20	0,07	1,37	2,57
<i>Maitenus Sp</i>	Celastraceae	1	1,20	0,03	0,68	1,88
<i>Maquira Sp</i>	Moraceae	2	2,41	0,04	0,78	3,19
<i>Matisia malacocalyx</i>	Malvaceae	1	1,20	0,01	0,31	1,51
<i>Maytenus Sp</i>	Celastraceae	1	1,20	0,06	1,19	2,40
<i>Miconia Sp</i>	Melastomataceae	3	3,61	0,07	1,54	5,15
<i>Minuartia guianensis</i>	Olacaceae	1	1,20	0,22	4,50	5,71
<i>Myrcia Sp</i>	Myrtaceae	1	1,20	0,06	1,31	2,51
<i>Myrsináceas</i>	Primulaceae	2	2,41	0,07	1,43	3,84
<i>Nectandra lineata</i>	Lauraceae	2	2,41	0,07	1,50	3,91
<i>Nectandra pearcei</i>	Lauraceae	1	1,20	0,09	1,89	3,09
<i>Nectandra Sp</i>	Lauraceae	1	1,20	0,01	0,29	1,50
<i>Otoba glycyarpa</i>	Myristicaceae	3	3,61	0,40	8,27	11,88
<i>Ouratea spatulata</i>	Ochnaceae	1	1,20	0,23	4,83	6,03
<i>Parkia velutina</i>	Fabaceae	1	1,20	0,17	3,52	4,72
<i>Perebea guianensis</i>	Moraceae	1	1,20	0,03	0,63	1,84
<i>Pouteria multiflora</i>	Sapotaceae	1	1,20	0,10	2,00	3,20
<i>Pouteria Sp</i>	Sapotaceae	3	3,61	0,37	7,66	11,28
<i>Pouteria torta</i>	Sapotaceae	3	3,61	0,15	3,16	6,78
<i>Protium aracouchini</i>	Burseraceae	3	3,61	0,04	0,89	4,50
<i>Protium nodulosur</i>	Burseraceae	1	1,20	0,02	0,48	1,69
<i>Protium sagupanu</i>	Burseraceae	1	1,20	0,15	3,01	4,21
<i>Pseudolmedia laevigata</i>	Moraceae	1	1,20	0,10	2,11	3,31
<i>Rullinia cuspidata</i>	Annonaceae	1	1,20	0,02	0,41	1,62
<i>Sapium glandulosum</i>	Euphorbiaceae	1	1,20	0,04	0,79	1,99
<i>Siparuna cuspidata</i>	Siparunaceae	1	1,20	0,04	0,86	2,06
<i>Tachigali Sp</i>	Fabaceae	5	6,02	0,23	4,77	10,79
<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	1	1,20	0,12	2,58	3,78
<i>Theobroma speciosum</i>	Malvaceae	1	1,20	0,03	0,56	1,76
<i>Tovomita Sp</i>	Clusiaceae	3	3,61	0,13	2,75	6,36
<i>Trichilia</i>	Meliaceae	1	1,20	0,01	0,23	1,43
<i>Vochysia</i>	Vochysiaceae	1	1,20	0,13	2,66	3,87
<i>Wettinia maynensis</i>	Arecaceae	1	1,20	0,02	0,40	1,60
		83	100	4,82		

Frecuencia (F): repetición de una misma especie de vegetación arbórea; **Densidad relativa (Dr):** abundancia de una especie arbórea ($F \cdot 100 / F \text{ total}$); **ΣG área basal:** $0.7854 \cdot (DAP)^2$; **Dominancia relativa (DmR):** $(G/G \text{ total}) \cdot 100$; **Índice valor de importancia (IVI):** densidad relativa (Dr)+ Dominancia relativa (DmR); **Diversidad:** $(F/F \text{ total}) \cdot 100$

4.4.2 Comunidad Simón Bolívar

Como segundo bosque estudiado fue el localizado en la comunidad Simón Bolívar, perteneciente al Cantón Mera. En dicho Bosque se encontró una frecuencia total de 124 especies, y un valor de importancia para las especies *Cecropia obtusifolia* 15.08, *Cecropia Sp* 17.79, *Iriartea deltoidea* 12.34, *Pictocoma discolor* 14.08, *Tapirira guianensis* 18.42, *Wettinia maynensis* 14.91. como se puede observar en la Tabla 11.

Tabla 11. Análisis del Índice de valor de importancia (IVI) del bosque 2 perteneciente a la comunidad Simón Bolívar ubicado en el Cantón Mera.

Nombre científico	Familia	Frecuencia	Densidad Relativa (Dr)	ΣG area basal	Dominancia relativa (DmR)	Índice Valor de Importancia (IVI)
<i>Aegiphila Sp</i>	Lamiaceae	4	3,23	0,02	0,54	3,77
<i>Astronium graveolens</i>	Anacardiaceae	1	0,81	0,04	1,14	1,95
<i>Brosimum utile</i>	Moraceae	1	0,81	0,12	3,25	4,06
<i>Calyptranthes Sp</i>	Myrtaceae	1	0,81	0,04	1,05	1,86
<i>Cecropia ficifolia</i>	Urticaceae	2	1,61	0,04	0,94	2,56
<i>Cecropia obtusifolia</i>	Urticaceae	7	5,65	0,36	9,43	15,08
<i>Cecropia membranacea</i>	Urticaceae	2	1,61	0,19	4,91	6,53
<i>Cecropia Sp</i>	Urticaceae	10	8,06	0,37	9,72	17,79
<i>Chrysochlamys tenuifolia</i>	Clusiaceae	1	0,81	0,05	1,30	2,11
<i>Chrysophyllum Sp</i>	Sapotaceae	1	0,81	0,02	0,42	1,23
<i>Duroia hirsuta</i>	Rubiaceae	2	1,61	0,03	0,73	2,34
<i>Eugenia Sp</i>	Myrtaceae	2	1,61	0,08	2,05	3,66
<i>Grias neuberthii</i>	Lecythidaceae	1	0,81	0,02	0,52	1,33
<i>Heisteria acuminata</i>	Olacaceae	2	1,61	0,03	0,81	2,42
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	Phyllanthaceae	1	0,81	0,01	0,29	1,09
<i>Inga auristellae</i>	Fabaceae	4	3,23	0,09	2,45	5,68
<i>Inga cayannensis</i>	Fabaceae	1	0,81	0,01	0,32	1,12
<i>Inga multinerbis</i>	Fabaceae	1	0,81	0,03	0,72	1,53
<i>Iriartea deltoidea</i>	Arecaceae	8	6,45	0,22	5,88	12,34
<i>Lacmellea oblongata</i>	Apocynaceae	1	0,81	0,03	0,91	1,71
<i>Miconia bubalina</i>	Melastomatacea	2	1,61	0,03	0,90	2,51
<i>Miconia grandifolia</i>	Melastomatacea	7	5,65	0,11	2,77	8,41
<i>Miconia rugosa</i>	Melastomatacea	1	0,81	0,02	0,54	1,35
<i>Miconia splendens</i>	Melastomatacea	1	0,81	0,03	0,70	1,51
<i>Parkia velutina</i>	Fabaceae	3	2,42	0,13	3,40	5,82
<i>Pictocoma discolor</i>	Asteraceae	10	8,06	0,23	6,01	14,08
<i>Pourouma tomentosa</i>	Cecropiaceae	1	0,81	0,01	0,32	1,12
<i>Pourouma guianensis</i>	Urticaceae	1	0,81	0,01	0,33	1,14
<i>Pouteria rostrata</i>	Sapotaceae	2	1,61	0,22	5,87	7,49
<i>Pouteria Sp</i>	Sapotaceae	2	1,61	0,09	2,48	4,09
<i>Protium nodulosum</i>	Burseraceae	1	0,81	0,01	0,27	1,08
<i>Rollinia chrysoarpa</i>	Annonaceae	1	0,81	0,01	0,32	1,12
<i>Senna Sp</i>	Fabaceae	1	0,81	0,06	1,69	2,49
<i>Sloanea guianensis</i>	Elaeocarpaceae	1	0,81	0,03	0,85	1,66
<i>Sloanea Sp</i>	Elaeocarpaceae	2	1,61	0,11	2,92	4,53
<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	11	8,87	0,36	9,55	18,42
<i>Tovomita Sp</i>	Clusiaceae	1	0,81	0,01	0,24	1,05
<i>Trichilia</i>	Meliaceae	1	0,81	0,03	0,91	1,71
<i>Turpinia occidentalis</i>	Staphyleaceae	1	0,81	0,02	0,61	1,41
<i>Virola sebifera</i>	Myristicaceae	1	0,81	0,02	0,40	1,21
<i>Virola Sp</i>	Myristicaceae	1	0,81	0,06	1,69	2,49
<i>Vismia baccifera</i>	Hypericaceae	7	5,65	0,18	4,61	10,25
<i>Wettinia maynensis</i>	Arecaceae	12	9,68	0,20	5,23	14,91
		124	100	3,82		

Frecuencia (F): repetición de una misma especie de vegetación arbórea; **Densidad relativa (Dr):** abundancia de una especie arbórea ($F \cdot 100 / F \text{ total}$); **ΣG área basal:** $0.7854 \cdot (DAP)^2$; **Dominancia relativa (DmR):** $(G/G \text{ total}) \cdot 100$; **Índice valor de importancia (IVI):** densidad relativa (Dr) + Dominancia relativa (DmR); **Diversidad:** $(F/F \text{ total}) \cdot 100$

4.4.3 Comunidad Unión Llandia

Como último bosque estudiado fue el localizado en la comunidad Unión Llandia, perteneciente a la Parroquia Teniente Hugo Ortiz. En dicho una frecuencia total de 96 especies y un valor de importancia para las familias *Cecropia Sp* 11.92, *Heliocarpus americanus* 13.66, *Iriartea deltoidea* 10.21, *Pictocoma discolor* 67.32, *Porcelia Sp* 13.42, tal como se puede observar en la tabla Tabla12.

Tabla 12. Análisis del Índice de valor de importancia (IVI) del bosque 3 perteneciente a la comunidad Unión Llandia ubicada en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

Nombre científico	Familia	Frecuencia	Densidad Relativa (Dr)	ΣG area basal	Dominancia relativa (DmR)	Índice Valor de Importancia (IVI)
<i>Aegiphila Sp</i>	Lamiaceae	1	1,04	0,02	0,66	1,70
<i>Batocarpus orinocensis</i>	Moraceae	1	1,04	0,01	0,34	1,38
<i>Cecropia fisifolia</i>	Urticaceae	2	2,08	0,02	0,61	2,69
<i>Cecropia membranacea</i>	Urticaceae	4	4,17	0,11	3,36	7,53
<i>Cecropia Sp</i>	Urticaceae	5	5,21	0,23	6,69	11,90
<i>Coccoloba denginfron</i>	Polygonaceae	1	1,04	0,05	1,42	2,47
<i>Conceveiba myudocarpa</i>	Euphorbiaceae	1	1,04	0,04	1,32	2,36
<i>Cordia Sp</i>	Boraginaceae	1	1,04	0,02	0,71	1,75
<i>Duguetia spixiana</i>	Annonaceae	1	1,04	0,01	0,37	1,42
<i>Eugenia Sp</i>	Myrtaceae	1	1,04	0,06	1,85	2,90
<i>Guarea kunthiana</i>	Meliaceae	1	1,04	0,02	0,52	1,56
<i>Hasseltia floribunda</i>	Salicaceae	2	2,08	0,04	1,13	3,22
<i>Heliocarpus americanus</i>	Malvaceae	8	8,33	0,18	5,32	13,66
<i>Inga acreana</i>	Fabaceae	2	2,08	0,07	2,03	4,11
<i>Iriartea deltoidea</i>	Arecaceae	5	5,21	0,17	5,00	10,21
<i>Lacistema aggregatum</i>	Lacistemataceae	1	1,04	0,08	2,48	3,52
<i>Myrcia fallax</i>	Myrtaceae	1	1,04	0,04	1,15	2,19
<i>Ocotea oblonga</i>	Lauraceae	1	1,04	0,03	0,99	2,03
<i>Otoba glycyarpa</i>	Myristicaceae	2	2,08	0,18	5,27	7,35
<i>Pictocoma discolor</i>	Asteraceae	36	37,50	1,01	29,82	67,32
<i>Piptadenia pteclara</i>	Fabaceae	1	1,04	0,01	0,36	1,40
<i>Porcelia Sp</i>	Annonaceae	1	1,04	0,42	12,38	13,42
<i>Pourouma tomentosa</i>	Cecropiaceae	1	1,04	0,01	0,41	1,45
<i>Pouteria torta</i>	Sapotaceae	2	2,08	0,11	3,21	5,30
<i>Psychotria Sp</i>	Rubiaceae	1	1,04	0,04	1,08	2,12
<i>Rollinia Sp</i>	Annonaceae	1	1,04	0,06	1,69	2,73
<i>Sapium glandulosum</i>	Euphorbiaceae	1	1,04	0,06	1,69	2,73
<i>Simira rubescens</i>	Rubiaceae	1	1,04	0,01	0,32	1,36
<i>Socratea rostrata</i>	Arecaceae	1	1,04	0,02	0,59	1,63
<i>Talisia Sp</i>	Sapindaceae	1	1,04	0,07	1,94	2,98
<i>Theobroma subincanum</i>	Malvaceae	1	1,04	0,01	0,32	1,36
<i>Trema micrantha</i>	Cannabaceae	3	3,13	0,09	2,62	5,74
<i>Wettinia maynensis</i>	Arecaceae	4	4,17	0,08	2,36	6,53
		96	100	3,40		

Frecuencia (F): repetición de una misma especie de vegetación arbórea; **Densidad relativa (Dr):** abundancia de una especie arbórea ($F \cdot 100 / F_{\text{total}}$); **ΣG área basal:** $0.7854 \cdot (DAP)^2$; **Dominancia relativa (DmR):** $(G/G_{\text{total}}) \cdot 100$; **Índice valor de importancia (IVI):** densidad relativa (Dr) + Dominancia relativa (DmR); **Diversidad:** $(F/F_{\text{total}}) \cdot 100$

Se evidenció que la frecuencia de mayoría de las familias y especies están representadas por un número reducido de individuos, generalmente uno. Dominan unas pocas especies y familias botánicas, lo cual ha sido ampliamente reportado en bosques húmedos (Hubbell,

1997; Ter Steege *et al.*, 2013). La alta abundancia de la familia Arecaceae encontrada en el presente estudio, concuerda con lo reportado en las regiones húmedas (Galeano, 2000; Nieto, 2009). A nivel del manejo de mosaicos del paisaje, el Ecuador es considerado como un país con enorme potencial, especialmente en la zona andino amazónica, donde se alojan varios tipos de ecosistemas y flora (Lozano *et al.*, 2013).

4.5 ÍNDICES DE DIVERSIDAD BAJO DISTINTOS TIPOS DE BOSQUE (SIMPSON Y SHANNON)

Para el análisis de biodiversidad se realizaron inventarios forestales para determinación del carbono orgánico presente en los sistemas agroforestales, a la vez se describen su estructura y el funcionamiento de la vegetación, permitiendo reconocer la complejidad estructural presente. Mediante los índices como los de Simpson y Shannon se puede realizar comparaciones entre la diversidad de vegetación en de distintos tipos de bosque Para su interpretación, el índice de Shannon puede variar entre 0,5 y 5, con un rango normal de 2 a 3 y donde valores inferiores a 2 se consideran bajos y superiores a 3 altos, no obstante en el caso del del índice de Simpson se determina entre valores entre 0 y 1, donde los valores cercanos a la unidad representan mayor diversidad (Campo & Duval, 2014).

Tabla 13. Índices de Simpson y Shannon de los tres tipos de bosque perteneciente a Boayacu, Simón Bolívar y Unión Llandia.

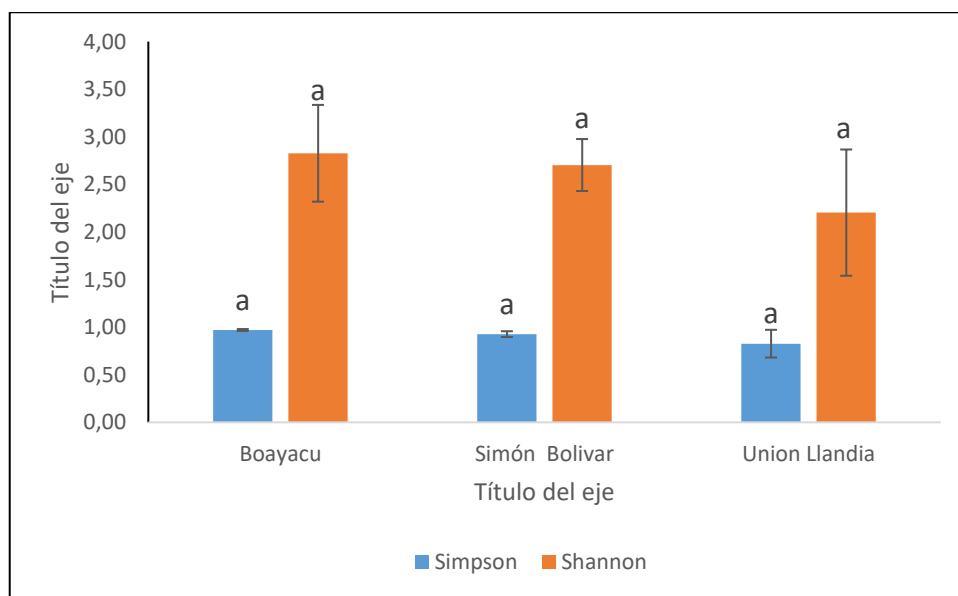
Índice	Bosques	Subparcela 1	Subparcela 2	Subparcela 3	Total
Simpson	Boayacu	0,98	0,97	0,96	0,97 ± 0,01 (a)
	Simón Bolívar	0,92	0,96	0,90	0,93 ± 0,03 (a)
	Unión Llandia	0,93	0,66	0,89	0,83 ± 0,15 (a)
Shannon	Boayacu	3,21	3,02	2,25	2,83 ± 0,51 (a)
	Simón Bolívar	2,75	2,95	2,41	2,70 ± 0,27 (a)
	Unión Llandia	2,64	1,44	2,53	2,20 ± 0,66 (a)

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

En el estudio realizado se aplicaron los índices de determinación de biodiversidad en los tres tipos de bosque Boayacu, Simón Bolívar, y Unión Llandia donde, cuyo resultado se presenta en la Tabla 13. Se puede apreciar que para los tres tipos de bosque el índice de Simpson en la subparcela 1,2 y 3 proporcionaron valores cercanos a la unidad, lo cual indica que esto determina que los bosques mantienen una mayor diversidad a excepción de la subparcela 2 de Unión Llandia que mantiene valores bajos de diversidad. Con respecto al índice de Shannon los bosques presentaron valores estadísticamente similares con mayor valor en el bosque Boayacu: En los tres bosques el índice oscilo de 2 a 3 valores o rango que reflejan una adecuada diversidad de vegetación.

4.5.4. Comparación de biodiversidad de los tres tipos de bosque

En la Figura 20 se puede apreciar la comparación de los tres tipos de bosque realizados mediante los índices de Simpson y Shannon, lo cual representan que los bosques cumplen con los rangos establecidos para el índice de Simpson con valores cercanos a la unidad $0,97 \pm 0,01$ (a) y para Shannon con los rangos normales que están entre 2 y 3 lo cual existen valores de $2,83 \pm 0,51$ (a) (Tabla. 13) esto determina que los bosques pertenecientes a la provincia de Pastaza del Cantón Mera y Parroquia Teniente Hugo Ortiz tienen son biodiversos y brindan un gran aporte para la realización de captura de Carbono.



Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0,05$

Figura 20. Valores de los Índices de Simpson y Shannon bajo los distintos tipos de bosque.

Se puede señalar que los resultados de los índices están estrechamente relacionados con el número de especies promedio por uso del suelo. Con respecto al bosque de Simón Bolívar y

Unión Llandia los índices obtenidos reflejan un espacio fragmentado que ha sido intervenido dado a las cercanías del mismo con las áreas ganaderas y agrícolas respectivamente y donde los productores van deforestando las especies maderables de interés económico o de utilidad para usar en sus actividades productivas.

4.6. SECUESTRO DE CARBONO EN DISTINTOS COMPONENTES PARA LOS TRES TIPOS DE BOSQUE (SUELO, BIOMASA AÉREA Y HOJARASCA).

4.6.1 Carbono Orgánico Total del suelo de la profundidad (0-30cm)

El carbono orgánico total del suelo es un elemento importante del ciclo del Carbono, por lo tanto estudios realizados demuestran que en C encontrado en el suelo puede funcionar como una fuente o reservorio de Carbono orgánico (Martínez & Fuentes, 2008). Los resultados obtenidos en esta investigación sobre el carbono orgánico total de los distintos tipos de bosque oscilaron de 157,80 a 146,93 Mg Indistintamente del tipo de bosque se puede denotar que el Bosque de Boayacu proporciona valores de COT más altos que para los bosques de Simón Bolívar y Unión Llandia tal como se muestra en la (Tabla 14).

Tabla 14. Determinación de Carbono orgánico total de la profundidad de (0-30cm).

Localización	COT 0-30	Da 0-30	Pha Mg ha-1	Pha kg ha-1	Kg COT/ha	Mg COT/ha	Mg C Suelo 0-30/Ha
Boayacu	16,00	0,38	1140,00	1140000,00	182400,00	182,40	
	17,55	0,34	1005,00	1005000,00	176377,50	176,38	
	11,10	0,51	1515,00	1515000,00	168165,00	168,17	
	11,85	0,35	1035,00	1035000,00	122647,50	122,65	
	15,75	0,30	885,00	885000,00	139387,50	139,39	157,80
Simón Bolívar	14,25	0,37	1110,00	1110000,00	158175,00	158,18	
	11,60	0,35	1050,00	1050000,00	121800,00	121,80	
	15,75	0,31	915,00	915000,00	144112,50	144,11	
	14,00	0,34	1005,00	1005000,00	140700,00	140,70	
	15,65	0,36	1065,00	1065000,00	166672,50	166,67	146,29
Unión Llandia	10,40	0,42	1260,00	1260000,00	131040,00	131,04	
	11,65	0,64	1905,00	1905000,00	221932,50	221,93	
	5,50	0,69	2070,00	2070000,00	113850,00	113,85	
	17,40	0,28	840,00	840000,00	146160,00	146,16	
	13,75	0,30	885,00	885000,00	121687,50	121,69	146,93

4.6.2 Carbono de la biomasa aérea

El ciclo del carbono se identifica por tener reservas atmosféricas muy pequeñas, pero sumamente activas y vulnerables a las perturbaciones ocasionadas antropogénicamente, las cuales, a su vez modifican los patrones climáticos de manera que afectan directamente la

vida sobre la tierra. Las plantaciones forestales pueden brindar un importante servicio ambiental por su potencial de capturan carbono, lo almacenan principalmente en la biomasa dura como la madera, hojas, ramas, corteza y raíces; esto depende de la composición de las especies en un bosque o plantación (López-Reyes *et al.*, 2016). Para ello se realizaron análisis de carbono en la biomasa aérea bajo distintos tipos de bosque pertenecientes al Cantón Mera y Parroquia Teniente Hugo Ortiz, los cuales fueron analizados mediante una ecuación alométrica (Ecuación. 5), aplicada a la medición de los arboles donde se tomó en cuenta el BSSárbol que es la biomasa aérea sobre el suelo, P la densidad de la madera g/cm^3 y D diámetro a la altura al pecho cm. Dando como resultado valores aceptables para la realización de captura de carbono en los tres tipos de bosque (Tabla 15).

Tabla 15. Determinación de Carbono en biomasa aérea bajo distintos tipos bosque.

Localización	C Mg ha/Parcela		CO2 Mg /ha Parcela	
Boayacu	182,03		668,05	
	238,42		874,99	
	192,23	612,68	705,47	2248,52
Simón Bolívar	135,15		496,00	
	166,31		610,37	
	67,60	369,07	248,10	1354,47
Unión Llandia	93,56		343,35	
	121,85		447,18	
	133,24	348,64	488,98	1279,51

En la Figura 21 se puede apreciar la comparación de los dos tres tipos de bosque, realizados en el componente de biomasa aérea la cual representan que los bosques aportan con un alto valor de secuestro de carbono y retención de CO_2 en Mg/Ha, por los cual se determina que los bosques pertenecientes a la provincia de Pastaza del Cantón Mera y Parroquia Teniente Hugo Ortiz tienen un gran potencial para la captura y retención de C.

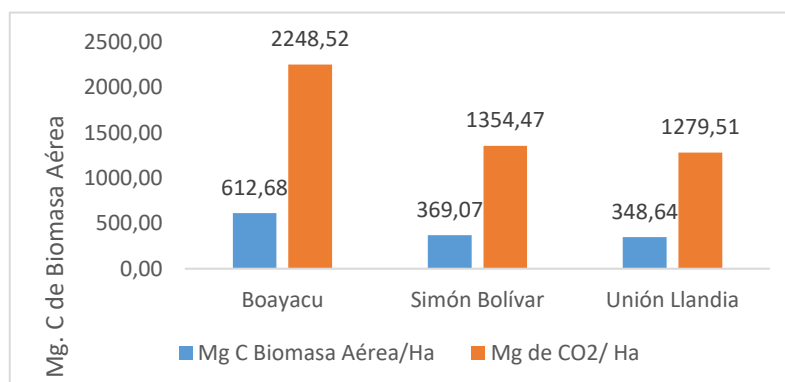


Figura 21. Valores del potencial de secuestro de C y retención de CO_2 en la biomasa aérea bajo los distintos tipos de bosque.

4.6.3 Carbono de la vegetación no arbórea (Hojarasca)

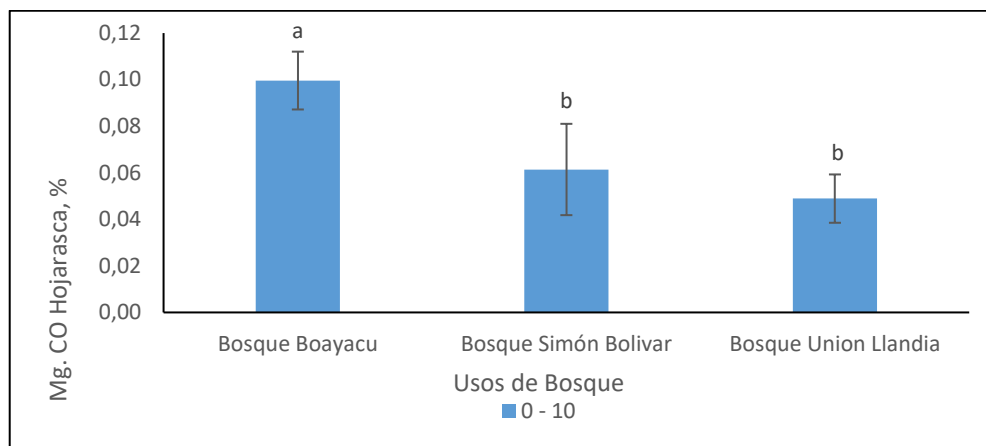
En los últimos años se está tratando de dar una mayor importancia a la conservación de los bosques ya que son esenciales para la realización de la captura de carbono. En este contexto, se ha señalado la importancia de la hojarasca para la estabilidad y el funcionamiento del ecosistema, pues constituye la fuente principal de circulación de materia orgánica, energía y nutrientes entre las plantas y el suelo (Gliessman, 2014). También es conocida su utilidad como mejoradora de las condiciones físico-químicas y en la regulación del régimen de fluctuación diaria de la temperatura del suelo. Aunque existen numerosos factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca de las diferentes especies vegetales que componen los ecosistemas, el clima modifica notablemente la naturaleza y la rapidez de la descomposición de los restos vegetales en la superficie del suelo, de modo que ejerce una importante influencia en el tipo y la abundancia de la materia orgánica (Bravo *et al.*, 2015).

Tabla 16. Determinación de CO en Hojarasca en tres tipos de bosque

Localización	Materia seca de hojarasca + funda (g)	Peso de la funda (g)	MS solo de hojarasca (g)	MS de hojarasca (kg)	Carbono de la hojarasca (kg) MS+IPCC 0,5	Mg de C almacenado en hojarasca
Boayacu	190,59	11,79	178,8	0,18	0,09	
	252,33	11,61	240,72	0,24	0,12	
	200,68	11,63	189,05	0,19	0,09	
	196,21	11,54	184,67	0,18	0,09	
	214,74	11,58	203,16	0,20	0,10	0,10
Simón Bolívar	117,5	11,5	106	0,11	0,05	
	98,49	11,57	86,92	0,09	0,04	
	196,94	11,65	185,29	0,19	0,09	
	111,79	11,63	100,16	0,10	0,05	
	147,47	11,74	135,73	0,14	0,07	0,06
Unión Llandia	96,13	11,53	84,6	0,08	0,04	
	145,77	11,5	134,27	0,13	0,07	
	97,78	11,34	86,44	0,09	0,04	
	100,28	11,62	88,66	0,09	0,04	
	106,51	11,42	95,09	0,10	0,05	0,05

En el ecosistema, la hojarasca que cae al suelo se acumula y descompone realizando una aportación de nutrientes y carbono que se puede acumular en el suelo (Cuevas & Román, 2014). Sin embargo, algunos señalan que en la vegetación las concentraciones de CO son menores en comparación a lo aportado por el suelo (Martínez H & Fuentes E, 2008). Como se puede apreciar en la Figura 22, la cantidad de hojarasca presentó diferencias significativas en función del tipo de Bosque resultando en una mayor cantidad en el Bosque de Boayacu con respecto al resto que presentaron valores similares Tabla 16. Esto resultados por un lado

contribuye al aporte de Carbono total almacenado, pero como ha sido señalado por otros autores se asocia con un mayor aporte de materia orgánica y a su vez se traduce en un mejoramiento de algunos índices estructurales como la densidad aparente, la conductividad hidráulica y la porosidad de aireación (Bravo et al., 2015).



Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

Figura 22. Valores de Carbono Orgánico en hojarasca bajo distintos tipos de bosque a dos profundidades del Cantón Mera y la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.

4.6.4. Carbono Total Almacenado de los tres componentes (suelo, biomasa aérea, y hojarasca).

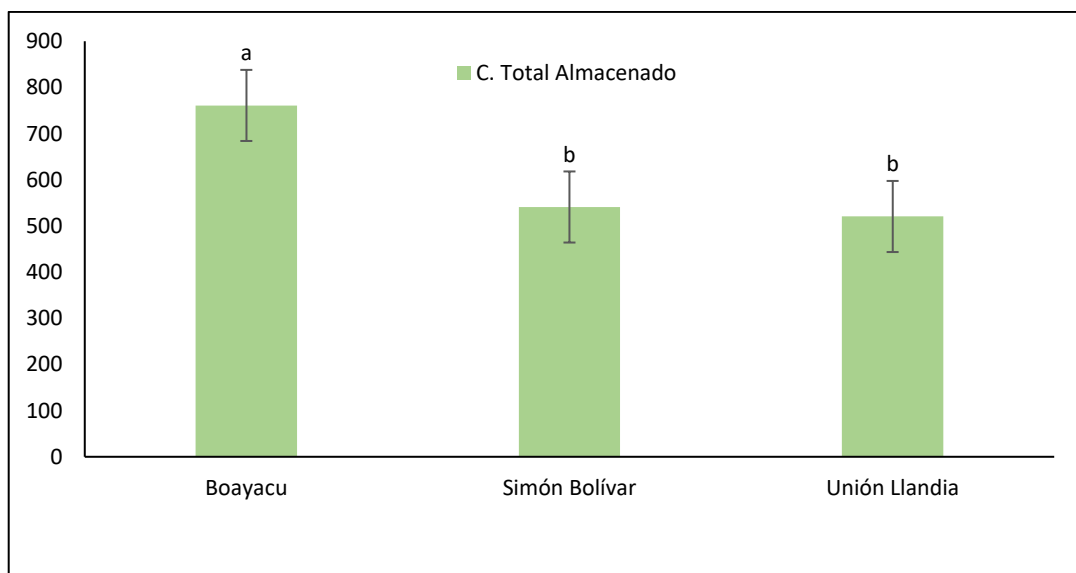
Cuando se contabilizaron los distintos componentes como la biomasa aérea, hojarasca y el suelo de estos tres bosques estudiados y su aporte al Carbono total almacenado (CTA) se pudo observar diferencias significativas como se muestra en la (Tabla 17). De los tres componentes, independientemente del tipo de bosque se pueden señalar que quien más aporta al CTA con Mg ha^{-1} de carbono es la biomasa aérea, seguido por el componente suelo y en menor valor la hojarasca tiene menos aportes de captura de carbono en estos tres tipos de bosque, el suelo también tiene aportes con valores aceptables de carbono almacenado.

Después de la quema de los combustibles fósiles, el cambio de uso del suelo es la segunda causa mundial de emisiones de dióxido de carbono, y uno de estos cambios corresponden a sistemas agrícolas, como la agricultura y ganadería es uno de los principales casos por los cuales los bosques son deforestados (IPCC, 2007). El propósito principal es optimizar la producción para un manejo sostenible además de generar bienes y servicios ecosistémicos, como el aumento de las reservas de carbono en la biomasa aérea y en el suelo (Kumar & Nair, 2004). La cantidad de carbono almacenado en los diferentes tipos de bosque localizados en el Cantón Mera y Parroquia Teniente Hugo Ortiz provincia de Pastaza se obtuvo como resultado que la biomasa aérea es la que obtuvo valores más altos de carbono

almacenado a comparación del suelo tal como se muestra en la Tabla 17. En este caso los estudios que se realizó sobre el secuestro de carbono en estas tres variables se denota que el carbono total almacenado por bosque oscila entre 760 a 520 Mg. Indistintamente del tipo de bosque con un valor mayor de aportación es el bosque de Boayacu y en cantidades menores el bosque de Simón Bolívar y Unión Llandia teniendo resultados similares entre estos dos bosques (Figura. 23). Comparando los valores con los valores críticos estos bosques se los considera como altos almacenadores de carbono.

Tabla 17. Carbono total Almacenado de las distintas variables biomasa aérea, hojarasca y suelo bajo los distintos tipos de bosque.

BOSQUES	Mg C Biomasa Aérea/Ha	Mg de CO ₂ Ha	Mg de C Hojarasca/Ha	Mg C Suelo 0-30/Ha	C. Total Almacenado
Boayacu	612,68	2248,53	0,10	157.80	770.58 a
Simón Bolívar	369,06	1354.45	0,06	146.29	515.41 b
Unión Llandia	348,65	1279.54	0,05	146.93	495.63 b



Letras iguales denotan que no existe diferencia significativa a un nivel de $P < 0.05$

Figura 23. Valores de Carbono Orgánico total almacenado bajo los tres tipos de Bosque.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ❖ Parámetros físicos (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr) para los tres tipos de bosque, muestran adecuadas condiciones estructurales lo cual le confieren una adecuada infiltración, aireación y retención de agua. Parámetros químicos (pH, Acidez, Al, P, K, Ca, Mg, muestran limitadas condiciones al compararlos con los valores críticos de cada variable para ambas profundidades evaluadas lo cual los categoriza como ácidos, de baja fertilidad química. En todos los Bosques el contenido de Carbono Orgánico ambas profundidades fueron alta.
- ❖ La diversidad fue muy similar en los tres bosques sin diferencias significativas, sin embargo, con mayor valor de los distintos índices en el bosque Boayacu, reflejando una mayor riqueza de especies que oscilo de moderada a alta diversidad de vegetación. Las familias predominantes según tipo de Bosque fueron: Boayacu (Fabaceae, Arecaceae y Sapotaceae); Bosque Simón Bolívar (Urticaceae, Arecaceae, Anacardiaceae) y Bosque Unión Llandia (Asteraceae, Urticaceae, Arecaceae,).
- ❖ En relación a la capacidad de secuestro de carbono en sus distintos compartimentos (Suelo, Hojarasca, Biomasa aérea), el bosque localizado en la comunidad de Boayacu fue el que presento mejor comportamiento seguido por Simón Bolívar y Unión Llandia, lo cual está asociado a la diversidad, biomasa y grado de intervención. Todo ello se traduce en diferencias en cuanto a la cantidad de CO₂ que se dejan de emitir a la atmosfera, destacando el papel de los bosques como regulador del cambio climático.

5.2. RECOMENDACIONES

- ❖ Como un elemento fundamental para el desarrollo de planes de conservación y el uso sustentable de los recursos naturales se recomienda realizar este tipo de estudio (Biodiversidad, Secuestro de Carbono) en diferentes Bosques de la RAE. Su conocimiento, cuantificación y análisis es fundamental para entender procesos y los cambios inducidos por la actividad humana.
- ❖ Se recomienda realizar el análisis de suelo de los bosques amazónicos para determinar la variabilidad que existan entre los bosques de cada región y realizar similitudes de aporte al medio ambiente, y realizar labores de conservación y mitigación.
- ❖ Mediante los análisis de captura de carbono se estudió que los bosques de la amazonia ecuatoriana tienen un gran potencial de secuestro de C por lo que se recomienda incentivar a las prácticas de reforestación forestal en los bosques para fines de retención de CO₂ beneficiando al medio ambiente.

CAPITULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M., & Carrillo, A. (2009). Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et cham. *Terra Latinoamericana*, 27(2), 105-114.
- Álvarez, M., & Novoa, C. (2010). *Diversidad florística, vegetal y de hábitats en el archipiélago de los chonos:(región de Aisén, Chile)*. Paper presented at the Anales del Instituto de la Patagonia.
- Barbecho, J., & Calle, J. (2012). *Caracterización de la conductividad hidráulica de los suelos de la subcuenca del Río Tarqui*.
- Bertsch, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Blake, G. R., & Hartge, K. (1986). Bulk Density1. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods(methodsofsoilan1)*, 363-375.
- Bravo-Medina, C., Marín, H., Marrero-Labrador, P., Ruiz, M. E., Torres-Navarrete, B., Navarrete-Alvarado, H., . . . Changoluisa-Vargas, D. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonia Ecuatoriana. *Bioagro*, 29(1), 23-36.
- Bravo, C., Benítez, D., Burgos, J. C. V., 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*, 4(1), 03-31.
- Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Torres, R., Navarrete, H., & Changoluisa, D. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(11), 1-16.
- Bravo, C., Torres, B., Changoluisa, D., Marín, H., Alemán, R., & Torres, R. (2016). Environmental impact of livestock systems in the Ecuadorian Amazon.
- Bussler, W. (1980). Mengel, K., and Kirkby, EA: Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, CH-3048 Worblaufen-Bern, Switzerland, 1978, 593 Seiten mit zahlreichen Abbildungen, grafischen Darstellungen und Tabellen. 38.-Swiss Francs plus Versandkosten. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 143(1), 126-127.

- Campo, A. M., & Duval, V. S. (2014). *Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina) I*. Paper presented at the Anales de Geografía de la Universidad Complutense.
- Carreño, A., & Chaparro, A. (2013). Tolerancia al aluminio en especies vegetales: mecanismos y genes. *Universitas Scientiarum*, 18(3), 283.
- Carrillo Anzúres, F., Acosta Mireles, M., Flores Ayala, E., Juárez Bravo, J. E., & Bonilla Padilla, E. (2014). Estimación de biomasa y carbono en dos especies arbóreas en La Sierra Nevada, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5, 779-793.
- Castro, H., & Munevar, Ó. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 409-416.
- Cerisola, C. I., García, M. G., & Filgueira, R. R. (2005). Distribución de la porosidad de un suelo franco arcilloso (alfisol) en condiciones semiáridas después de 15 años bajo siembra directa. *Ciencia del suelo*, 23(2), 167-178.
- 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*.
- Cuevas, R. S., & Román, D. F. (2014). Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, caso santuario sierra Chincua, México/Organic carbon of the litter in the forests of the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, sierra Chincua, México sanctuary case/O carbono orgânico na maca em florestas do evento Borboleta Reserva da Biosfera da Monarch Sanctuary viu Chincua, México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(1), 29.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J., Eamus, D., . . . Kira, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99.
- Chirinos, I., & 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.
- Díaz Villaruel, A. G. (2016). *Impacto Ambiental del Cambio de Uso del Suelo Sobre los Parámetros Edáficos en la Reserva de Biósfera Sumacos Provincia de Napo*.
- Dixon, R. (1995). Agroforestry systems: sources of sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems*, 31(2), 99-116.

- Espinoza-Domínguez, W., Krishnamurthy, L., Vázquez-Alarcón, A., & Torres-Rivera, A. (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(1), 57-70.
- Eyherabide, M., & Saínz Rozas, H. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del suelo*, 32(1), 13-19.
- Eyherabide, M., Saínz Rozas, H., Barbieri, P., & Echeverría, H. E. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del suelo*, 32(1), 13-19.
- FAO. (2018). Suelos Ácidos. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
- Fernández, M. T., & 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.
- Galeano, G. (2000). Forest use at the Pacific Coast of Chocó, Colômbia: a quantitative approach. *Economic Botany*, 54(3), 358-376.
- Galicia, L., Saynes, V., & Campo, J. (2015). Biomasa aérea, biomasa 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., & Vargas-Madriz, H. (2015). Magnesio y su relación con la calidad de Lilium cv. Casablanca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6, 265-276.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.
- Gayoso A, J., & Guerra C, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque (Valdivia)*, 26, 33-38.
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*: CATIE.
- Gliessman, S. R. (2014). *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*: CRC press.

- González-Barrios, J. L., González-Cervantes, G., & 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-Barrios, J. L., González-Cervantes, G., Sánchez-Cohen, I., López-Santos, A., & Valenzuela-Núñez, L. M. (2011). Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 369-377.
- González, L., Moreno P, L. d. C., Krishnamurty, L., Baéz P, A., & Acosta, M. (2012). Simulación de los cambios de carbono orgánico del suelo en sistema de cultivo con higuierilla por el modelo Roth C. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Texcoco, México*.
- Gutiérrez-Castorena, M. D. C., Hernández Escobar, J., Ortiz-Solorio, C. A., Anicua Sánchez, R., & 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.
- Herrera Vásquez, M. W. (2012). *Diseño de un sistema de tratamiento de agua para consumo humano para las comunidades de Allishungo y centro poblado en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz, provincia de Pastaza*.
- Hubbell, S. P. (1997). A unified theory of biogeography and relative species abundance and its application to tropical rain forests and coral reefs. *Coral reefs*, 16(1), S9-S21.
- Ibarra Castillo, D., Ruiz Corral, J. A., González Eguiarte, D. R., Flores Garnica, J. G., & Díaz Padilla, G. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura técnica en México*, 35, 267-276.
- 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*.
- IPCC. (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4): Cambridge university press.
- Kloster, N., Pérez, M., & Bono, A. (2016). Análisis del carbono total, orgánico e inorgánico en suelos de la región semiárida pampeana Argentina. *Ciencia del suelo*, 34(2), 365-372.

- Kochian, L. V., & Hoekenga, O. A. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 55, 459-493.
- Kumar, B. M., & Nair, P. R. (2004). The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems*, 61(1-3), 135-152.
- Kutschker, A., Hechem, V., Codesal, P., Rafael, M., López, S., & Silva, V. (2015). Diversidad de plantas exóticas en áreas sometidas a distintos disturbios en el Parque Nacional Los Alerces, Chubut (Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 50(1), 47-59.
- López-Reyes, L. Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Zavala-Cruz, J., Gómez-Guerrero, A., & Posada-Cruz, S. (2016). Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades. *Madera y bosques*, 22(3), 49-60.
- López, F., & Galantini, J. A. (2016). Porosidad de ustoles bajo siembra directa en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, 34(2), 137-184.
- Lozano, P., Torres, B., & Rodríguez, X. (2013). Investigación de Ecología Vegetal en Ecuador: Muestreo y Herramientas Geográficas. *Universidad Estatal Amazónica. Puyo, Ecuador.*
- 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.
- Martel, C., & Cairampoma, L. (2012). Cuantificación del carbono almacenado en formaciones vegetales amazónicas en "CICRA", Madre de Dios (Perú). *Ecología Aplicada*, 11(2), 59-65.
- Martínez, E., Fuentes, J.-P., Silva, P., Valle, S., & Acevedo, E. (2008). Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil and Tillage Research*, 99(2), 232-244.
- Martínez, E., & Fuentes, J. P. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.

- Martínez H, E., & Fuentes E, J. P. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8, 68-96.
- Miranda, T., Machado, R., Machado, H., Brunet, J., & Duquesne, P. (2008). Valoración económica de bienes y servicios ambientales en dos ecosistemas de uso ganadero. *Zootecnia Tropical*, 26(3), 187-189.
- Miranda, T., Machado, R., Machado, H., & Duquesne, P. (2007). Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica.: Estudio de caso. *Pastos y Forrajes*, 30, 0-0.
- Moreno, N., & Herrera, M. A. (2011). Modelo para cálculo estimación del carbono en Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe en la Reserva Nacional Malleco-Chile. *Revista Árvore*, 35(6).
- Mosquera, H. Q., & Hurtado, F. M. (2014). Diversidad florística arbórea y su relación con el suelo en un bosque pluvial tropical del Chocó Biogeográfico. *Revista Árvore*, 38(6), 1123-1132.
- Mutuo, P. K., Cadisch, G., Albrecht, A., Palm, C., & Verchot, L. (2005). Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 71(1), 43-54.
- Nair, P., Mohan Kumar, B., & Nair, V. D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(1), 10-23.
- Nieto, V. Á. (2009). Diversidad florística y elementos estructurales de los bosques secundarios del Bajo Calima. *Los Bosques secundarios del trópico húmedo colombiano Caso del Bajo Calima*, 81-110.
- Noumi, V. N., Zapfack, L., Hamadou, M., Djongmo, V. A., Witanou, N., Nyeck, B., . . . Mapongmetsem, P. (2017). Floristic diversity, carbon storage and ecological services of eucalyptus agrosystems in Cameroon. *Agroforestry Systems*, 1-12.
- Ordóñez Díaz, J. A. B., Rivera Vázquez, R., Tapia Medina, M. E., & Ahedo Hernández, L. R. (2015). Contenido y captura potencial de carbono en la biomasa forestal de San Pedro Jacuaro, Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6, 7-16.
- Pardos, J. A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global* (Vol. 20): INIA.
- Picone, L. (2006). Propiedades del suelo relacionadas con la fertilidad. *Fertilidad de suelo y Fertilización de Cultivos* (eds. HE Echeverría & FO García). Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, 3-18.

- 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.
- Prieto Méndez, J., Prieto García, F., & Acevedo Sandoval, O. A. (2014). Variabilidad espacial de la materia orgánica en un suelo dedicado al cultivo de cebada maltera (*Hordeum distichum* L.). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 141-152.
- Quintana, M., & Luis, J. (2012). Indicadores de sustentabilidad en función del suelo y retención de carbono en la biomasa de *Ceroxylon peruvianum* Galeano, Sanín & Mejía en la cuenca media del río Utcubamba, Amazonas, Perú. *Ecología Aplicada*, 11(1), 33-38.
- Rau, J. R. (2005). Biodiversidad y colecciones científicas. *Revista chilena de historia natural*, 78(3), 341-342.
- Rincón, J., & Gallardo, Y. (2003). Efecto de la relación calcio: fósforo en el suelo sobre el crecimiento y nodulación de plantas jóvenes de acacia mangium (willd) ¹. *Bioagro*, 15(2), 97-105.
- Rodríguez-Larramendi, L. A., Guevara-Hernández, F., Reyes-Muro, L., Ovando-Cruz, J., Nahed-Toral, J., Prado-López, M., & Campos Saldaña, R. A. (2016). Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7, 77-94.
- Rojas, D., & Ludwig, M. (2008). Estimación de la conductividad hidráulica saturada in situ en un suelo tratado con vinaza. *Acta Agronómica*, 57(2), 125-128.
- Rubio Gutiérrez, A. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornoques. *Universidad de Sevilla. Sevilla. España*.
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana.
- Sampaio, E. P. (2009). Estudio de las Prácticas Culturales, Porosidad del Suelo y Gestión Hídrica en el Combate contra la Desertificación. *Información tecnológica*, 20, 101-112.
- Schlegel, B. (2001). *Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde*. Paper presented at the Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales.

- Schulte, E., & Hopkins, B. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. *Soil organic matter: Analysis and interpretation*(soilorganicmatt), 21-31.
- Shiguango, K., & Zambrano, S. (2018). Evaluación de la calidad del suelo bajo distintos usos de la tierra mediante parametros ambientales en la comunidad Boayacu, Parroquia Teniente Hugo Ortiz, Canton Pastaza, Provincia Pastaza., 1.
- Sustaita, F., & Ordaz, V. (2000). Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. *Agrociencia*, 34(4).
- Taboada, M., & Alvarez, C. R. (2008). Fertilidad física de los suelos: Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires (Argentina). Facultad de Agronomía.
- Ter Steege, H., Pitman, N. C., Sabatier, D., Baraloto, C., Salomão, R. P., Guevara, J. E., . . . Molino, J.-F. (2013). Hyperdominance in the Amazonian tree flora. *Science*, 342(6156), 1243092.
- Varea, A. (2006). Iniciativas para conservar la biodiversidad. *Universitas, Revista de Ciencias Sociales y Humanas*(4).
- Wei, X., Hao, M., Shao, M., & 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.

CAPITULO VII

7. ANEXOS

Tabla 18. Niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelo.

	Muy Acido	Acido	Mediana Acido	Ligeramente Acido	Practicamente Neutro	Ligeramente Alcalino	Medianamente Alcalino	Alcalino	Alcalino
Ph	0.0-<5.00	5-5.5	>5.5-6	>6-6.5	>6.5-7.5	>7.5-8	>8-8.5	>8.5	7.00
Nutriente	Unidad		Bajo	Medio	Alto	Toxico			
P	pmm		<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				
M.O	%		<3	3-5	>5				
Nutriente	Unidad		Bajo	Medio	Toxico				
Al³⁺ + H¹⁺	meq/100ml		<0,50	0.5-1,5	>1.5				
Al	meq/100ml		<0.30	0.3-1.00	>1.00				

Fuente: (INIAP 2012)



Figura 24. Extracción de muestras compuestas para la determinación de Carbono.



Figura 25. Recolección de hojarasca para la determinación de carbono.



Figura 26. Extracción de muestras no alteradas para determinación de densidad Aparente.



Figura 27. Conservación de las muestras no alteradas sobre papel aluminio para que mantengan sus condiciones de campo.



Figura 28. Realización de Inventario forestal para el análisis de biodiversidad.



Figura 29. Reconocimiento del nombre científico de las especies forestales.



Figura 30. Extendido de muestras de suelo para el proceso de secado.



Figura 31. Tamizado e ingreso de muestras para la realización de análisis.



Figura 32. Determinación de pH.



Figura 33. Análisis de Al, P, K, Ca y Mg, del suelo.



Figura 34. Determinación de conductividad hidráulica.



Figura 35. Pesaje de los cilindros para la determinación de densidad aparente del suelo.



Figura 36. Pesaje de las fundas para hojarasca y determinación de carbono.



Figura 37. Pesaje de suelo para determinación de carbono mediante el método de calcinación.