UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TÍTULO A OBTENER

Ingeniero Ambiental

TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Valoración de los Servicios Ecosistémicos en diferentes usos de suelo del Paseo turístico río Puyo, Provincia de Pastaza.

AUTOR

Thony Brayan Huera Lucero

DIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina, PhD

PUYO - ECUADOR

2019

DECLARACION DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe, Huera Lucero Thony Brayan portador de la cedula de identidad N° 040188552-0, hago constar que soy el autor del proyecto de investigación con el título "VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN DIFERENTES USOS DE SUELO DEL PASEO TURÍSTICO RÍO PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA" 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.

_____

Huera Lucero Thony Brayan
0401885520

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Yo, Carlos Alfredo Bravo Medina, con número de cedula 1757015373 certifico que el egresado Huera Lucero Thony Brayan realizo el Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado "VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN DIFERENTES USOS DE SUELO DEL PASEO TURÍSTICO RÍO PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA", 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: "VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN DIFERENTES USOS DE SUELO DEL PASEO TURÍSTICO RÍO PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA", fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

_____

Dr. Arteaga Yasiel
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

_____

Dr. García Yudel
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

_____

Dr. Torres Bolier
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme vivir y brindarme una vida llena de muchas experiencias, logros y oportunidades, que he sabido aprovechar al máximo para obtener lo mejor de ellas, he aquí el fruto de mi esfuerzo y dedicación, la culminación de mi carrera profesional.

A mis padres y hermanos por ser ese pilar fundamental que me impulsa día a día a seguir luchando por mis objetivos. En especial a mi madre Ligia Lucero por estar presente en cada etapa de mi vida, siempre apoyando mis aspiraciones y por haberme dado la oportunidad de emprender y culminar exitosamente una carrera universitaria.

A la Universidad Estatal Amazónica, por abrirme sus puertas y haberme permitido ser parte de su comunidad educativa durante estos cinco años de formación, a los docentes y compañeros con quienes he compartido gratos momentos y experiencias, que han formado parte de mi trayecto universitario.

Y un agradecimiento personal a mi tutor de proyecto de grado PhD. Carlos Bravo por su predisposición y asesoramiento, fundamental en el desarrollo y culminación de este proyecto.

Thony Brayan Huera Lucero

DEDICATORIA

A mi pequeña familia por haber estado a mi lado durante todo este trayecto universitario, apoyándome en cada actividad y propósito, siendo el pilar fundamental en mi vida.

A mis padres Marco Huera y Ligia Lucero por haberme dado la vida e inculcarme todos esos valores que me han convertido en un hombre de bien ante la sociedad, por demostrarme que no es necesario tenerlo todo para lograr lo que queremos, sino mas bien, es cuestión de interés, perseverancia e inteligencia en cada paso que dé en mi vida. En especial a mi madre por ser la persona que a pesar de todo, ha estado a mi lado y el de mis hermanos, sin desmayar ante nada ni nadie, siempre apoyándome en cada etapa de mi niñez, juventud y hoy en día mi travesía universitaria. Sin desmerecer, a mis hermanos Dulce y Mateo Huera al formar parte fundamental de mi vida y estar siempre a mi lado compartiendo alegrías y tristezas que son parte de la vida cotidiana.

Thony Brayan Huera Lucero

RESUMEN

Mantener un balance en el ecosistema es crucial para su equilibrio. Uno de los problemas más importantes que lo alteraría es la deforestación, que al transformar la cubierta vegetal genera cambios en el uso del suelo y el funcionamiento del ecosistema a causa de la industria de la madera, la agricultura, la ganadería, la minería y porque las personas satisfacen sus necesidades. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar los servicios ecosistémicos proporcionados por diferentes tipos de usos de la tierra en el paseo turístico en el río Puyo. Para lograr este objetivo, se realizó un inventario florístico, donde se analizaron los parámetros ecológicos y el índice de Shannon y Simpson; Para determinar la cantidad de carbono (C) y CO_2 en el suelo, se analizaron diferentes compartimentos, como biomasa aérea, hojarasca y suelos. Además, el suelo fue evaluado a través de parámetros físicos y químicos asociados con la fertilidad. Para llevar a cabo este análisis, se tomaron muestras de suelo que se seleccionaron según las profundidades (0-10, 10-20 y 20-30) mediante un muestreo sistemático. Como resultado, se determinó que, a pesar de ser un bosque secundario se caracteriza por tener una alta diversidad florística y un gran potencial para el almacenamiento de C y retención de CO_2. También se demostró que los tres usos del suelo se encuentran en condiciones adecuadas. Por esta razón, este espacio turístico proporciona valiosos servicios ecosistémicos que representan valores significativos económicamente, dando un mayor énfasis en la conservación de los ecosistemas amazónicos.

Palabras claves: Inventario florístico, Almacenamiento de carbono, Retención de CO_2, Compartimentos y Fertilidad.

ABSTRACT

Keeping a balance in the ecosystem is crucial for its equilibrium. One of the most important issues that would alter it, is deforestation, which by transforming the cover of vegetation generate changes in land use and the ecosystem functioning due to the wood industry, agriculture, livestock, mining, and because people full fill their needs. In this context, the objective of this work was to assess the ecosystem services which are provided by different types of land uses in the touristic walk in the Puyo river. To achieve this goal, a floristic inventory was carried out, where the ecological parameters and the Shannon and Simpson index were analyzed; to determine the amount of carbon (C) and CO_2 in the soil different compartments, such as aerial biomass, leaf litter and soils were analyzed. In addition, soil was evaluated through physical and chemical parameters associated with fertility. To carry out this analysis soil samples were taken which were selected according depths (0-10, 10-20 and 20-30) using a systematic sampling. As a result, it was determined that although it is a secondary forest, it has a great floristic diversity and a great potential for C storage and CO_2 retention. It was also shown that the three land uses are in adequate conditions. For this reason, this tourist space provides valuable ecosystem services economically represent significant values, giving greater emphasis to the conservation of Amazonian ecosystems.

Keywords: Floristic inventory, Carbon storage, CO_2 retention, Compartments and Fertility.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I 1
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Planteamiento del Problema de Investigación y su Justificación 3
1.2. Formulación del Problema 4
1.3. Objetivos 4
1.3.1 Objetivo general 4
1.3.2 Objetivos específicos 4
CAPÍTULO II 5
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN 5
2.1. Antecedentes 5
2.2. Bases Teóricas 6
2.2.1. Características del Paseo turístico río Puyo 6
2.2.2. Servicios Ecosistémicos (SE) 6
2.2.3. Clasificación de los servicios ecosistémicos 7
2.2.4. Valoración de servicios ecosistémicos 8
2.2.5. Valoración económica ambiental 8
2.2.6. Métodos de valoración de servicios ecosistémicos 9
2.2.7. Biodiversidad 9
2.2.8. Diversidad biológica forestal 10
2.2.9. Inventario forestal para determinación de carbono 10
2.2.10. El almacenamiento de carbono en distintos componentes (biomasa, suelo, hojarasca) 10
2.2.11. Indicadores de la calidad del suelo 11
CAPÍTULO III 12
3. MATERIALES Y MÉTODOS 12
3.1. Localización 12

3.2. Tipo de Investigación 13
3.3. Métodos de investigación 13
3.3.1. Parámetros ecológicos 13
3.3.2. Diversidad 14
3.3.3. Secuestro de carbono en los distintos compartimentos 15
3.3.4. Análisis físicos 16
3.3.5. Análisis químicos 17
3.3.6. Valoración económica de fertilidad del suelo y CO_2 equivalente como servicio ecosistémico 17
3.4. Diseño de la investigación 18
3.4.1. Diseño experimental 18
3.4.2. Muestreo de suelos 18
3.5. Análisis estadísticos 19
3.6. Recursos humanos 19
3.7. Materiales 20
CAPITULO IV 21
4. RESULTADOS ESPERADOS 21
RESULTADO I 21
4.1. Caracterización de parámetros ecológicos y la diversidad de especies en el bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo. 21
4.1.1. Frecuencia de familias en el bosque secundario 21
4.1.2. Distribución de clases diamétricas 23
4.1.3. Índice de valor de importancia a nivel de familia (IVIF) 24
4.1.4. Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVI) 25
4.1.5. Índices de diversidad del bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo (Simpson y Shannon) 27
RESULTADO II 28

4.2. Almacenamiento de carbono en distintos compartimentos (biomasa aérea, hojarasca y suelo) para los usos de suelo considerados. 28
4.2.1. Carbono total almacenado (CTA) de los tres compartimentos (biomasa aérea, hojarasca y suelo) 28
RESULTADO III 30
4.3. Caracterización de la fertilidad del suelo mediante parámetros físicos y químicos bajo los usos de suelo considerados. 30
4.3.1. Parámetros físicos 30
4.3.2. Parámetros químicos 36
4.3.3. Fertilidad de macro y micro elementos (Materia orgánica, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio) 46
RESULTADO IV 48
4.4. Valoración económica de los servicios ecosistémicos en base a la fertilidad y CO_2 almacenado, bajo los usos de suelo considerados. 48
CAPITULO V 51
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 51
5.1. Conclusiones 51
5.2. Recomendaciones 52
CAPITULO VI 53
6. BIBLIOGRAFÍA 53
CAPITULO VII 65
7. ANEXOS 65

TABLA DE CONTENIDO: TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo 13
Tabla 2. Recursos Humanos 19
Tabla 3. Materiales para la toma de muestras en campo 20
Tabla 4. Equipos utilizados en los diferentes análisis 20
Tabla 5. Materiales utilizados en los diferentes análisis del suelo 20
Tabla 6. Principales familias del bosque secundario en el Paseo turístico del río Puyo 21
Tabla 7. Distribución de área basal y volumen de acuerdo a la clase diamétrica 23
Tabla 8. Familias con mayor Área basal, Diversidad relativa, Dominancia relativa, Densidad relativa e Índice de valor de importancia a nivel de familia 24
Tabla 9. Especies con mayor Dominancia relativa, Densidad relativa e IVI 26
Tabla 10. Índices de Simpson y Shannon del bosque secundario en el paseo turístico río Puyo 27
Tabla 11. Valores de secuestro de carbono bajo distintos usos de suelo 29
Tabla 12. Valores de la fertilidad de los macro y micro elementos bajo distintos usos de suelo 47
Tabla 13. Valoración económica de la materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio bajo distintos usos del suelo 49
Tabla 14. Valoración económica del CO_2 equivalente en distintos usos del suelo 50

TABLA DE CONTENIDO: FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los servicios ecosistémicos. 7
Figura 2. Localización del área de estudio, Paseo turístico río Puyo, Pastaza. 12
Figura 3. Vuelo con Drone, ubicación de puntos de muestreo. 18
Figura 4. Número de individuos y especies forestales del bosque secundario del Paseo turístico río Puyo. 22
Figura 5. Representación gráfica de las familias con mayor IVIF perteneciente al bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo. 25
Figura 6. Representación gráfica de las especies con mayor IVI perteneciente al bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo. 26
Figura 7. Valores promedios de Da del suelo en diferentes profundidades y usos. 31
Figura 8. Valores promedios de Ksat del suelo en diferentes profundidades y usos. 32
Figura 9. Valores promedios de Pt del suelo en diferentes profundidades y usos. 33
Figura 10. Valores promedios de Pa del suelo en diferentes profundidades y usos. 34
Figura 11. Valores promedios de Pr del suelo en diferentes profundidades y usos. 35
Figura 12. Valores promedios de pH del suelo en diferentes profundidades y usos. 37
Figura 13. Valores promedios de acidez intercambiable del suelo en diferentes profundidades y usos. 38
Figura 14. Valores promedios de aluminio intercambiable del suelo en diferentes profundidades y usos. 39
Figura 15. Valores promedios de MO del suelo en diferentes profundidades y usos. 40
Figura 16. Valores promedios de NT del suelo en diferentes profundidades y usos. 41
Figura 17. Valores promedios de fósforo en el suelo en diferentes profundidades y usos. 42
Figura 18. Valores promedios de potasio intercambiable del suelo en diferentes profundidades y usos. 43
Figura 19. Valores promedios de calcio intercambiable del suelo en diferentes profundidades y usos. 44
Figura 20. Valores promedios de magnesio intercambiable del suelo en diferentes profundidades y usos. 46

TABLA DE CONTENIDO: ANEXOS

Anexo 1. Niveles críticos para interpretación de parámetros físicos. 65
Anexo 2. Rango de interpretación para parámetros químicos..... 65
Anexo 3. Niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelo..... 65
Anexo 4. Representación gráfica del IVIF perteneciente al bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo. 66
Anexo 5. Representación gráfica del IVI de todas las especies, perteneciente al bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo. 67
Anexo 6. Toma de muestras para los diferentes análisis en campo. 68
Anexo 7. Determinación de parámetros físicos de las muestras no alteradas. 69
Anexo 8. Determinación de parámetros químicos de las muestras compuestas. 70

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

Los seres humanos han transformando al planeta a tasas muy aceleradas, sobre todo durante la segunda mitad del siglo pasado y lo que va del presente, con el fin de satisfacer las necesidades de agua, alimentos, materiales de construcción, combustibles y fibras, convirtiendo el 25% del planeta en terrenos de cultivo (Balvanera y Cotler, 2007). La transformación de la superficie terrestre ha cambiado los usos del suelo en casi todo el planeta, en muchos casos las consecuencias al medio ambiente ya son irreversibles: pérdida de masa forestal, erosión de suelos, contaminación de acuíferos, entre otras (Duarte *et al.*, 2006). Toda actividad económica conlleva un elevado consumo de suelo y recursos naturales de todo tipo, incluyendo las fuentes de energía fósiles (carbón, petróleo, gas natural) y la accesibilidad a los mismos, apenas y se toma importancia, existen soluciones para mitigar y adaptarse al calentamiento global y cambio climático, cambiando dichas fuentes de energía por energías renovables que no emitan dióxido de carbono (CO_2) (Alonso, 2013).

Los bosques tropicales juegan un rol importante en el ciclo del carbono global porque contribuyen a regular la concentración de CO_2 en la atmósfera y por lo tanto, la tasa del cambio climático. Se estima que las emisiones de carbono debido a la deforestación tropical representan aproximadamente 20% de las emisiones totales generadas por el hombre (Denman *et al.*, 2007). Sin embargo; según Lewis *et al.* (2009), reportan que los bosques tropicales de América y África funcionan como sumideros de carbono, reduciendo el aumento de CO_2 en las últimas décadas.

Existe un gran interés por monitorear el ciclo del carbono en los bosques tropicales, implementando sistemas de monitoreo de carbono como parte de proyectos que buscan financiamiento para aumentar el stock de carbono o reducir las emisiones de CO_2. Pero esto, no es solo interés de los científicos, sino de ONGs y gobiernos nacionales, interesados en implementar proyectos de pagos por servicios ambientales basados en carbono (Honorio-Coronado y Baker, 2010). El valor de los bienes y servicios suministrados por ecosistemas naturales no se incluye en el manejo de recursos naturales, debido a que muchos beneficios no se llegan a comercializar. Para evitar este límite es necesario desarrollar técnicas que evalúen los servicios ecosistémicos y que capturen el valor económico total de los servicios comerciales y no comerciales (Rodríguez *et al.*, 2016).

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

Estudios basados en modelos climáticos predicen una reducción en la cantidad de lluvias en la Amazonía, que podría reducir el potencial de los bosques amazónicos de funcionar como sumideros de carbono (Malhi *et al.*, 2009). Por lo tanto, es fundamental contar con programas de monitoreo del ciclo de carbono a largo plazo, para cuantificar estos posibles cambios (Peralta-Rivero *et al.*, 2013). Los proyectos de reducción de emisiones causadas por la deforestación y degradación de los bosques (REDD) buscan reducir las emisiones de CO_2 a la atmósfera demostrando reducciones reales y medibles (Rendón-Thompson *et al.*, 2009). Y los mecanismos de desarrollo limpio (MDL) forestal, buscan fijar parte del CO_2 de la atmósfera en la biomasa de los árboles a través de la reforestación de áreas degradadas (Pearson, Walker y Brown, 2013).

La presente investigación, reconocerá la importancia de los servicios que proporcionan los ecosistemas amazónicos y la interacción de estos con los usos de suelo que presenta el paseo turístico. Para el desarrollo de este tema, se propone: a) evaluar la vegetación mediante un inventario florístico que permitirá analizar la diversidad de especies, el secuestro de carbono por la biomasa aérea y b) evaluación del recurso suelo mediante la determinación de parámetros físicos y químicos asociados a la fertilidad del suelo y al secuestro de carbono.

1.1. Planteamiento del Problema de Investigación y su Justificación

Hoy en día uno de los problemas por el que está atravesando el planeta es la pérdida de masa forestal, a consecuencia del uso inapropiado de los recursos naturales, la acción humana ha transformado la cubierta vegetal, cambiando el uso de suelo y alterando los estratos forestales en casi todo el planeta. Principalmente debido a las talas o quemas realizadas por la industria maderera, así como por la obtención de suelo para la agricultura, minería y ganadería.

La deforestación destruye los bosques y las selvas de forma masiva causando un inmenso daño a la calidad de los suelos, de no existir una eficiente reforestación trae graves consecuencias a la biodiversidad y un gran impacto adverso en la fijación de CO_2 y almacenamiento de C. Las regiones deforestadas tienden a la erosión de los suelos y la desertificación, problema que está alcanzando una gran magnitud en el mundo, a causa del beneficio económico, las operaciones madereras comerciales o la necesidad de los granjeros de mantener a sus familias. Los bosques y selvas son víctimas del crecimiento urbano constante y desempeñan un papel crucial en la absorción de gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global, así mismo ayudan a perpetuar el ciclo hidrológico devolviendo el vapor de agua a la atmósfera.

Los ecosistemas proveen una amplia gama de bienes y servicios a las personas, con el fin de mejorar su calidad de vida. Un servicio ambiental de gran interés a nivel global es la capturan el CO_2 atmosférico por parte de los bosques, que lo fijan en sus estructuras vivas y en la biomasa como reservas de carbono, logrando reducir la concentración excesiva de CO_2 y al mismo tiempo disminuye el efecto invernadero (Cuellar y Talaverano, 2018). Sin embargo, uno de los principales problemas de los bienes y servicios ambientales ha sido la falta de un mercado definido y seguro, un mecanismo de comercialización, así como establecer una compensación o monto a pagar por la conservación de los ecosistemas (Pérez, 2008).

El paseo turístico siendo el primer sendero ecológico que se creó en la provincia con visión ecológica y natural, como recurso turístico ha venido proporcionando una serie de servicios que no se les retribuye ningún valor adicional, sin embargo, las zonas aledañas se han venido transformando en un sistema de producción intensivo, el bosque ha sido convertido en sistemas ganaderos con pastizales con o sin árboles. Estos cambios impactan la biodiversidad modificando la capacidad que tienen los ecosistemas para brindar otros beneficios de los cuales se desconoce.

1.2. Formulación del Problema

¿Cómo inciden los cambios de uso de suelo en los servicios ecosistémicos del Paseo turístico río Puyo?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Valorar los servicios ecosistémicos que proveen los diferentes usos de suelo del Paseo turístico río Puyo, Provincia de Pastaza.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros ecológicos y la diversidad de especies en un bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo.
- Determinar el carbono almacenado en los distintos compartimientos (biomasa aérea, hojarasca y suelo) de los usos de suelo localizados en el Paseo turístico del río Puyo.
- Determinar la fertilidad del suelo mediante parámetros físicos y químicos bajo los usos de suelo considerados.
- Estimar el valor económico de los principales servicios ecosistémicos que provee los diferentes usos de suelo como bosque secundario, pasto con y sin árboles localizados en el Paseo turístico del río Puyo.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Antecedentes

Hasta mediados del siglo XX la destrucción de bosques en el mundo se producía casi exclusivamente en las zonas templadas. Pero en las últimas décadas los bosques tropicales han sufrido una tala masiva, alrededor de 20 millones de hectáreas son alterados cada año. Si la destrucción continúa a este ritmo los bosques tropicales desaparecerían en un par de años (Butler y Laurance, 2008). La destrucción de las selvas se está produciendo por varios motivos; en Latinoamérica se cortan bosques para hacer pequeñas granjas, nuevos terrenos para la agricultura y ranchos de ganado, sin embargo; en muchas ocasiones desempeña un papel muy importante el comercio de maderas entre los países en vías de desarrollo y los desarrollados. El Informe SOFO 97, de la FAO manifiesta: "Los bosques tropicales húmedos que tienen importancia económica, social, local y significación mundial para la conservación de la diversidad biológica y la regulación del clima, están también experimentando un cambio rápido" (Alonso, 2013).

Los bosques de la Amazonía ecuatoriana son considerados almacenes de carbono, al contribuir con la mitigación de los gases de efecto invernadero y CO_2. La capacidad de almacenamiento y captura dependen de la comunidad vegetal, el clima, la humedad, las especie arbóreas, y la densidad que presente un bosque, siendo los estratos arbóreo y herbáceo los que presentan la mayor cantidad de biomasa (fuste, ramas y follaje) y en sí de carbono (Ordóñez-Díaz *et al.*, 2015).

En los últimos años, la Amazonía ha venido experimentando altas tasas de deforestación y cambios de usos del suelo, con la constante afectación sobre la biodiversidad, el suelo, el agua y la disminución o pérdida de los ecosistemas (Torres *et al.*, 2014). Contribuyendo a lo mencionado el MAE (2016), manifiesta que del total de áreas que pasaron de bosque a no-bosque durante el período 2008-2014; el 65% son pastizales, el 12% son mosaicos agropecuarios, 4% cacao, 3% palma africana, 3% maíz duro, 2% café y más de 10% en otros características de cobertura.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Características del Paseo turístico río Puyo

La ciudad de Puyo cuenta con un clima subtropical Húmedo, según anuarios Meteorológicos del INAMHI del año 2007 al 2012, la temperatura media multianual es 21,35 °C, precipitación media multianual es de 371,98 mm, mientras que la humedad relativa un valor promedio multianual de 87,83%, una evaporación de 79,4 mm y nubosidad de 6,33 octas. En cuanto a su hidrología cuenta con varios ríos, los afluentes más destacados junto al área de estudio el río Puyo y río Pambay. El tipo de suelo que posee según los sistemas de información geográfica, formación geológica diferenciada por su litología, disposición espacial, procesos superficiales y propiedades físico-mecánicas, con depósitos aluviales y rellenos que son generados por intervención antrópica (Castillo, 2015).

El tipo de ecosistema es de formación vegetal bosque siempreverde piemontano y al piso zoogeográfico subtropical oriental, ecosistemas característicos de la amazonia (Sierra *et al.*, 1999). En el área predomina la presencia de "Guaba" *Inga edulis* (Fabaceae), "Guayaba" *Psidium guajava* (Myrtaceae), "Guarumo" *Cecropia spp.* (Urticaceae), así como la presencia de especies indicadoras de sectores intervenidos como "Paja Toquilla" *Carludovica palmata* (Cyclanthaceae), *Piper arboreum* (Piperaceae), *Caryodendron orinocense* (Euphorbiaceae). Todas estas especies son de hábitos generalistas y con una alta capacidad de adaptación a zonas intervenidas (Castillo, 2015).

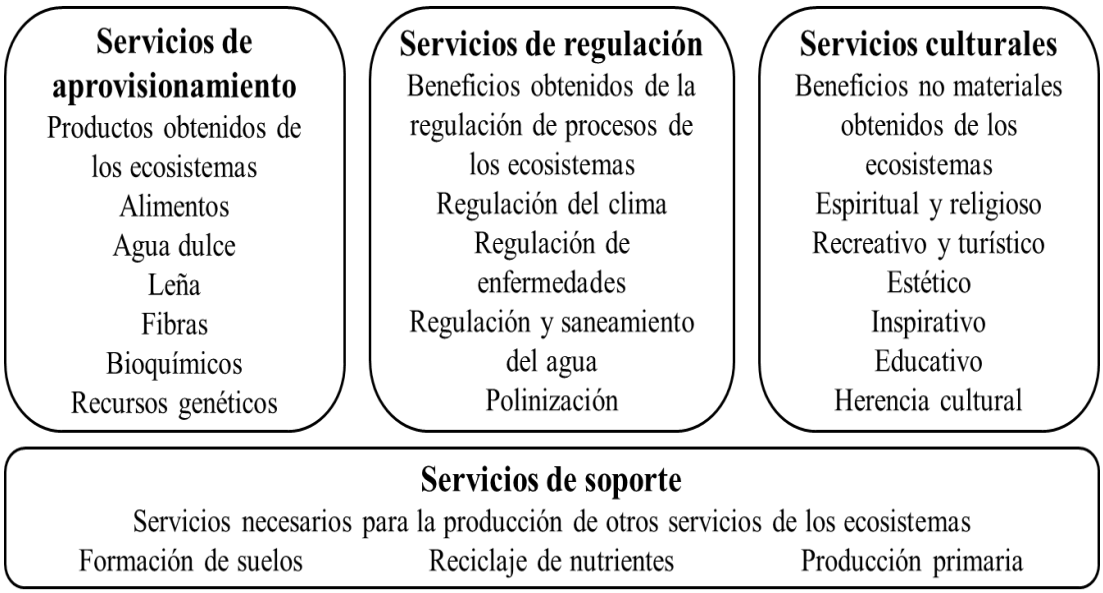
2.2.2. Servicios Ecosistémicos (SE)

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

2.2.3. Clasificación de los servicios ecosistémicos

La dinámica compleja de los procesos de los ecosistemas y las características propias de los SE hacen complicado contar con un esquema de clasificación general y la posición de algunos autores es que no hay un sistema de clasificación de los SE apropiado para aplicarlo en todos los casos, por ello el diseño de un sistema de clasificación debe fundamentarse en las características del ecosistema o fenómeno a investigar y el contexto en la toma de decisiones en el que los SE van a ser considerados (Camacho y Ruiz, 2012).

Una aproximación para clasificar los SE es la derivada de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, que es probablemente la más difundida y aceptada que define los SE como "los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas". Este trabajo involucró a científicos de 95 países, que entre 2001 y 2005 se abocaron al análisis de las consecuencias originadas por cambios en los ecosistemas y estuvo estructurado explícitamente alrededor del concepto de SE como un intento de integrar completamente la sustentabilidad ecológica, la conservación y el bienestar humano. Casanoves, Pla y Di Rienzo (2011) ofrecen un sistema de clasificación con propósitos puramente operacionales basado en cuatro líneas funcionales (Figura 1).



Fuente: Camacho y Ruiz (2012).

Figura 1. Clasificación de los servicios ecosistémicos.

2.2.4. Valoración de servicios ecosistémicos

La valoración de los SE debe incluir varios aspectos fundamentales que incluyen su caracterización, la capacidad de los procesos naturales y componentes de un ecosistema para proporcionar bienes y servicios, y su valoración económica de manera que sirva para una adecuada gestión del capital natural. En base a ello, se plantea: El valor del medio ambiente, radica en que cumple una serie de funciones que contribuyen al bienestar de la sociedad: a) forma parte de la función de producción, b) es receptor de residuos y desechos, c) proporciona bienes naturales cuyos servicios son demandados por la sociedad y d) constituye un sistema integrado que proporciona los medios para sostener la vida (Naredo, 2010).

2.2.5. Valoración económica ambiental

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

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

2.2.6. Métodos de valoración de servicios ecosistémicos

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

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

2.2.7. Biodiversidad

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

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

2.2.8. Diversidad biológica forestal

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

2.2.9. Inventario forestal para determinación de carbono

Los bosques son reservorios de carbono que absorben aproximadamente 30% de todas las emisiones de CO_2 en un año (Soriano-Luna *et al.*, 2015). La estimación de la biomasa arbórea juega un papel clave en el manejo forestal sustentable y en la determinación de los almacenes de carbono forestal (Cutini *et al.*, 2013). Para la estimación de carbono acumulado en distintos ecosistemas forestales, se utilizan los inventarios de carbono, que contabilizan el carbono fijado para poder ser comparados entre sí, reflejando la cantidad real de carbono acumulado por los ecosistemas (Schlegel *et al.*, 2001), siendo las especies arbóreas al relacionarse directamente con el área basal las que aportan la mayor cantidad de carbono, el cual es un buen indicador del contenido de carbono para el estrato arbóreo en un ecosistema. Por lo tanto deben comprender un diseño muestral riguroso (Acosta y Carrillo, 2009).

2.2.10. El almacenamiento de carbono en distintos componentes (biomasa, suelo, hojarasca)

Los ecosistemas forestales son la principal fuente de madera y energía, como lo indican los 3 400 millones de metros cúbicos anuales de extracción de madera a nivel mundial registrada en FAO (2005), y al mismo tiempo son el almacén principal de carbono (C) terrestre, ya que almacenan 861 Pg C (1 Pg = 1015 g), este gran almacén de carbono está dividido en diferentes componentes, el 44% (383 Pg C) está en el suelo (1 m de profundidad), el 42% (363 Pg C) en la biomasa (aérea y subterránea), el 8% (73 Pg C) en la madera muerta y el 5% (43 Pg C) en el mantillo, aunque esta distribución depende del tipo de bioma, la composición de especies y la intensidad de aprovechamiento (Pan *et al.*, 2011). En los

ecosistemas forestales el contenido máximo de mantillo y desechos leñosos se produce a niveles intermedios de lluvia, mientras que los valores más bajos se dan en extremos secos y húmedos del gradiente de lluvia (Galicia *et al.*, 2015).

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

2.2.11. Indicadores de la calidad del suelo

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

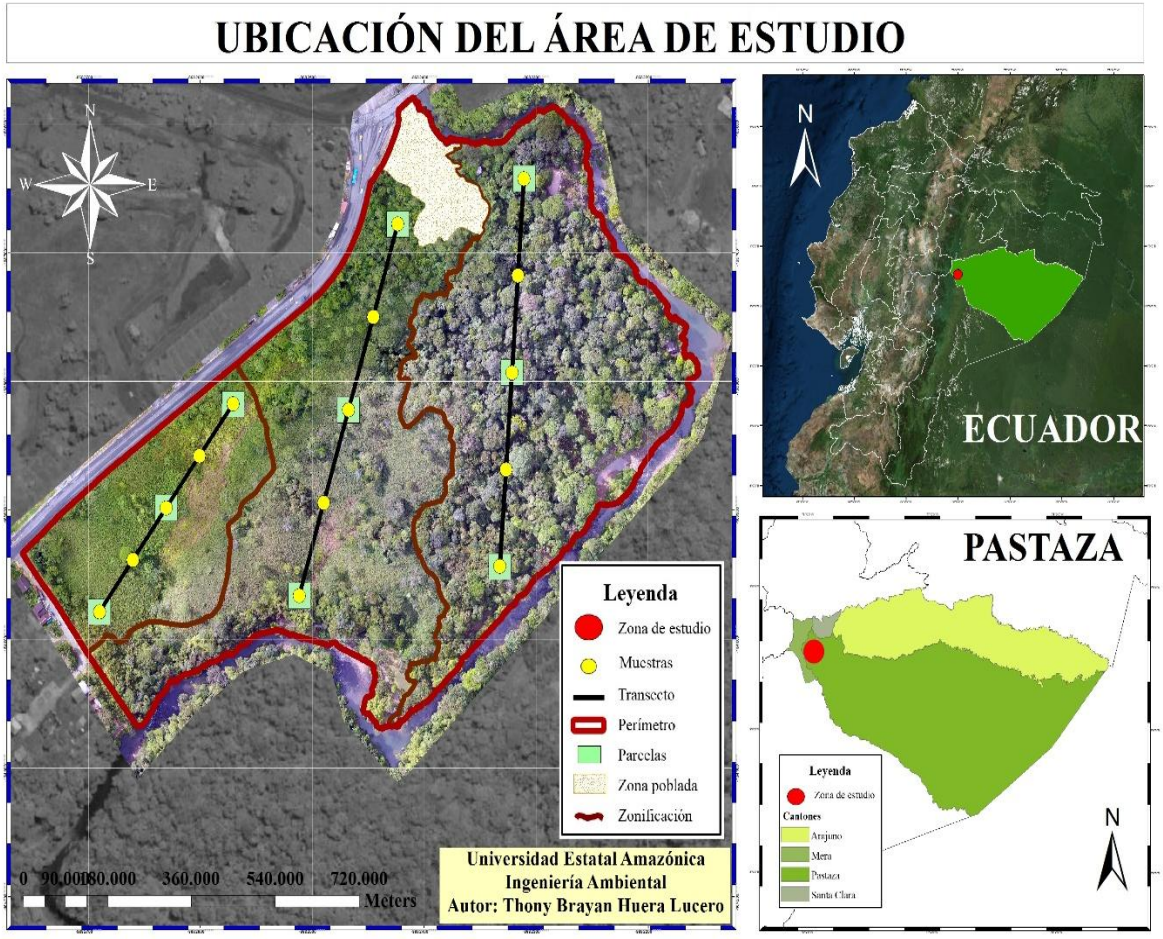
Las propiedades físicas reflejan la limitación para el desarrollo de las raíces, emergencia de plántulas, infiltración o retención de agua; una de las más evaluadas la densidad aparente (Burger y Kelting, 1999). Para el caso de la condición química, afecta las relaciones suelo-planta, calidad del agua,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

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Paseo turístico de la ciudad de Puyo, provincia Pastaza (Figura 2). El área bajo estudio ha sido clasificada como bosque húmedo tropical, con una temperatura promedio anual de 21,35 ºC, precipitación promedio de 1000-4000 mm distribuidos uniformemente durante todo el año, con alta humedad relativa alrededor de 87,83% y un rango altitudinal entre los 1000-2000 msnm. Geográficamente se encuentra en la zona 18S con coordenadas UTM (Tabla 1), latitud de 9837116 y longitud de 166585 (GADPPz, 2015).



Fuente: Autor 2019.

Figura 2. Localización del área de estudio, Paseo turístico río Puyo, Pastaza.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo

Usos de la tierra	Código	Coord. X	Coord. Y
Bosque secundario	BP1	166740,77	9837311,94
	BP2	166735,47	9837237,13
	BP3	166730,18	9837162,31
	BP4	166724,88	9837087,50
	BP5	166719,59	9837012,69
Pasto con árboles	PasArP1	166627,78	9837276,69
	PasArP2	166605,85	9837204,96
	PasArP3	166583,91	9837133,24
	PasArP4	166561,98	9837061,52
	PasArP5	166540,05	9836989,80
Pasto sin árboles	PasP1	166480,53	9837137,68
	PasP2	166450,70	9837097,56
	PasP3	166420,86	9837057,43
	PasP4	166391,02	9837017,31
	PasP5	166361,19	9836977,19

Fuente: Autor 2019.

3.2. Tipo de Investigación

De acuerdo a las líneas base el proyecto se enmarca en la Gestión y conservación Ambiental. Con tres tipos de investigación entre ellas: **Descriptiva** comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, **exploratoria** porque destaca los aspectos fundamentales de un problema cuando este aún no ha sido abordado, **documental** porque se apoya en fuentes de carácter documental para profundizar en el marco teórico referencial sobre los servicios ecosistémicos.

3.3. Métodos de investigación

El método acorde a esta investigación es el **empírico** donde el investigador crea las condiciones o adecua las existentes para esclarecer las propiedades y relaciones del objeto, a través de mediciones.

3.3.1. Parámetros ecológicos

Para cuantificar la biodiversidad, grado de abundancia y frecuencias de las especies se calculó distintos parámetros ecológicos tales como (Lozano, Torres y Rodríguez, 2013).

- Área Basal

$$Ab = 0.7854 * (DAP)2 \quad (1)$$

- Densidad Relativa

$$DR = \frac{\#\ individuos\ de\ una\ especie}{\#\ total\ de\ individuos} x\ 100 \quad (2)$$

- Dominancia Relativa

$$DmR = \frac{Área\ basal\ de\ la\ especie}{Área\ basal\ total} x\ 100 \quad (3)$$

- Diversidad Relativa

$$Div = \frac{\#\ especies\ por\ familia}{\#\ total\ de\ especies} x\ 100 \quad (4)$$

- Índice de Valor de Importancia Ecológica

$$IVI = Dr + DmR \quad (5)$$

- Índice de Valor de Importancia a nivel de Familia

$$IVI = Dens + DmR + \text{Div} \quad (6)$$

3.3.2. Diversidad

La diversidad de los distintos usos de suelo se estimó en base al índice de Shannon (H') y el de Simpson. Para la interpretación, el índice de Shannon 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. La fórmula del índice de Shannon:

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} pi\ log_2\ pi \quad (7)$$

Donde:

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

Por su parte, el índice de Simpson conocido como el índice de la diversidad o dominancia de las especies, constituye uno de los parámetros que permite medir la riqueza de

organismos. Para su interpretación toma valores entre 0 y 1, donde los valores cercanos a la unidad representan mayor diversidad. La ecuación para el índice de Simpson es:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{S} n_i(n_i-1)}{N\,(N-1)} \quad (8)$$

Donde:

S: número de especies
N: es el total de organismos presentes (o unidades cuadradas)
ni: número de individuos de la especie i

3.3.3. Secuestro de carbono en los distintos compartimentos

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

3.3.3.1. Carbono orgánico del suelo

Como primer paso se determinó la Da usando el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986). Para ello, se usó cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con un toma muestra tipo Uhland, y fueron trasladadas al laboratorio para colocarlas en estufa a 105ºC por 24 horas para obtener el peso seco (Pla, 2010). El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson y Sommer, 1982), para lo cual se realizó una oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)1 N con adición de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por el cromo fue medido por titulación usando una solución de sal de Morh 0,5 N (H_2SO_4 + $FeSO_4$ +7H_2O). Con el valor de la densidad aparente (Mg m^{-3}), el valor del carbono y la profundidad de cada intervalo de muestreo (0-10 cm, 10-30 cm) se cuantificó la cantidad total de carbono almacenado en el compartimiento suelo (COS).

$$COS = Da\ x\ CO\ x\ Profundidad \quad (9)$$

3.3.3.2. Carbono de la biomasa aérea

El método de muestreo a utilizar fue el de área mínima, la característica principal es que permite conocer en forma rápida la diversidad vegetal y la composición florística del lugar en consideración (Dahua, 2015). Una vez delimitado el área se procedió a realizar el inventario florístico en el bosque secundario del Paseo turístico, en los mismos se estableció

tres parcelas temporales de 20 x 20 m^2 dentro de un transecto, con un total de tres parcelas. Dentro de cada parcela se registró todo individuo ≥ 10 cm de DAP (diámetro a la altura del pecho, medido a 1,3 m de la altura sobre el suelo).

Los individuos fueron identificados a nivel de especie utilizando nombres comunes y científicos con la ayuda de un especialista en especies vegetales. Posteriormente 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).

$$BSSSárbol = (p * \exp\left(-1{,}499 + \left(2{,}148 * In(D)\right) + (0{,}207 * In(D)2) - (0{,}0281 * In(D)3)\right) * 0{,}001 \quad (10)$$

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).

3.3.3.3. Carbono de la vegetación no arbórea (Hojarasca)

En los mismos puntos para la toma de muestras de los parámetros físicos se estableció un marco cuadrado de 0,25 m^2 (0,5 x 0,5 m) y se recolectó todo el material localizado dentro del mismo. Posteriormente el material recolectado fue pesado y colocado en bolsas para su secado en la estufa hasta obtenerse un peso constante. Con los valores de peso seco se calculó el total de toneladas de materia seca por hectárea (t. MS /ha) y posteriormente obtener la cantidad de carbono por hectárea (t. C /ha), mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta CBN\ muestra\ = MS\ x\ CF \quad (11)$$

Donde:

ΔC_{BN} muestra: Cantidad de carbono en la biomasa de la muestra de vegetación no arbórea (kg C/0,25 m^2).
CF: es la fracción de carbono (kg C /kg MS) determinada mediante el valor propuesto por el IPCC de 0,5.

3.3.4. Análisis físicos

Para la determinación de parámetros físicos del suelo se tomaron muestras no alteradas con cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con un toma muestra tipo Uhland, en los cuales se midió las siguientes variables: **a)** densidad aparente (Da) usando el método del cilindro, **b)** conductividad hidráulica saturada (Ksat) mediante el método de

carga variable, **c)** distribución de tamaño de poros (Pt: porosidad total), **d)** porosidad de aireación (Pa: poros de radio >15 µm), **e)** porosidad de retención usando la mesa de tensión a saturación y a un potencial mátrico de -10 kPa (Pla, 2010).

3.3.5. Análisis químicos

El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982), para lo cual se realizó una oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N, con adición de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por cromo fue medido por titulación usando una solución de sal de Morh 0,5 N (H_2SO_4 + $FeSO_4$ +7H_2O). El nitrógeno total se midió por el método de kjeldahl. El pH fue medido por potenciometría (relación suelo-agua 1:2,5), las bases cambiables (Ca, Mg, K), contenido de fósforo y micro elementos fueron medidos por la metodología de Olsen modificado (Bertsh, 1995).

3.3.6. Valoración económica de fertilidad del suelo y CO_2 equivalente como servicio ecosistémico

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

El caso del carbono su valoración se realizó en función del método "basado en el costo", que consideran los costos reales asociados con el costo evitado, el costo del daño o el costo de reposición (Kumar y Kumar, 2008). En la práctica, los métodos basados en los costos se aplican de forma más adecuada cuando se valoran los servicios de apoyo y regulación. Para ello, la cantidad de carbono almacenado se convertirá el CO_2 equivalente cuyo valor es comercializado como bonos de carbono (1 bono de carbono es el equivalente a 1 tonelada de CO_2) y cuyo precio es variable.

3.4. Diseño de la investigación

3.4.1. Diseño experimental

Una vez seleccionado el lugar representativo se procedió a realizar un vuelo con un vehículo aéreo no tripulado (Drone) para capturar imágenes que permitieron visualizar de mejor manera el área, mediante el programa ArcGis 10.1, se delimitó el perímetro de la zona de estudio donde se identificaron los usos más representativos del Paseo turístico, entre ellos: a) Pasto con árboles, b) Pasto sin árboles y c) Bosque secundario como uso de referencia para comparar el impacto del cambio de uso asociados a los recursos vegetación y suelo.

3.4.2. Muestreo de suelos

Se usó un esquema de muestreo sistemático que cubrió toda la variabilidad de los usos del suelo (Bravo-Medina *et al.*, 2017). En cada uso se estableció un transecto con cinco subparcelas o puntos de muestreo (P1, P2, P3, P4 y P5) de manera equidistante en función del tamaño de la zona delimitada (Figura 3). En cada subparcela de 10 x 10 m con un área de 100 m^2 por punto de muestreo, se recolectó cinco submuestras de suelo a dos profundidades (0-10 y 10-30 cm), conformando la muestra compuesta, para la evaluación de parámetros químicos. Además en la parte central se tomó las muestras no alteradas a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) para evaluación de parámetros físicos, dentro de la misma se colocó un cuadrante de 0,25 m^2, para la toma de la muestra de hojarasca.

Fuente: Autor 2019.

Figura 3. Vuelo con Drone, ubicación de puntos de muestreo.

Estos parámetros del suelo (físicos y químicos) se determinaron en los laboratorios de la Universidad Estatal Amazónica aplicando las metodologías correspondientes.

3.5. Análisis estadísticos

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos de las muestras de suelo y de vegetación se usó como factor de comparación los diferentes usos del suelo y las profundidades consideradas. Como primer paso se obtuvo la estadística descriptiva que incluyó la media, la desviación estándar, valores mínimos y máximos. Posteriormente se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias significativas y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey a un nivel de probabilidad de $P \leq 0,05$. Todos los análisis estadísticos fueron realizados mediante el programa IBM SPSS Statistics, versión 21.

3.6. Recursos humanos

El equipo colaborador para la toma de muestras y levantamiento de información de campo, y el cargo de los profesionales que contribuyeron al desarrollo de este proyecto se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Recursos Humanos

Recursos Humanos		
Nombre y Apellido	**Profesión**	**Cargo**
Gabriel Grefa	Botánico	Equipo colaborador en: - Levantamiento de información en campo. - Toma de muestras de suelo y hojarasca. - Inventario forestal.
Jorge Alba	Docente	
Daniel Paguay	Ing. Ambiental	
Laura Mosquera	Ing. Agropecuaria	
Daniel Álvarez	Estudiante	
Richard Barroso	Estudiante	
Luz Huera	Estudiante	
Daysi Changoluisa	Ing. Agrónoma	Encargada del laboratorio de suelos de la UEA.
Carlos Bravo	PhD	Tutor del proyecto de grado.
Thony Huera	Estudiante	Autor del proyecto de grado.

Fuente: Autor 2019.

3.7. Materiales

A continuación se detalla los materiales y equipos (Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5) empleados para el desarrollo del presente proyecto tanto en campo como laboratorio.

Tabla 3. Materiales para la toma de muestras en campo

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

Fuente: Autor 2019.

Tabla 4. Equipos utilizados en los diferentes análisis

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

Fuente: Autor 2019.

Tabla 5. Materiales utilizados en los diferentes análisis del suelo

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

Fuente: Autor 2019.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS ESPERADOS

RESULTADO I

4.1. Caracterización de parámetros ecológicos y la diversidad de especies en el bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo.

4.1.1. Frecuencia de familias en el bosque secundario

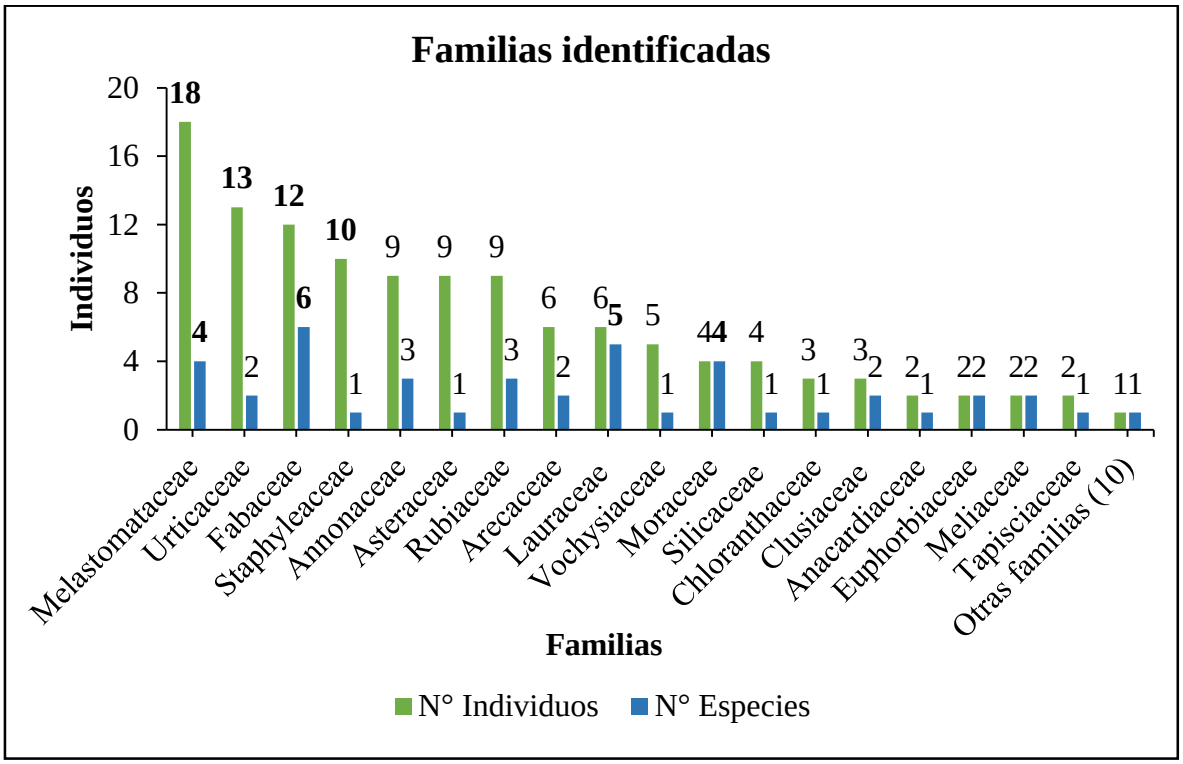
Investigaciones demuestran la importancia de los bosques como reguladores del cambio climático, permitiendo desarrollar sistemas de monitoreo para estimar el carbono almacenado. Siendo los árboles el componente importante de la biomasa y almacenamiento en los bosques amazónicos (Urrelo y Rojas, 2018). En esta investigación para caracterizar la biodiversidad del bosque de 6,4 hectáreas (ha) aproximadamente, se identificó un total de 129 individuos pertenecientes a 54 especies, dentro de 28 familias distribuidas en las parcelas temporales (Tabla 6), resultando las familias con más especies (Fabaceae, Lauraceae, Melastomataceae y Moraceae), e individuos (Fabaceae, Melastomataceae, Staphyleaceae y Urticaceae), mientras diez familias presentan menos especies e individuos.

Tabla 6. Principales familias del bosque secundario en el Paseo turístico del río Puyo

Familia botánica	N° individuos	N° especies	Familia botánica	N° individuos	N° especies
Anacardiaceae	2	1	Myrtaceae	**1**	**1**
Annonaceae	9	3	Moraceae	4	4
Arecaceae	6	2	Myristicaceae	**1**	**1**
Asteraceae	9	1	Nyctaginaceae	**1**	**1**
Burseraceae	**1**	**1**	Rubiaceae	9	3
Cecropiaceae	**1**	**1**	Rutaceae	**1**	**1**
Chloranthaceae	3	1	Sapindaceae	**1**	**1**
Clusiaceae	3	2	Sapotaceae	**1**	**1**
Euphorbiaceae	2	2	Silicaceae	4	1
Fabaceae	12	6	Solanaceae	**1**	**1**
Lauraceae	6	5	Staphyleaceae	10	1
Malpighiaceae	**1**	**1**	Tapisciaceae	2	1
Melastomataceae	18	4	Urticaceae	13	2
Meliaceae	2	2	Vochysiaceae	5	1

Fuente: Autor 2019.

En la Figura 4, se presenta gráficamente la distribución de individuos y especies por cada familia, las que presentan mayor riqueza de especies fueron Fabaceae y Lauraceae con seis y cinco taxones respectivamente, seguido de Melastomataceae y Moraceae con cuatro taxones, estos resultados se corresponden con lo descrito por Garófalo (2018) y Moreno (2018) donde refieren que estas familias fueron las más representativas, constituyendo elementos distintivos del bosque húmedo tropical de la región amazónica.



Fuente: Autor 2019.

Figura 4. Número de individuos y especies forestales del bosque secundario del Paseo turístico río Puyo.

Según Quizhpe, Mendoza y Mendoza (2017), estudios en parcelas permanentes en el trópico húmedo han registrado que estas zonas son las más diversas del mundo. Por lo tanto, desde hace tres décadas han posicionado a los boques húmedos tropicales de Ecuador como los más diversos en la región neotropical.

4.1.2. Distribución de clases diamétricas

Al analizar la distribución de los individuos en las clases diamétricas (Tabla 7) se observa que no existe una representación uniforme, encontrándose con un mayor porcentaje de individuos la clase diamétrica inferior (10-20,0) 75,97% de individuos, mientras que las categorías mayores cuentan con un menor porcentaje 15,50% (20,1-30,0) y 8,53% para (>30,1), sin embargo; los 11 individuos que representan esta clase diamétrica contribuyen con el mayor volumen 15,41 m^3, valor que prácticamente representa la mitad del volumen total 28,99 m^3, al igual que el área basal con 1,94 m^2, al compararla con el total 4,51 m^2, al presentar las mejores condiciones en fuste y altura, destacándose un individuo de las especies: *Nectandra membranacea* (Lauraceae) con el mayor DAP de 72,26 cm; *Inga stipitta* (Fabaceae) con 59,21 cm; *Pouteria torta* (Sapotaceae) con 57,30 cm y ocho individuos más que conforman esta clase diamétrica. Concordando con lo mencionado por Quizhpe *et al.* (2017), respecto a los altos valores registrados para el área basal y volumen total se deben a la alta abundancia y dominancia de especies de gran tamaño.

Tabla 7. Distribución de área basal y volumen de acuerdo a la clase diamétrica

Clases diamétricas	No. ind	% ind	G(m^2)	G(ha)	vol. (m^3)	vol. (ha)
10-20,0	98	75,97	1,72	2,15	8,38	10,48
20,1-30,0	20	15,50	0,85	1,06	5,20	6,50
>30,1	11	8,53	1,94	2,43	15,41	19,26
Total	**129**	100,00	**4,51**	5,64	**28,99**	36,24

Fuente: Autor 2019.

G: Área basal; **vol**: Volumen maderable.

La clase diamétrica (10-20,0) en su mayoría está representada por las familias Asteraceae, Moraceae, Melastomataceae, entre otras, este comportamiento tiene una estrecha relación con las características maderables y la dependencia de las poblaciones a este tipo de especies. Datos que se corroboran con lo manifestado por Aguirre-Mendoza *et al.* (2017), quienes indican que una distribución diamétrica variada de todas las especies es característica de los bosques tropicales jóvenes en proceso de recuperación, encontrando la mayoría de individuos en la clase (10-20,0 y 20,1-30,0), y a medida que aumentan el rango diamétrico disminuye la cantidad de individuos.

4.1.3. Índice de valor de importancia a nivel de familia (IVIF)

Conforme al índice de valor de importancia ecológico calculado a nivel de familias, la vegetación se caracterizó con una alta heterogeneidad (Tabla 8), reflejando que las familias más dominantes como: Fabaceae con 15,74; Lauraceae con 11,75 y Urticaceae con 12,42; presentan menor densidad, a diferencia de las Melastomataceae con 9,31; Staphyleaceae con 4,21 y Arecaceae con 2,66 que a pesar de que no son tan dominantes presentan mayor densidad, infiriendo que el factor importante es el número de individuos por familia.

Entre las diez familias de mayor peso ecológico registradas están Fabaceae, Melastomataceae, Urticaceae y Lauraceae (Tabla 8, Figura 5, Anexo 4), debido a la suma de los parámetros estructurales (Div + DmR + Dr), lo cual se corresponde, mayoritariamente con el patrón observado en varios bosques tropicales, aunque es notorio resaltar que la familia Arecaceae (palmas), en la mayoría de los estudios sobre composición florística de bosques amazónicos resulta entre las más predominantes (Samaniego, 2015).

Tabla 8. Familias con mayor Área basal, Diversidad relativa, Dominancia relativa, Densidad relativa e Índice de valor de importancia a nivel de familia

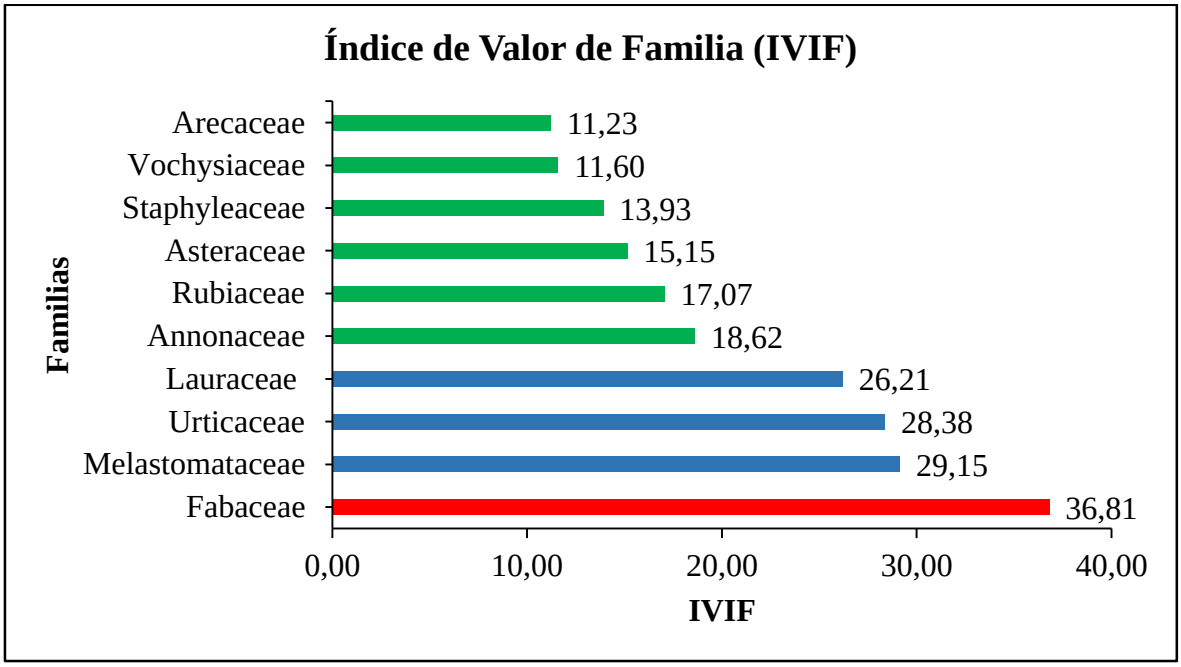
Familia botánica	N° individuos	∑G área basal	N° especies	Div (%)	DmR (%)	Dr (%)	IVIF
Fabaceae	12	0,71	6	11,76	15,74	9,30	36,81
Melastomataceae	18	0,42	3	5,88	9,31	13,95	29,15
Urticaceae	13	0,56	3	5,88	12,42	10,08	28,38
Lauraceae	6	0,53	5	9,80	11,75	4,65	26,21
Annonaceae	9	0,26	3	5,88	5,76	6,98	18,62
Rubiaceae	9	0,19	3	5,88	4,21	6,98	17,07
Asteraceae	9	0,28	1	1,96	6,21	6,98	15,15
Staphyleaceae	10	0,19	1	1,96	4,21	7,75	13,93
Vochysiaceae	5	0,26	1	1,96	5,76	3,88	11,60
Arecaceae	6	0,12	2	3,92	2,66	4,65	11,23
Subtotal (10 fam.)	**97**	**3,52**	**28**	**54,90**	**78,05**	**75,19**	**208,14**
Resto de Familias	32	0,99	23	45,10	21,95	24,81	91,86
Total	**129**	**4,51**	**51**	**100**	**100**	**100**	**300**

Fuente: Autor 2019.

Densidad relativa (Dr): (# ind spp/# total ind)*100; **∑G área basal:** 0.7854*(DAP)^2; **Dominancia relativa (DmR**): (G/G total) *100; **Diversidad relativa (Div):** (# spp. fam/# total spp.)*100; **Índice de valor de importancia a nivel de familia (IVIF): (**Dr) + (DmR) + (Div).

Según Matteucci y Colma (1982), este índice de importancia ecológica es un buen descriptor de la importancia de cada familia en un lugar, de manera que las familias que presentan los valores más altos son las que poseen más individuos y mayor área basal, aportando

información a nivel de comunidad vegetal para monitorear el efecto de las perturbaciones. En la Figura 5, muestra gráficamente el IVIF de las diez familias más representativas.



Fuente: Autor 2019.

Figura 5. Representación gráfica de las familias con mayor IVIF perteneciente al bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo.

4.1.4. Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVI)

El IVI permitió evaluar el comportamiento de las especies a partir de parámetros asociados a la densidad, frecuencia y dominancia relativa. En la Tabla 9, se muestran la diez especies que representan el 51,4% del IVI total, entre ellas: *Miconia bubalina* (Melastomataceae 13 ind) con el 15,87; *Cecropia membranácea* (Urticaceae 11 ind) con 13,25 y *Piptocoma discolor* (Asteraceae 9 ind) con 13,23 poseen los valores más altos (Figura 6), por lo cual tienen una mayor importancia dentro de la comunidad florística muestreada. Estas especies son diferentes a las reportadas por Aguirre-Mendoza *et al.* (2017), quienes mencionan que esta diferencia se debe al grado de perturbación y madurez de los escenarios de investigación, mientras que 48,59% del IVI lo representan el resto de especies identificadas en el inventario. Dentro de las diez especies con mayor Dr están: *Miconia bubalina* (Melastomataceae); *Cecropia membranácea* (Urticaceae) y *Turpinia occidentalis* (Staphyleaceae), con el 47,27% del total. En el Anexo 5, se muestra gráficamente el IVI de todas las especies identificadas en este estudio.

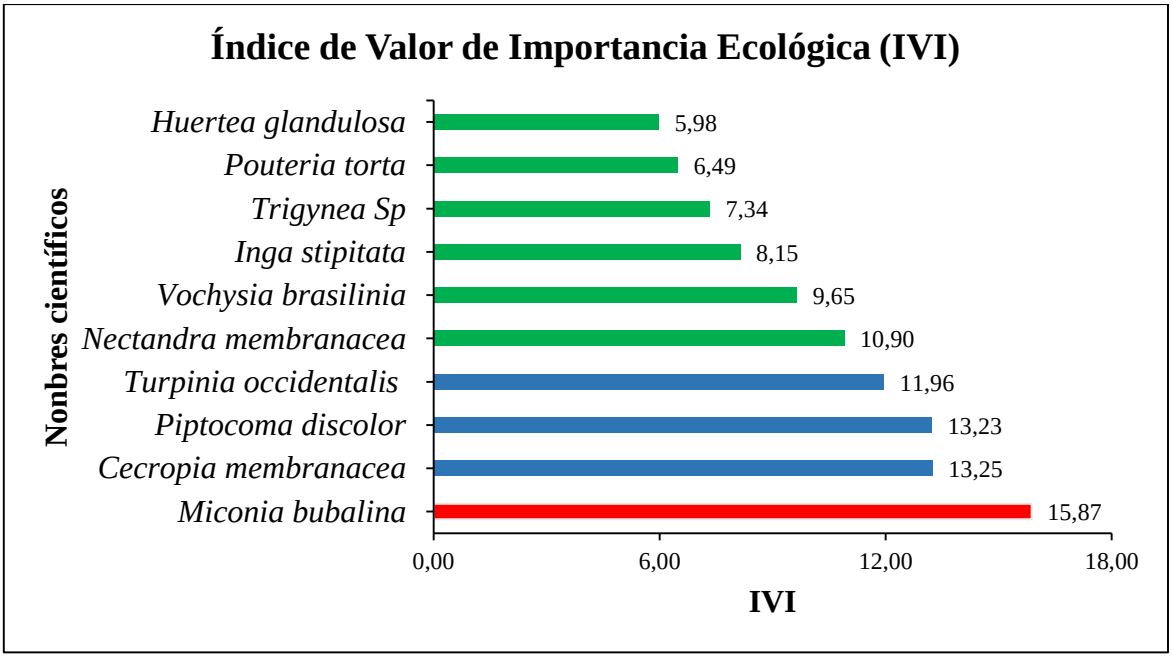
Tabla 9. Especies con mayor Dominancia relativa, Densidad relativa e IVI

Familia botánica	Nombre científico	N° Ind	F	∑G área basal	Dr (%)	DmR (%)	IVI
Melastomataceae	*Miconia bubalina*	13	1	0,26	10,08	5,80	15,87
Urticaceae	*Cecropia membranacea*	11	2	0,21	8,53	4,72	13,25
Asteraceae	*Piptocoma discolor*	9	1	0,28	6,98	6,25	13,23
Staphyleaceae	*Turpinia occidentalis*	10	2	0,19	7,75	4,21	11,96
Lauraceae	*Nectandra membranacea*	2	1	0,42	1,55	9,35	10,90
Vochysiaceae	*Vochysia brasilinia*	5	1	0,26	3,88	5,77	9,65
Fabaceae	*Inga stipitata*	2	1	0,30	1,55	6,60	8,15
Annonaceae	*Trigynea Sp.*	6	1	0,12	4,65	2,68	7,34
Sapotaceae	*Pouteria torta*	1	1	0,26	0,78	5,71	6,49
Tapisciaceae	*Huertea glandulosa*	2	1	0,20	1,55	4,43	5,98
Subtotal (10 esp.)		**61**	**12**	**2,51**	**47,29**	**55,5**	**102,8**
Resto de Especies		68	45	2,01	52,71	44,5	97,18
Total		**129**	**57**	**4,51**	**100**	**100**	**200**

Fuente: Autor 2019.

Frecuencia (F); Densidad relativa (Dr): (# ind spp/# total ind)*100; **∑G área basal:** $0.7854*(DAP)^2$; **Dominancia relativa (DmR**): (G/G total) *100; **Índice de valor de importancia (IVI):** Dr + DmR.

La determinación de este parámetro se obtuvo a partir de la suma entre la Dr y la DmR que establece Lozano *et al.* (2013), permitiendo analizar la importancia de la vegetación y a la vez determinar que especies contribuyen en la estructura de estos ecosistemas.



Fuente: Autor 2019.

Figura 6. Representación gráfica de las especies con mayor IVI perteneciente al bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo.

4.1.5. Índices de diversidad del bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo (Simpson y Shannon)

Para determinar la dominancia y diversidad de especies se realizó un inventario forestal de las 6,4 ha de bosque secundario, considerando que esta zona es parte de la ciudad de Puyo y se mantiene en estado de conservación por el hecho de contribuir al turismo de Pastaza, mediante los índices: Simpson y Shannon se realizó comparaciones de la diversidad de vegetación entre las diferentes parcela del bosque, 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, considerados altos en diversidad de especies, la ventaja de este índice es que no es necesario identificar las especies presentes, no obstante en el caso del índice de Simpson se determina entre 0 y 1, donde los valores cercanos a la unidad representan mayor dominancia (Pla, 2006; Campo y Duval, 2014).

Tabla 10. Índices de Simpson y Shannon del bosque secundario en el paseo turístico río Puyo

Uso de suelo	Índices de diversidad	
	Simpson	**Shannon**
Bosque secundario	0,97	3,53

Fuente: Autor 2019.

De acuerdo al índice de diversidad de Simpson el bosque presenta un valor de 0,97 (Tabla 10); que está cercano a la unidad como lo manifiesta Campo y Duval (2014), presentan mayor dominancia, concordando con los resultados encontrados por Moreno (2018) y Patiño *et al.* (2015), encontraron una dominancia de media a alta propia de ecosistemas amazónicos, mientras que el índice de Shannon presenta un valor de 3,53 considerado como alto en diversidad, concordando con lo que manifiesta Pla (2006), que los ecosistemas que presentan un mayor valor en este índice son los bosques tropicales y arrecifes de coral, y los menores valores las zonas desérticas.

RESULTADO II

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

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

Al analizar los distintos compartimentos como la biomasa aérea, hojarasca y muestras de tres usos de suelo y el aporte de carbono total almacenado (CTA) se pudo observar diferencias significativas ($P \leq 0,05$), como se muestra en la Tabla 11, determinando en bosque secundario la mayor cantidad de CTA, siendo 143,58 Mg C ha^{-1}, lo cual se debe fundamentalmente a la relación directa entre biomasa, abundancia y dominancia de especies. En contraste a estos resultados, la cantidad de CTA en pasto con árboles disminuyó a la mitad 78,66 Mg C ha^{-1} por el hecho de que en este uso la biomasa aérea no tiene un aporte considerable a diferencia del bosque secundario y el uso pasto sin árboles fue menor 52,16 Mg C ha^{-1}, cabe recalcar que en este último no se tomó en cuenta el componente biomasa aérea por su ausencia. De los tres compartimentos, independientemente del uso de suelo se pueden señalar que el mayor aporte al CTA en Mg ha^{-1}, es la biomasa aérea, seguido por el componente suelo y en menor valor la hojarasca, concordando con Moreno (2018); al ser la biomasa uno de los componentes que tienen los ecosistemas para acumular o almacenar MO en diferentes períodos de tiempo; está compuesta por el peso de la MO epigea y subterránea que existe en un ecosistema forestal (Cuenca *et al.*, 2017).

En cuanto a la capacidad de retención del CO_2, se relaciona directamente con los usos de suelo (Tabla 11), presentando diferencias significativas entre sí a un nivel de ($P \leq 0,05$), resultando ser el bosque secundario con el valor más alto 526,95 Mg C ha^{-1}, concordando con la cantidad CTA del presente estudio y Moreno (2018); con respecto a los usos pasto con árboles 288,68 Mg C ha^{-1} y sin árboles 191,43 Mg C ha^{-1}, disminuye principalmente a causa del componente biomasa aérea. Resultados similares para la zona han sido reportados por Jadán *et al.* (2017), al compartir las mismas condiciones tropicales. Sin embargo; el aumento de carbono no solo depende de las circunstancias ambientales, sino también del manejo que se dé al suelo, el cual puede causar cambios en el stock de C, otras investigaciones reportan una disminución del stock de C cuando hay conversión de bosques a sistemas intensivos (Bravo *et al.*, 2017b; Martínez *et al.*, 2008).

Tabla 11. Valores de secuestro de carbono bajo distintos usos de suelo

Unidades	Compartimiento	Usos de Suelo		
		Bosque secundario	**Pasto con árboles**	**Pasto sin árboles**
Mg C ha^{-1}	Biomasa aérea	92,50 ±19,90**a**	25,71 ±6,50**b**	----
	Hojarasca	3,16 ±1,18**a**	2,42 ±1,76**a**	3,43 ±2,03**a**
	Suelo	47,92 ±6,85**a**	50,54 ±4,56**a**	48,73 ±5,57**a**
	CTA	**143,58 ±27,93a**	**78,66 ±12,81b**	**52,16 ±7,60b**
Mg CO_2 ha^{-1}	Biomasa aérea	339,49 ±73,05**a**	94,34 ±23,86**b**	----
	Hojarasca	11,59 ±4,31**a**	8,87 ±6,45**a**	12,60 ±7,44**a**
	Suelo	175,87 ±25,14**a**	185,48 ±16,72**a**	178,83 ±20,44**a**
	CO_2 total	**526,95 ±102,51a**	**288,68 ±47,03b**	**191,43 ±27,88c**

Fuente: Autor 2019.

CTA: Carbono Total Almacenado en distinto compartimientos. Letras distintas entre tratamientos muestran diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

El Carbono (C) asociado a la vegetación no arbórea en este caso la hojarasca, no presenta diferencias significativas entre los usos, representando el menor aporte en comparación a la biomasa aérea y el suelo, criterios similares los manifiesta Moreno (2018). Por otro lado la degradación de los suelos propicia un descenso de C por el mal uso y manejo, a pesar de ello, una adecuada selección de usos y manejo del suelo puede reducir la tasa de emisiones de CO_2 atmosférico, obteniendo impactos positivos y su potencial para prestar servicios ecosistémicos (Díaz 2016; González *et al.*, 2012). El suelo puede actuar como fuente o depósito de carbono dependiendo de su uso y manejo (Martínez *et al.*, 2008).

RESULTADO III

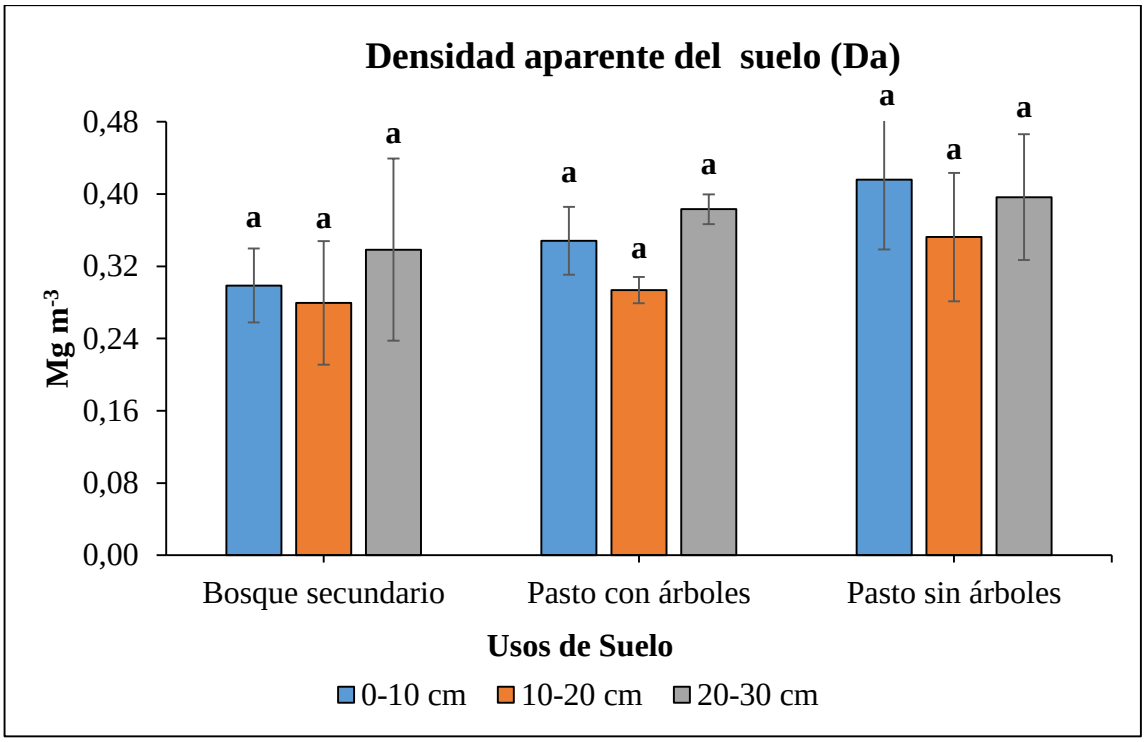
4.3. Caracterización de la fertilidad del suelo mediante parámetros físicos y químicos bajo los usos de suelo considerados.

4.3.1. Parámetros físicos

Las características de las propiedades físicas de los usos de suelo, no mostraron diferencias significativas en la mayor parte de sus índices estructurales a un nivel de ($P \leq 0,05$), obteniendo en todos los casos adecuadas condiciones físicas al comparar los valores obtenidos con los valores críticos de cada variable y en cada profundidad.

4.3.1.1. Densidad aparente (Da)

La densidad aparente del suelo es una variable de gran significado agrícola ya que tiene influencia en la penetración de raíces y normalmente es usado como indicador de la compactación de los suelos (Bravo *et al.*, 2004). 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 Da menor será la porosidad (Rubio-Gutiérrez, 2010). Sin embargo; indiferentemente del uso de suelo se obtuvo valores significativamente similares por profundidad; 0-10 cm con 0,28 a 0,34 Mg m^{-3}; la profundidad de 10-20 cm con 0,29 a 0,38 Mg m^{-3} y la profundidad de 20-30 cm con 0,35 a 0,42 Mg m^{-3} (Figura 8). Los valores obtenidos están por debajo del límite critico de 1,2 Mg m^{-3} señalado para suelos arcillosos según Pla (2010), mientras que Salamanca y Sadeghian (2006) determinaron que en suelos de textura fina la Da esta entre 1 a 1,2 Mg m^{-3} debido al incremento de materia orgánica y los espacios porosos provocando una disminución de Da.



Fuente: Autor 2019.

Figura 7. Valores promedios de Da del suelo en diferentes profundidades y usos.

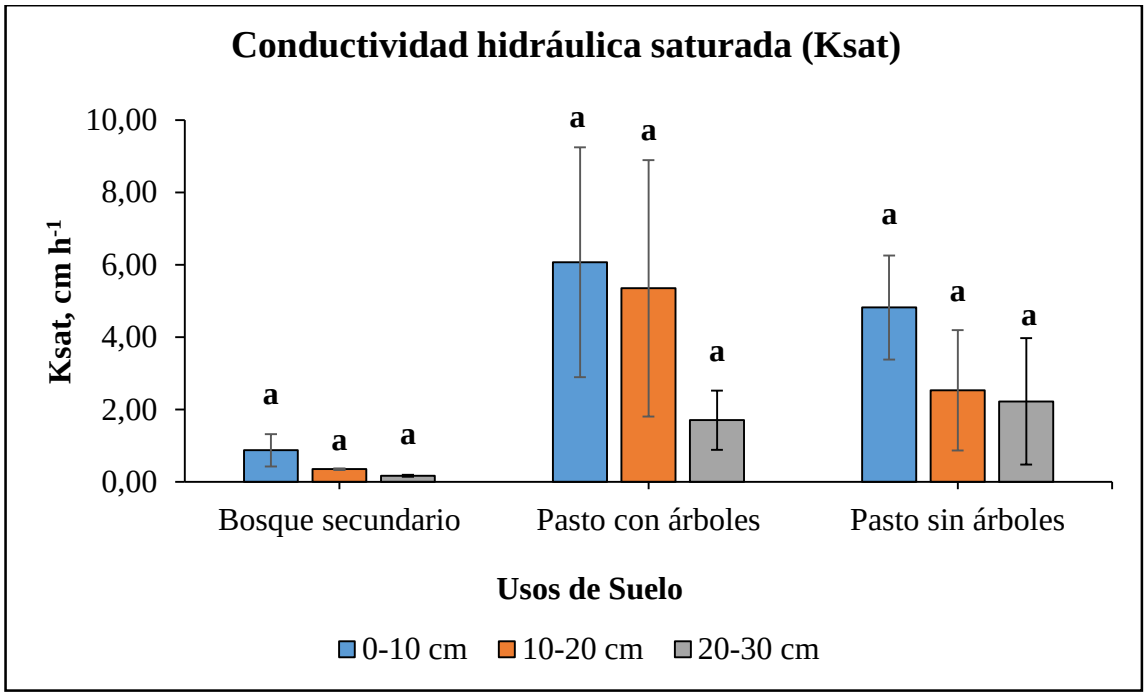
*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

Según Bravo-Medina *et al.* (2017) muestran que los suelos amazónicos presentan una Da en condiciones favorables para la penetración de raíces beneficiando el aprovechamiento de nutrientes y agua en el suelo concordando con los resultados del presente estudio.

4.3.1.2. Conductividad hidráulica saturada (Ksat, cm h^{-1})

La conductividad hidráulica saturada es una variable de mucha importancia para determinar la capacidad que tiene el suelo de penetrar el agua, y dar soluciones a problemas que se relacionan con el drenaje, riego, y conservación; teniendo una estrecha relación con la porosidad (Barbecho y Calle, 2012; Chirinos y Mattiazzo, 2004).

Al analizar este parámetro asociado a la permeabilidad del suelo se registran valores altos en los usos de pasto con y sin árboles por encima del límite crítico de 0,5 cm h^{-1}, señalado por Pla (2010), Dicho comportamiento está relacionado con la condición textural y estructural que favorece la penetración y movimiento de agua en el perfil del suelo (Bravo *et al.*, 2017a).



Fuente: Autor 2019.

Figura 8. Valores promedios de Ksat del suelo en diferentes profundidades y usos.

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

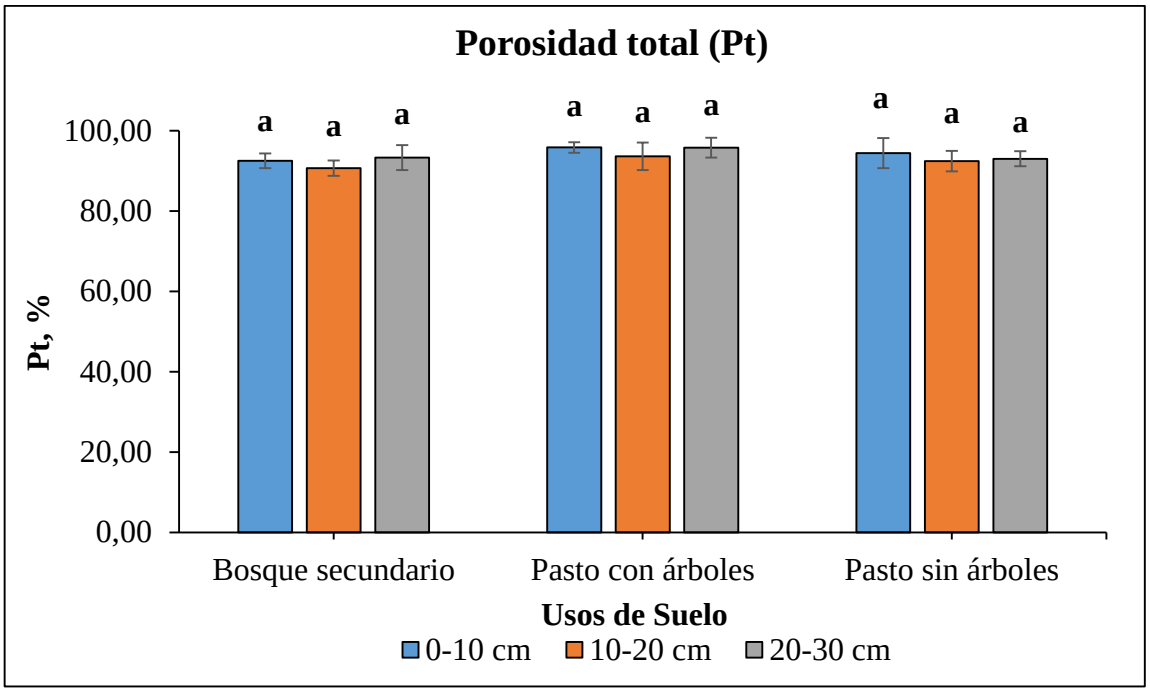
En la (Figura 9) se puede apreciar el comportamiento hidráulico del suelo, sobresaliendo los valores altos de Ksat en el horizonte superficial (0-10 cm) con 6,07 cm h^{-1}, el cuál va disminuyendo con la profundidad (10-20 y 20-30 cm) hasta alcanzar valores de 5,35 y 1,71 cm h^{-1} para el caso del uso de suelo pasto con árboles, comportamiento similar presenta el uso de suelo pasto sin árboles. Concordando con Bravo *et al.* (2015) la relación textural y estructural favorece la penetración y movimiento de agua en el perfil del suelo y los contenidos de materia orgánica en la amazónica.

Ocurre lo contrario en el bosque secundario al presentar valores inferiores al límite crítico, en las profundidades (10-20 y 20-30 cm) con valores de 0,35 y 0,17 cm h^{-1}, siendo el horizonte superficial, con 0,88 cm h^{-1} el que cumple con el límite critico de 0,5 cm h^{-1} que establece Pla (2010). La disminución brusca de este parámetro puede limitar la velocidad de infiltración en especial en zonas de alta pluviosidad. Por tanto, esos grandes volúmenes de agua se pueden convertir en un factor potencial de escorrentía y erosión en zonas de pendientes o encharcamiento en áreas planas. Tales resultados están asociado a la disminución de la porosidad de aireación y al cambio en el tipo de estructura que pasa de granular en superficie a blocosa débil en la segunda profundidad (Bravo *et al.*, 2015).

4.3.1.3. Porosidad total (Pt)

La porosidad total desempeña funciones importantes como transportar, absorber y almacenar agua en el suelo (González-Barrios *et al.*, 2011). Los análisis de porosidad total bajo distintos usos del suelo no presentaron diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Dando como resultado valores mayores al 60% en todas las profundidades y usos del suelo (Figura 10), con una gran fracción del volumen total representada por los poros de retención (Pr) y menor proporción de macro poros (Pa), lo cual les confiere a estos suelos una alta capacidad de retención de humedad, indistintamente del uso de suelo.

Destacándose con los valores más altos el uso de suelo pasto con árboles en todas las profundidades, mientras que el bosque secundario fue el que presentó los valores más bajos, Sin embargo; se encuentran por encima del 60%.



Fuente: Autor 2019.

Figura 9. Valores promedios de Pt del suelo en diferentes profundidades y usos.

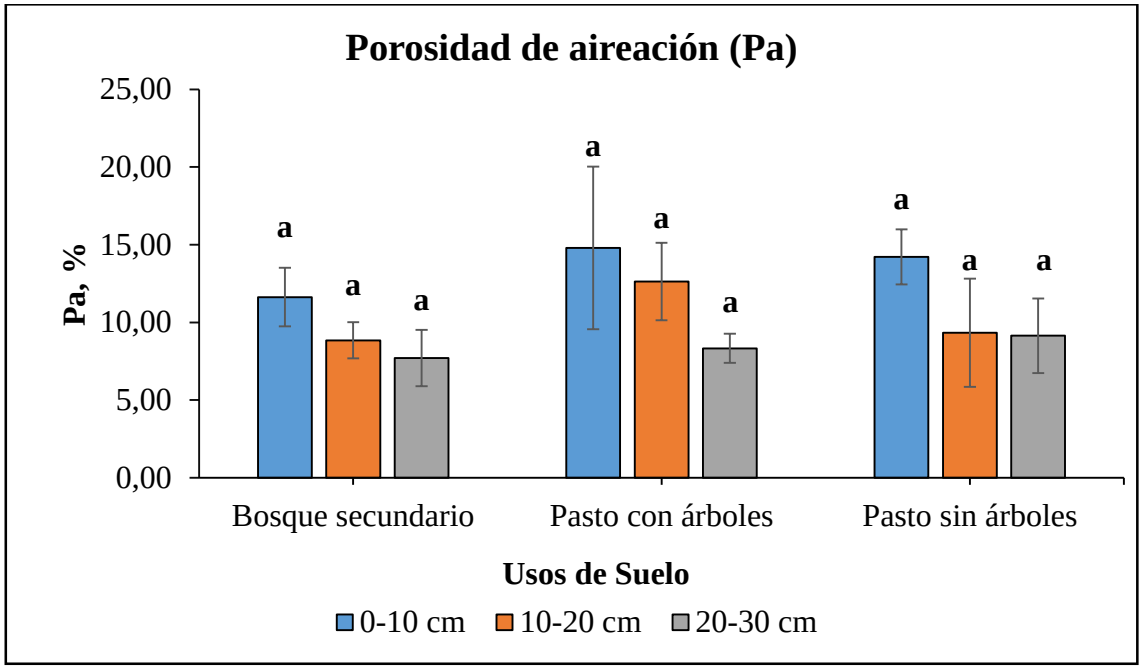
*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

Estudios similares 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 la absorción de nutrientes en las plantas (González-Barrios *et al.*, 2012).

4.3.1.4. Porosidad de aireación (Pa)

La Porosidad de aireación no presentó diferencias significativas a un nivel de P≤0,05, siendo los usos de suelo de pasto con y sin árboles los que mostraron una mayor porosidad, lo cual está asociado a la alta cantidad de raíces indicando que valores por debajo de 10% representan serias limitaciones al flujo de agua, de aire, a la actividad biológica y a la penetración de raíces (Florentino, 1998; Pla, 2010).

En el presente estudio los valores del horizonte superficial para los tres usos de suelo están por encima del umbral de 10% que establece Pla (2010), (figura 11). Sin embargo; para la segunda profundidad se aprecia valores inferiores al 10% en el bosque secundario con 8,84% y pasto sin árboles con 9,34%, considerados como crítico por Shiguango y Zambrano (2018). En cuanto a la profundidad (20-30cm) se encuentra por debajo de umbral, afectando la velocidad de infiltración y de aireación, al estar asociado a la actividad intensiva de pastoreo el cuál influye en el potencial de desarrollo de las raíces (Da Silva *et al.*, 2003).



Fuente: Autor 2019.

Figura 10. Valores promedios de Pa del suelo en diferentes profundidades y usos.

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

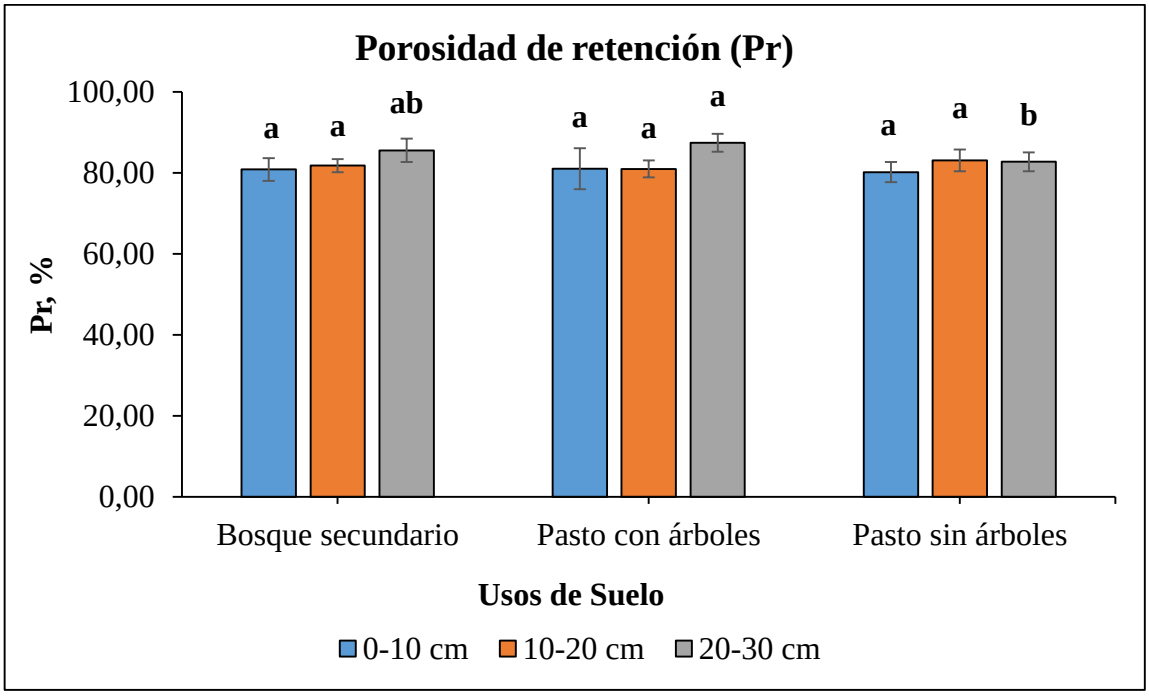
Según López y Galantini (2016), los valores superiores al 10% indican una adecuada porosidad de aireación, permitiendo un buen almacenaje, aireación y drenaje de agua, asegurando el desarrollo de los cultivos ya que permite el crecimiento normal de raíces.

4.3.1.5. Porosidad de retención (Pr)

La porosidad de retención es la capacidad que tiene el suelo para poder retener el agua en las profundidades durante periodos prolongados, por la existencia de los macro y micro poros (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2011).

Los análisis de Pr indican mayor proporción de la distribución total de poros con valores altos en las profundidades, concordando con el limite critico que establece Pla (2010) no debe ser menor del 25% (Tabla 12) y a la vez con Bravo *et al.* (2017b) quienes mencionan que la alta retención junto a la adecuada macro porosidad permite el flujo y la retención, minimizando el volumen de agua que potencialmente puede generar problemas de erosión.

Para esta variable no se observaron diferencias significativas a un nivel de P≤0,05, en dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) se mantuvieron en un rango de 80,20% a 83,09%, indistintamente del uso de suelo, mientras la profundidad (20-30cm) demuestra diferencias significativas que se representan en dos grupos, con mayor Pr que oscila entre el 82,77% y 87,44% a diferencia del resto de profundidades en cada uso.



Fuente: Autor 2019.

Figura 11. Valores promedios de Pr del suelo en diferentes profundidades y usos.

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

La presencia de mayor cantidad de micro poros favorecen la retención de humedad el cual es potenciado por la falta de perturbación del suelo y disminución del proceso de evaporación como un resultado del uso de coberturas (Bravo *et al.*, 2004).

Como ha sido señalado los índices estructurales como la densidad aparente, conductividad hidráulica saturada, porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención, ayudan a caracterizar distintos procesos en el suelo, entre ellos la compactación, aireación, infiltración los cuales pueden ser afectados por los sistemas ganaderos (Lozano *et al.*, 2012).

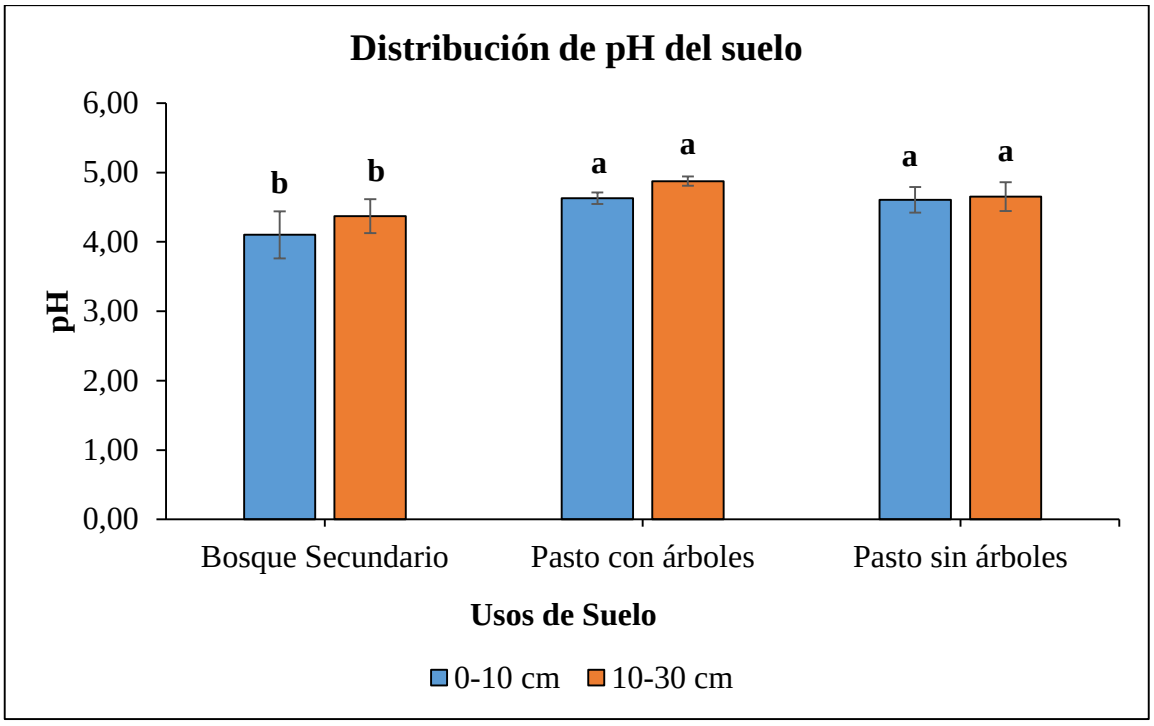
4.3.2. Parámetros químicos

Los parámetros químicos en los distintos usos de tierra fue evaluada a través de las variables pH: Potencial de hidrógeno; Al^{+3} + H^{+1}: Acidez intercambiable; Al^{+3}: Aluminio intercambiable; MO: Materia orgánica; NT: Nitrógeno Total; P: Fósforo disponible; k^{+1}: Potasio intercambiable; Ca^{+2}: Calcio intercambiable; Mg^{+2}: Magnesio intercambiable.

4.3.2.1. Potencial de Hidrógeno (PH)

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

Los resultados de esta variable denotan diferencias significativas para los usos de suelo en sus dos profundidades con valores de pH que oscilan entre 4,10 a 4,63 en la profundidad (0-10cm) y de 4,37 a 4,88 en la profundidad (10-20cm), los cuales se caracterizan como muy ácidos de acuerdo a los niveles críticos (Anexo 3) que establece el INIAP (2012). Indistintamente del uso de suelo se denota que en la capa superficial los rangos de pH son menores (Figura 13) y tienden a aumentar con la profundidad. Según Bravo *et al.* (2015) y Wei *et al.* (2006), se debe a la descomposición de los residuos en la superficie, formación de ácidos orgánicos o a la nitrificación del NH_4^+ proveniente del material fresco (heces y orina). En adición Aguilera (2000) manifiesta que la MO afecta la reacción del suelo (pH) debido a los diversos grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo.



Fuente: Autor 2019.

Figura 12. Valores promedios de pH del suelo en diferentes profundidades y usos.

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

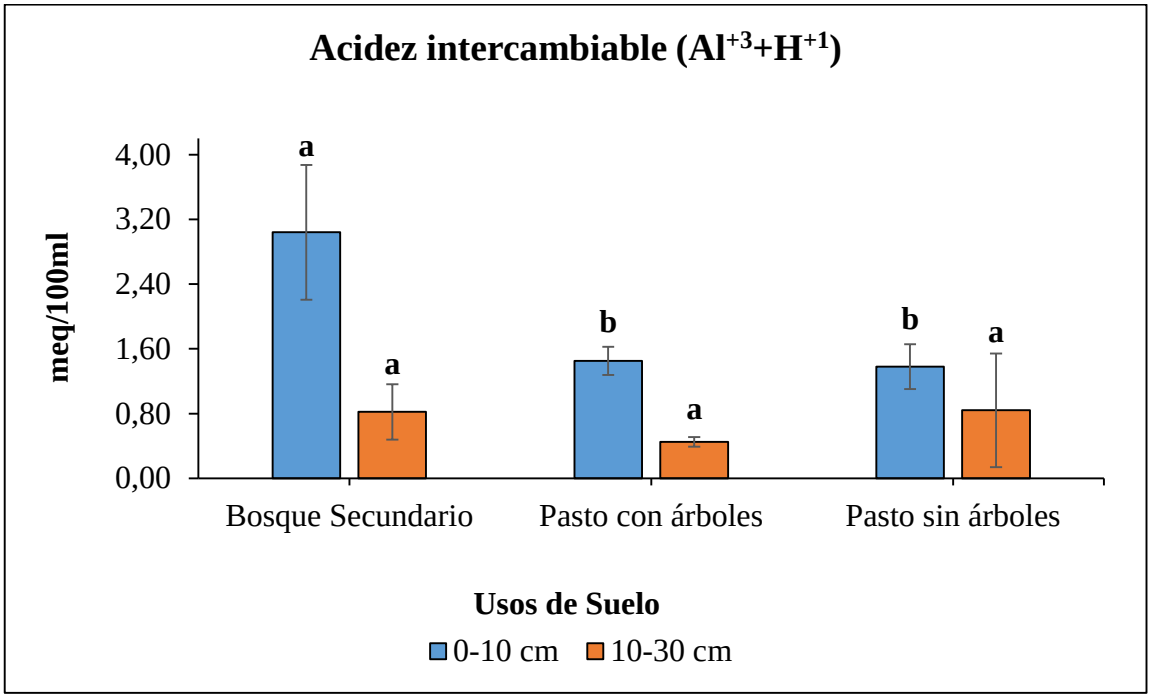
Martínez *et al.* (2008), señala que en suelos cercanos a la neutralidad o que tienen cantidades altas de carbonatos y bicarbonatos, el pH disminuye por aumento en la presión parcial de CO_2 en la atmósfera del suelo se combina con agua y forma ácido carbónico, que al disociarse genera H^+ que acidifica el suelo. La MO tiende a aumentar el pH cuando el suelo es ácido y tiende a disminuirlo cuando el pH del suelo es alcalino.

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

Las procedencia de acidez en regiones tropicales como la Amazonía ecuatoriana, van desde la génesis hasta el manejo del suelo. La meteorización de ciertas rocas primarias en largas fases geológicas y los procesos de pérdida de bases por lixiviación (Calva *et al.*, 2017). Los análisis mostraron un pH muy acido en los tres usos para las dos profundidades (Figura 13), por debajo de 5,5 favoreciendo la presencia de cationes ácidos. Esto se debe a la relación entre la presencia del aluminio y ausencia de molibdeno y otros ambientes limitativos para las plantas (FAO, 2018).

En los resultados obtenidos presentan diferencias significativas a un nivel de P≤0,05, para la primera profundidad. Indistintamente del uso de suelo se puede observar presencia de

acidez intercambiable en la profundidad (0-10cm) va de 1,38 a 3,04 meq/100ml (Figura 14), al compararlos con el valor critico >1,5 meq/100ml (Anexo 3) que establece el INIAP (2012), se categorizan como tóxicos, cuyos valores disminuyen con la profundidad (10-30cm) y se les atribuye un rango medio de toxicidad, implicando afectaciones sobre la fertilidad del suelo (Castro y Munevar, 2013).



Fuente: Autor 2019.

Figura 13. Valores promedios de acidez intercambiable del suelo en diferentes profundidades y usos.

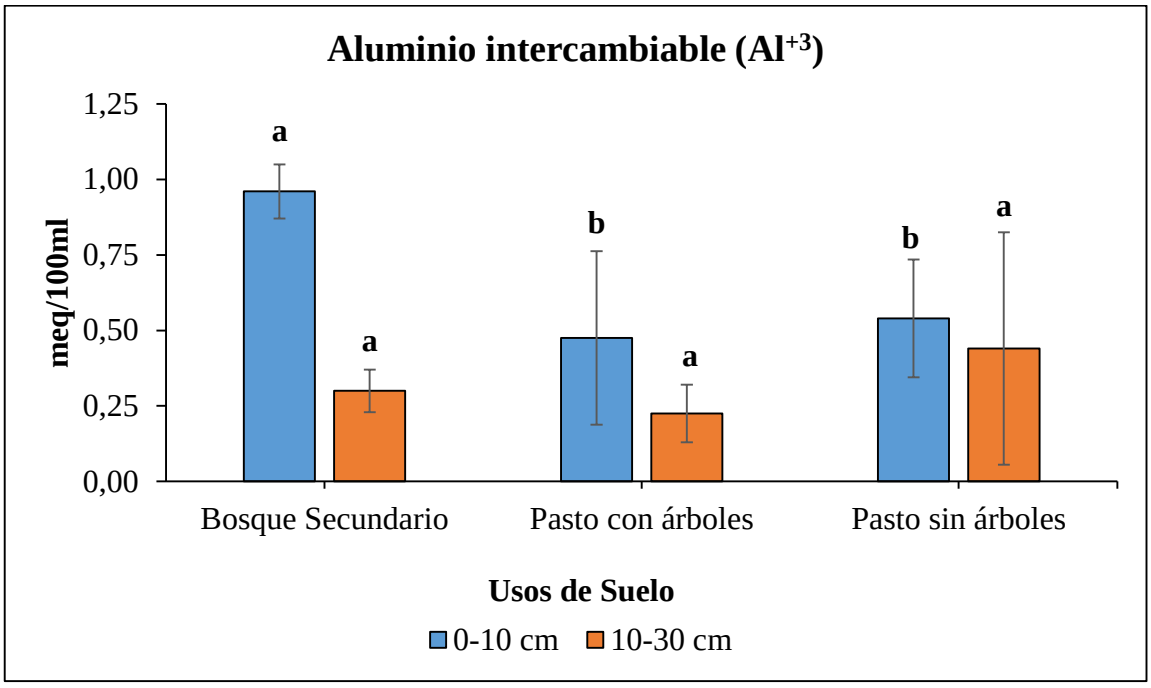
*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

Los altos valores de acidez intercambiable en el horizonte superficial puede estar relacionado con la descomposición de residuos y de ácidos provenientes de los contenidos de MO presente en el suelo (Lozano *et al.*, 2009; Bravo *et al.*, 2007).

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

Carreño y Chaparro (2013) mencionan que el aluminio intercambiable se encuentra en gran abundancia sobre la tierra, representando un elemento tóxico para las plantas, que dificulta su normal crecimiento y limita la productividad del suelo, concordando con Casanova (2005). En los suelos encontrados con pH acido el Al puede ser trasladado a los ambientes acuáticos y a la vez a las plantas a través del suelo, este es absorbido por las raíces dificultando el desarrollo de las plantas (Carreño y Chaparro, 2013).

Esta variable presentó diferencias significativas a un nivel de P≤0,05, (Figura 15) lo cual concuerda con los resultados obtenidos de pH y acidez intercambiable, denotando que indistintamente del uso de suelo la profundidad (0-10cm) alcanzó valores entre 0,48 y 0,96 meq/100ml categorizados como medianamente tóxicos 0,3-1,0 meq/100ml según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012), mientras que la profundidad (10-30cm) se les atribuye un rango medio y bajo para el caso de pasto con árboles.



Fuente: Autor 2019.

Figura 14. Valores promedios de aluminio intercambiable del suelo en diferentes profundidades y usos.

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

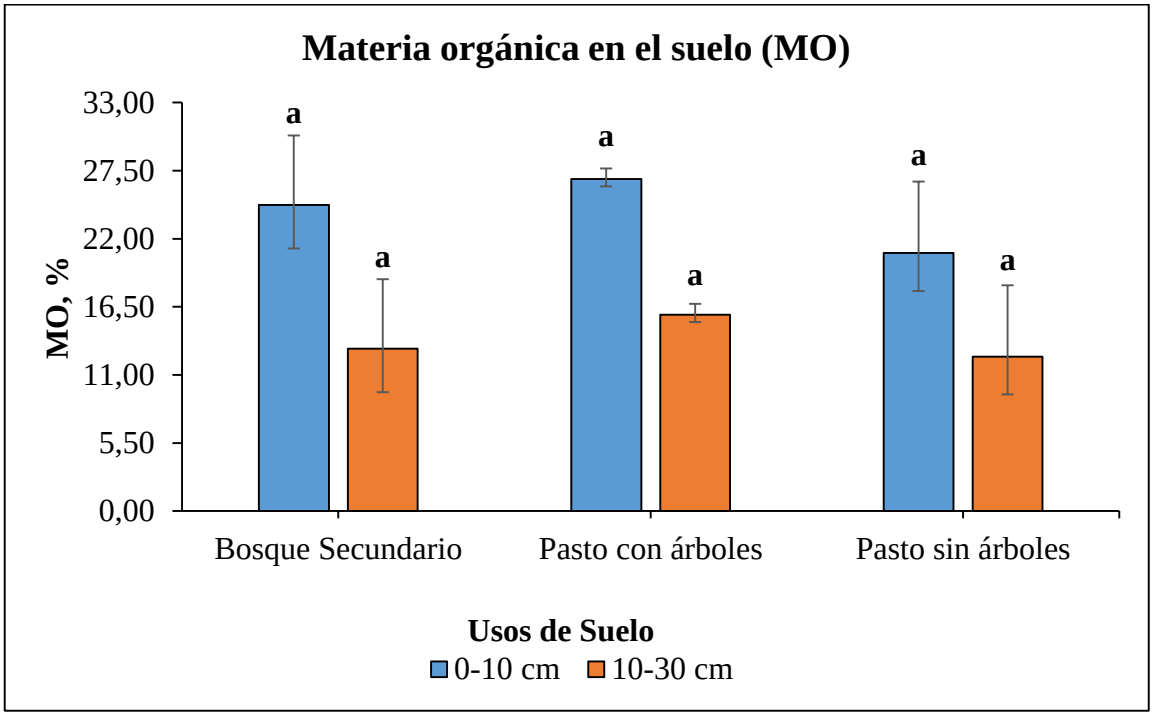
Los suelos viejos o suelos que no son desarrollados por material volcánico, son ácidos, de baja fertilidad y con contenido de aluminio intercambiable (Al^{+3}), están situados en las zonas de mayor precipitación del país como la Amazonía ecuatoriana (Calva *et al.*, 2017).

4.3.2.4. Materia Orgánica (MO)

En la materia orgánica del suelo se distingue una fracción lábil, disponible como fuente energética, que mantiene las características químicas de su material de origen (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos), y una fracción húmica, más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Galantini, 2002; Aguilera, 2000). Para Simpson *et al.* (2007), las sustancias húmicas son el material orgánico más abundante

del medio terrestre y el principal componente de la MO representando por lo menos el 50% de ésta.

En los resultados obtenidos no se demuestran diferencias significativas a un nivel de P≤0,05, ya que indistintamente del uso de suelo muestran valores altos en las dos profundidades con mayor valor en la superficie (Figura 16). Para la profundidad (0-10cm) presenta valores entre 20,85% a 26,82%, que se categorizan como altos >5% de acuerdo al Anexo 3, que establece el INIAP (2012), mismo caso presenta la profundidad (10-30cm) con un porcentaje que va de 12,48% a 15,87% categorizado como alto.



Fuente: Autor 2019.

Figura 15. Valores promedios de MO del suelo en diferentes profundidades y usos.

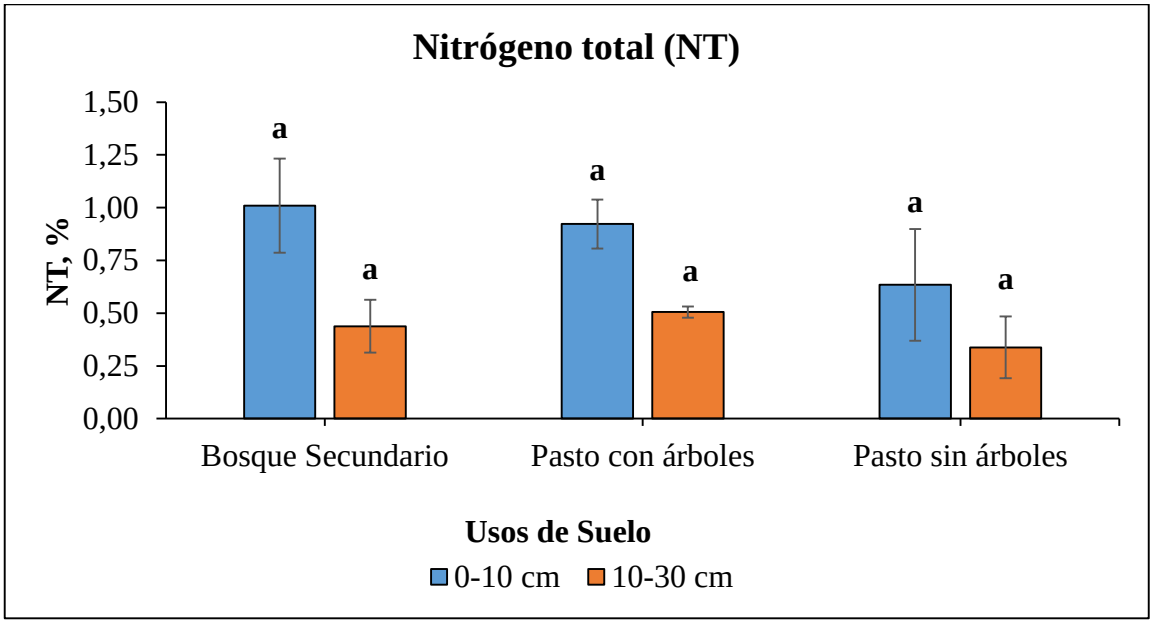
*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

La MO es la suma de todo material orgánico de origen vegetal y animal que se encuentra en la superficie del suelo y se descompone por acción de los microorganismos para ser aprovechado, permitiendo mejorar muchas propiedades químicas, físicas y microbiológicas del suelo que favorecen el crecimiento de plantas y la actividad biológica hasta los 30 cm profundidad (Díaz, 2016). Los altos valores de la MO es deseable en los agroecosistemas al igual que en la producción de cultivos y en la reducción de CO_2 al medio ambiente, su acumulación depende básicamente de restos de vegetales y animales (Núñez *et al.*, 2011).

4.3.2.5. Nitrógeno Total (NT)

Los valores de NT no presentaron diferencias significativas a un nivel de P≤0,05, en ninguna de las profundidades (Figura 16). Sin embargo; indiferentemente del uso de suelo según el rango de interpretación para el nitrógeno nos indican que para la profundidad (0-10cm) con valores de 0,63% a 1,01%, se categorizan como medios 0,2-0,8% y altos >0,8% de acuerdo al Anexo 2, que establece Bertsh (1995), que van disminuyeron con la profundidad, presentando valores categorizados como medios en la profundidad (10-30cm) entre 0,34% y 0,51% de NT, resultados que concuerdan con las concentraciones de MO en cada uso.

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



Fuente: Autor 2019.

Figura 16. Valores promedios de NT del suelo en diferentes profundidades y usos.

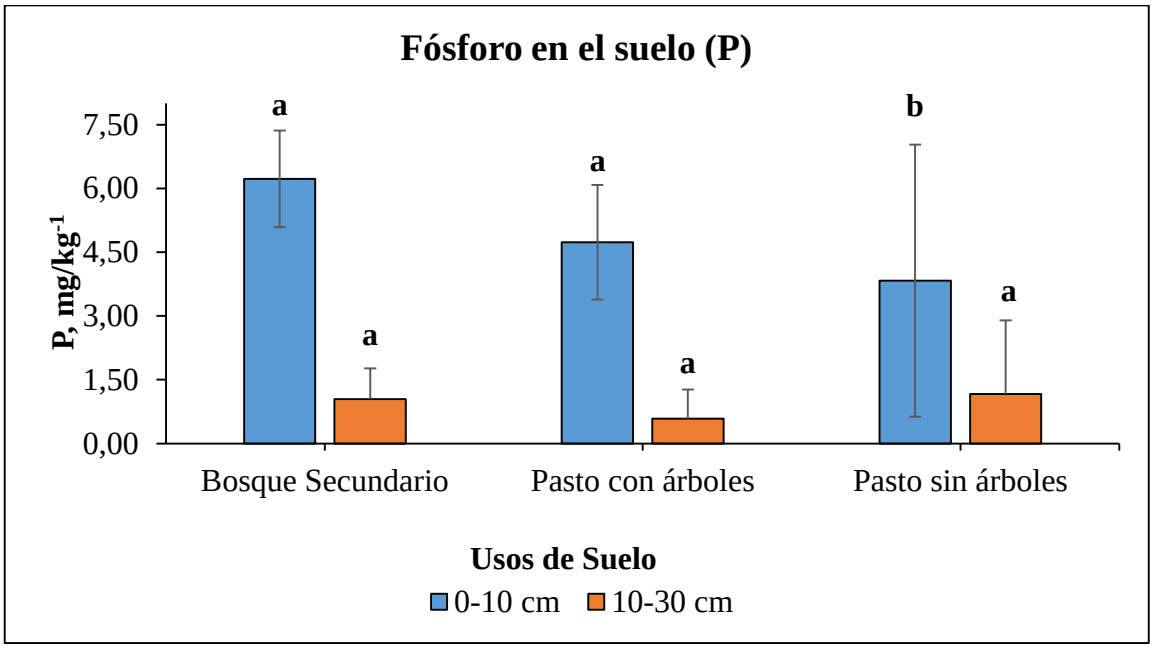
*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

Como ha sido señalado un alto contenido de MO representa una de las principales fuentes de nitrógeno y el mismo constituye un elemento esencial para las plantas y los microorganismos en el suelo, generalmente más del 95% del nitrógeno total del suelo se encuentra en estado orgánico formando parte de la materia orgánica (Casanova, 2005).

4.3.2.6. Fósforo (P, mg/kg^{-1})

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

Al analizar el fósforo disponible del suelo se observaron diferencias significativas a un nivel de P≤0,05, en la profundidad (0-10cm), resultando con mayor contenido el bosque secundario (Figura 18) con 6,22 mg/kg^{-1}, valor categorizado como bajo <10 mg/kg^{-1}, de acuerdo al Anexo 3, que establece el INIAP (2012). Indistintamente de la profundidad y uso del suelo todos los resultados están por debajo del límite crítico establecido y disminuyen con la profundidad, concordando con lo establecido por Lozano *et al.* (2010), que las cantidades de fosforo son mayores en la superficie 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.



Fuente: Autor 2019.

Figura 17. Valores promedios de fósforo en el suelo en diferentes profundidades y usos.

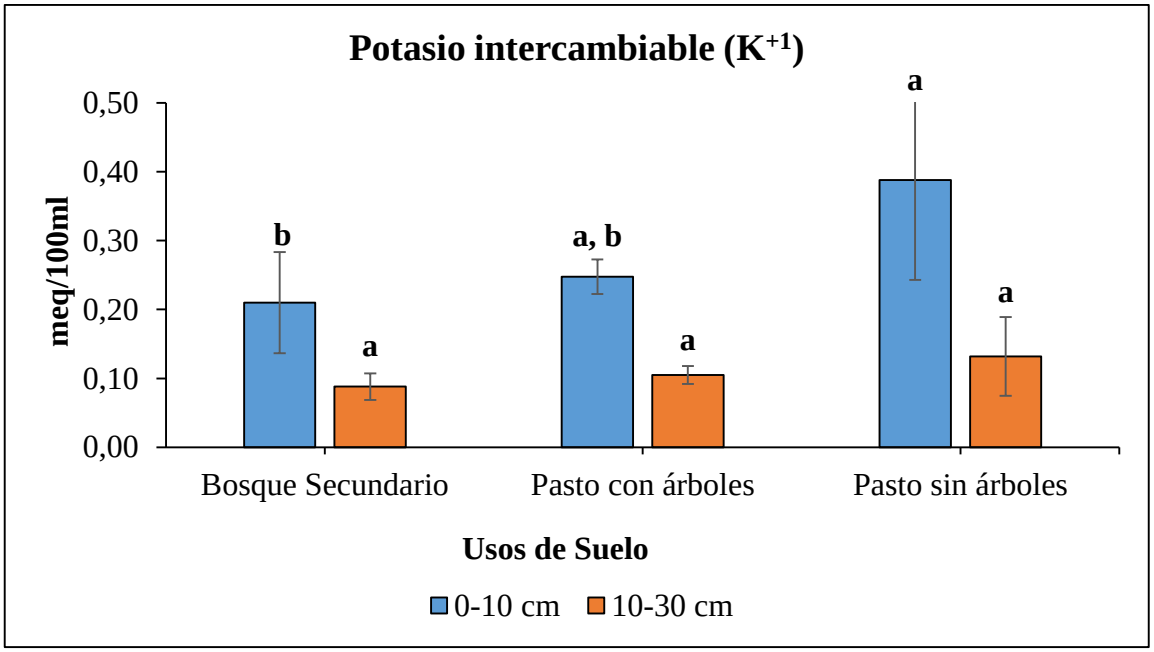
*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

En cuanto al carbono y el nitrógeno sus principales reservorios están en la atmosfera, mientras que del fósforo está en el suelo, por tanto, la principal fuente es la meteorización

del material parental (Casanova, 2005). Al observar los bajos valores de fósforo en cada profundidad y uso evaluado se podría inferir que los materiales parentales de donde proceden estos suelos son bajos en fósforo, es decir a mayor cantidad de MO aumenta los niveles de fósforo en el suelo, que a su vez es usado por los cultivos impidiendo acumularse. El suelo requiere de cantidades altas de fósforo para el fortalecimiento de las raíces y el óptimo crecimiento de las platas (Casanova, 2005).

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

El potasio es uno de los tres macronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, y su contenido en el suelo puede ser variable (Conti, 2002). Al analizar este elemento se observaron diferencias significativas a un nivel de P≤0,05, en la profundidad (0-10cm), siendo el uso pasto sin árboles (Figura 19) el que presento el valor más alto 0,39 meq/ 100ml, categorizado como medio 0,2-0,38 meq/ 100ml, según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012), al igual que el uso de bosque secundario con 0,21 meq/ 100ml y pasto con árboles con 0,25 meq/ 100ml se categorizan como valor medio. Sin embargo; este macronutriente a partir de los 10cm de profundidad disminuye drásticamente a valores considerados muy bajos, presentando valores que oscilan entre 0,09 y 0,13 meq/ 100ml.



Fuente: Autor 2019.

Figura 18. Valores promedios de potasio intercambiable del suelo en diferentes profundidades y usos.

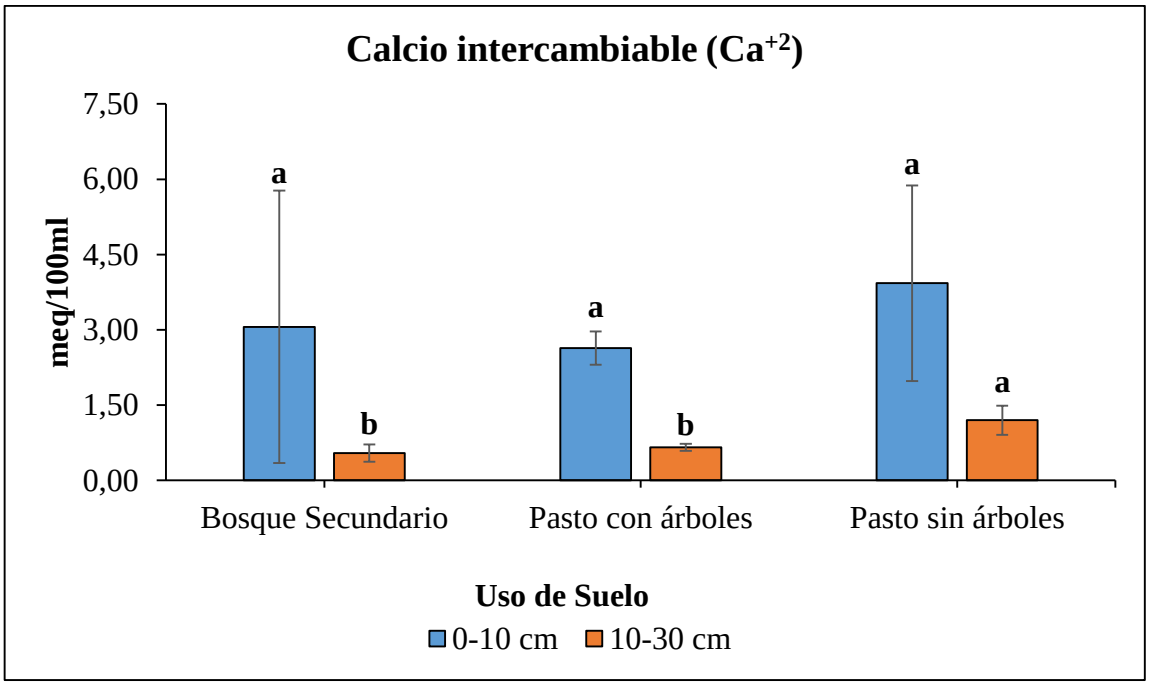
*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

Los valores en la capa superficial pueden estar relacionados con la descomposición de la MO, concordando con Razz *et al.* (2006) que manifiestan que la presencia de árboles en los potreros aumenta la cantidad de materia orgánica mejorando favoreciendo el microclima y la actividad biológica de macro y microorganismos en el suelo, contribuyendo con la mineralización, movilidad y disponibilidad de algunos elementos (N, P, K) hacia los árboles.

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

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

Al analizar el calcio intercambiable no se observaron diferencias significativas a un nivel de P≤0,05, para la profundidad (0-10cm) con valores que oscilan entre 2,64 a 3,93 meq/ 100ml, valores que se categorizan medios 2-5 meq/ 100ml, según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012). Sin embargo; este elemento a partir de los 10cm de profundidad disminuye drásticamente (Figura 20) a valores considerados muy bajos, presentando valores entre 0,55 y 1,20 meq/ 100ml, presentando diferencias significativas en esta profundidad.



Fuente: Autor 2019.

Figura 19. Valores promedios de calcio intercambiable del suelo en diferentes profundidades y usos.

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

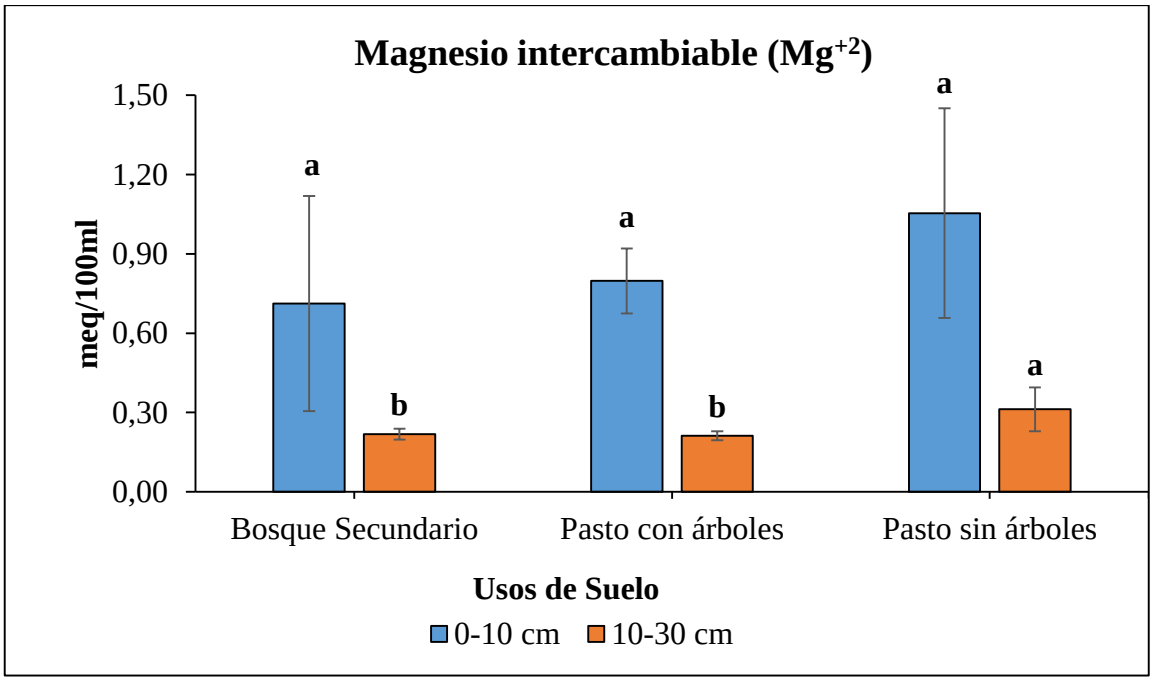
Bravo *et al.* (2017), señalan que a profundidades superficiales la concentración de calcio es mayor y disminuye progresivamente con la profundidad, esto puede variar en función del tipo de roca o material parental que da origen al suelo.

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

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

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

Al analizar el magnesio intercambiable mostro un comportamiento similar al calcio intercambiable (Figura 21), evidenciando diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$, para la segunda profundidad (10-30 cm) con valores de 0,22 a 0,31 meq/ 100ml, categorizados como valores bajos <0,5 meq/ 100ml, según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012). El contenido de Mg en el horizonte superficial se categoriza como moderado, destacándose el uso de pasto sin árboles con el mayor contenido de Mg 1,05 meq/ 100ml.



Fuente: Autor 2019.

Figura 20. Valores promedios de magnesio intercambiable del suelo en diferentes profundidades y usos.

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

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

4.3.3. Fertilidad de macro y micro elementos (Materia orgánica, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio)

A parte de los resultados que proporcionan los análisis químicos del suelo para cada elemento, existe otra forma de representar las concentraciones que tiene cada uno (kg/ha), al emplear estos términos resulta más fácil su estimación e interpretación.

Indistintamente del uso de suelo, se puede apreciar las concentraciones de cada elemento (Tabla 12) en profundidades distintas, demostrando que a una profundidad (0-10cm) es menor a la profundidad (10-30cm), esto se debe al peso de la hectárea, al tomar como referencia para la primera profundidad 10 cm y para la segunda 20 cm, cuando en realidad el valor de 20 cm se divide a la mitad para tener los valores exactos cada 10 cm de

profundidad, y poder comparar las concentraciones a un intervalo de 10 cm. Obteniendo que la concentración para el horizonte superficial es mayor en todos los casos y esta disminuye con la profundidad.

Para el caso de la MO el horizonte superficial presentó valores que oscilaron entre 70,56 a 74,95 t./ha en 10 cm de profundidad y de 97,33 a 101,54 t./ha en 20 cm, recalcando que al comparar los valores de esta profundidad van a ser mayores que los de 10 cm, porque esta hace referencia a 20 cm, a estos valores se les resta la mitad para poderles comparar al mismo rango de profundidad que presenta el horizonte superficial obteniendo valores entre 48,67 a 50,77 t./ha, valores que concuerdan con los resultados de los análisis químicos, al disminuir con la profundidad. Lo mencionado se debe aplicar para el resto de los elementos que se exponen en la Tabla 12.

Tabla 12. Valores de la fertilidad de los macro y micro elementos bajo distintos usos de suelo

Usos de suelo	Profundidad	Kg MOS ha	t. MO /ha	Kg NI /ha	Kg P /ha	Kg K /ha	Kg Ca /ha	Kg Mg /ha
Bosque Secundario	1 (10cm)	73846,11	73,85	33,23	1,86	26,62	182,80	25,52
Pasto con árboles		74946,54	74,95	33,73	1,32	27,52	147,38	26,74
Pasto sin árboles		70564,73	70,56	31,75	1,30	52,27	265,93	42,81
Bosque Secundario	2 (20cm)	99732,52	99,73	44,88	0,79	24,97	82,99	19,88
Pasto con árboles		101544,96	101,54	45,70	0,37	26,75	84,16	16,32
Pasto sin árboles		97330,74	97,33	43,80	0,91	40,98	187,20	29,20

Fuente: Autor 2019.

ha: hectárea; **MOS:** materia orgánica del suelo; **t. MO:** toneladas métricas de materia orgánica; **NI:** nitrógeno inorgánico; **P:** fósforo; **K:** potasio; **Ca:** calcio; **Mg:** magnesio.

En general las concentraciones de cada elemento se relacionan directamente con la MO como lo manifiestan Salamanca y Sadeghian (2006), que resulta de la acumulación de residuos tanto en el uso bosque como en el pasto con y sin árboles que origina la formación de una capa superficial netamente orgánica, resultante de la suma de todo material orgánico de origen vegetal y animal, que se encuentra en la superficie del suelo y se descompone por acción de los microorganismos para ser aprovechado, contribuyendo a mejorar las condiciones del suelo favoreciendo el crecimiento de plantas y la actividad biológica hasta los 30cm profundidad (Díaz, 2016).

RESULTADO IV

4.4. Valoración económica de los servicios ecosistémicos en base a la fertilidad y CO_2 almacenado, bajo los usos de suelo considerados.

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

En la Tabla 13, se presenta la valoración de la fertilidad como un servicio ecosistémico que aportan los diferentes usos de este estudio, considerando la disponibilidad de nutrientes. Indistintamente del uso de suelo, el aporte económico total es 65234,61 \$ ha^{-1}, donde los mayores aportes los atribuye la materia orgánica del suelo (MO), seguido del nitrógeno inorgánico (NI), el potasio (K_2O) y fósforo (P_2O_5). El valor económico de la MO fue estimado a un precio de 125 \$ por Mg, precio que se obtiene de los productos que distribuye la casa comercial de agroquímicos (Agripac, 2018), con un aporte total de 64745,70 \$ ha^{-1} (Tabla 13), resultando ser el uso pasto con árboles el más representativo 22211,78 \$ ha-1, al estar conformado de biomasa aérea (árboles y pasto gramalote), sin embargo; los otros usos también aportan valores similares e importantes, entre 21178,79 \$ ha^{-1} pasto sin árboles y 21844,04 \$ ha^{-1} bosque secundario.

En cuanto al nitrógeno, fósforo y potasio en kg ha^{-1}, fue estimado a un precio de 1,8; 0,95 y 1,16 \$ por Kg respectivamente, precios que se obtiene de los productos que distribuye la casa comercial de agroquímicos (Agripac, 2018). En cuanto al aporte económico a nivel de uso de suelo se destaca el uso pasto sin árboles por contener un alto contenido de potasio de 108,17 \$ ha^{-1}, mientras que el bosque secundario presenta el menor aporte 59,84 \$ ha^{-1}, pero este a la vez el mayor aporte de fósforo y el uso pasto con árboles con el mayor aporte de NI 85,77 \$ ha^{-1}, pero en cuanto al fosforo es el mas bajo.

Según Razz *et al.*, (2006), este comportamiento se relaciona con la descomposición de la MO, que a pesar de las condiciones meteorológicas y el cambio de uso de suelo proporcionan un servicio ecosistémico.

Tabla 13. Valoración económica de la materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio bajo distintos usos del suelo

Usos de suelo	MO Mg $ ha^{-1}	NI kg $ ha^{-1}	(P_2O_5) kg $ ha^{-1}	(K_2O) kg $ ha^{-1}	Valor Económico $
Bosque Secundario	21697,33	84,36	2,52	59,84	21844,04
Pasto con árboles	22061,44	85,77	1,61	62,95	22211,78
Pasto sin árboles	20986,93	81,60	2,09	108,17	21178,79
Total $	**64745,70**	**251,73**	**6,22**	**230,96**	**65234,61**

Fuente: Autor 2019.

NI: nitrógeno inorgánico; **P:** fósforo; **K:** potasio.

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

De acuerdo al Banco Mundial (2016), el precio del carbono presenta una gran variabilidad significativa, alcanzando valores máximos de \$130 t/CO_2 equivalente y los valores bajos de \$1 t/CO_2 equivalente, a la vez las emisiones a nivel mundial son mercantilizadas a un precio medio de \$10 t/CO_2 equivalente. El pago de servicios ambientales por fijación y acopio de carbono simboliza una opción para dar valor adherido a la producción, lo que podría tener una gran importancia para los productores (Gonzáez *et al*., 2013).

La valoración económica de CO_2 equivalente como servicio ecosistémico tiene un valor económico en el mercado de 15 $ por mega gramo (Mg) SENDECO2 (2018), semejante a lo descrito por el Banco Mundial. Indistintamente del uso de suelo, los resultados del aporte económico total 15105,87 $ ha^{-1} (Tabla 14), valor que es atribuido mayoritariamente por el bosque 7904,22 $ ha^{-1}, al estar compuesto por la biomasa aérea, la cual carecen el resto de usos, marcando una diferencia que es prácticamente el doble de entre los demás, mitigando más de 1007,06 Mg o toneladas métricas de CO_2 equivalente ha^{-1}.

Con estos resultados se puede inferir que es importante recuperar y conservar los bosques, una forma de lograrlo sería mediante planes de reforestación que se compensarían con el pago del servicio ambiental del secuestro de carbono.

Tabla 14. Valoración económica del CO_2 equivalente en distintos usos del suelo

Usos de suelo	CO_2 equi Mg ha^{-1}	Precio de Mercado $ x Mg	Valor Económico $
Bosque Secundario	526,95	15,00	7904,22
Pasto con árboles	288,68	15,00	4330,22
Pasto sin árboles	191,43	15,00	2871,42
Total $			**15105,87**

Fuente: Autor 2019.

Mg: mega gramo, equivale a una tonelada métrica (**t**); **COT:** carbono orgánico total.

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

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El presente trabajo brindó información cuantitativa de la flora del Paseo turístico del río Puyo, revelando un total de 129 individuos pertenecientes a 54 especies, dentro de 28 familias. A través de parámetros ecológicos como el IVI se reconoció la relevancia de la especie *Miconia bubalina* (Melastomataceae). De acuerdo al índice de Simpson presenta una alta dominancia, propia de ecosistemas amazónicos y Shannon lo categoriza como alto en diversidad, demostrando que a pesar de ser un bosque secundario posee alta diversidad florística.
- Se determinó que el potencial de almacenamiento de C y retención de CO_2 en distintos compartimentos (biomasa aérea, hojarasca y el suelo), varió dependiendo del tipo de uso de suelo y la composición de especies, demostrando que las mayores concentraciones las presenta el bosque secundario al contar con el componente biomasa aérea que almacena y retiene mayores cantidades C y CO_2, superando claramente a los demás usos.
- Los resultados del análisis de los parámetros físicos y químicos, revelan que los tres usos de suelo presentan condiciones favorables, permitiendo apreciar en términos cuantitativos las concentraciones de cada elemento, desde el horizonte superficial hasta una profundidad de 30 cm, específicamente para estimar la fertilidad del suelo (MO, N, P, K, Ca, Mg) presente en el Paseo turístico del río Puyo.
- La valoración económica del servicio ecosistémico basado en la fertilidad permite tener claro la importancia que tienen los ecosistemas amazónicos y los beneficios que se pueden obtener de ellos (fertilidad agrícola), los cuales podrían ser de gran interés para los productores. La valoración económica del CO_2 equivalente fue de $ 15105,87 en la cual se mitigan 1007 t CO_2 equivalente ha^{-1}, por la presencia del bosque secundario que cuenta con alta diversidad de especies y se constituye como un reservorio de C.

5.2. Recomendaciones

- Continuar con investigaciones que demuestren la importancia de conservar el Paseo turístico del río Puyo, ya que forma parte de la ciudad y es uno de los primeros atractivos turísticos, por lo tanto es una responsabilidad tanto para las autoridades y comunidad universitaria de Puyo.
- Establecer una caracterización de parámetros físicos y químicos de manera prolongada, con el fin de tener varios escenarios que permita comparar los resultados y corroborarlos con otras investigaciones de la región.
- Incentivar a propietarios de los diferentes usos de suelo a adoptar buenas prácticas ambientales, como: la reforestación, implantación de sistemas forestales y agroforestales, con fines de almacenar C y retener CO_2, obteniendo beneficios lucrativos mediante bonos de C y PSA.
- Fomentar investigaciones hacia la búsqueda de nuevas metodologías, que permitan identificar todos los posibles servicios ecosistémicos que puedan brindar los ecosistemas amazónicos, e implantar metodologías de valoración económica, con el fin de lograr la conservación del entorno natural.

CAPITULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, M. y Carrillo, A. (2009). Determinación del carbono total en bosques mixtos de Pinus patula Schl. et cham. *Terra Latinoamericana*, 27(2), 105-114.

Agripac. (2018). Empresa de agroquímicos del Ecuador. Guayaquil-Ecuador: Agripac S.A. Recuperado de http://www.agripac.com.ec/es/inicio/.

Aguilera, S. M. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile. p. 77–85.

Aguirre-Mendoza, Z., Reyes-Jiménez, B., Quizhpe-Coronel, W. y Cabrera, A. (2017). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso de un bosque montano en el sur del Ecuador. Arnaldoa, 24, 543-556.

Alonso, J. A. (2013). El Planeta Tierra en peligro: Calentamiento Global, Cambio Climático, Soluciones: Editorial Club Universitario.

Arana-Medina, V. (2015). Análisis y valoración de los servicios de los ecosistemas de humedales asociados al río León (Urabá Antioqueño – Colombia). Su relación con el sistema hídrico subterráneo y con el bienestar humano. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de La Plata, Colombia.

Banco Mundial. (2016). Estado y tendencias del precio del carbono 2016.

Balvanera, P. y Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio delos servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica*, (84-85), pp8-15.

Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21 (1-2): 136-147.

Barbecho, J. y Calle, J. (2012). Caracterización de la conductividad hidráulica de los suelos de la subcuenca del Río Tarqui.

Barroso-Tagua, R., Álvarez, D., Huera, T., Changoluisa, D. y Bravo, C. (2017). La fertilidad del suelo como un servicio ecosistémico en cultivo de cacao (Theobroma cacao L), en la provincia de Napo, 101-108. En: Alemán, R., Reyes, H. y Bravo, C. (Eds.)

(2017). Libro de memorias: Simposio internacional sobre Manejo sostenible de tierras y seguridad alimentaria. Universidad Estatal Amazónica. Puyo, Ecuador. 279 pp.

Bertsh, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1 ed. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.

Blake, G. R. y Hartge, K. (1986). Bulk Density1. Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods (methodsofsoilan1), 363-375.

Bravo, C., Lozano, Z., Hernandez, R. M., Piñango, L. y Moreno, B. (2004). Efecto de diferentes especies de cobertura sobre las propiedades fisicas de un suelo de sabana con siembra directa de maiz. *Bioagro,* 16(3):163-172.

Bravo, C. A., Giráldez, J. V., Ordoñez, R. González, P. y Perea Torre. (2007). Long term influence of conservation tillage on chemicals properties of Surface horizona and legume crops yield in vertisol of southern Spain. 172:141.148.

Bravo, C., Benítez, D., Burgos, J. C. V., Alemán, R., Torres, B., y 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-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., Torres, B., Alemán, R., Changoluisa, D., Marín, H., Freile, J. . . . Navarrete, H. (2017a). Indicadores de calidad física y carbono orgánico en suelos de la Región Amazónica Ecuatoriana bajo diferentes usos de la tierra. Paper presented at the Simposio internacional sobre Manejo sostenible de tierras y seguridad alimentaria–Ecuador.

Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Torres, R., Navarrete, H. y Changoluisa, D. (2017b). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos del suelo de la Región Amazónica Ecuatoriana. Volumen 18 Nº 11.

Butler, R. A. y Laurance, W. F. (2008). New strategies for conserving tropical forests. *Trends in ecology and evolution*, 23(9), 469-472.

Burger, J. A. y Kelting, D. L. (1999). Using soil quality indicators to assess forest stand management. *Forest Ecology and Management*, 122(1), 155-166.

Burley, J. (2002). Panorámica de la diversidad biológica forestal. *Unasylva*, 53(209).

Calva, C. y Espinosa, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *Siembra* 4 (1) (2017) 110–120.

Camacho-Valdez, V. y Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*, 1, (3-15).

Campo, A. y Duval, V. S. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. *Parque Nacional Lihué Calel* (Argentina). Paper presented at the Anales de Geografía.

Carreño, A. y Chaparro, A. (2013). Tolerancia al aluminio en especies vegetales: mecanismos y genes. *Universitas Scientiarum*, 18(3), 283.

Casanova, E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela.-UCV. Consejo de Desarrollo Humanístico y Científico, Caracas. Venezuela. 481 pp.

Casanoves, F., Pla, L. y Di Rienzo, J. A. (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Serie técnica, Informe técnico, CATIE; 384.

Castro, H. y Munevar, Ó. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 16(2), 409-416.

Castillo, M. (2015). Estudio de impacto ambiental para el mejoramiento, ampliación e implementación de los sistemas de alcantarillados sanitario y pluvial de la ciudad de Puyo, cantón Pastaza, provincia de Pastaza. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Pastaza, (14-87).

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J., Eamus, D. y Kira, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99.

Chirinos, I. y Mattiazzo, M. (2004). Variación de la conductividad hidráulica en suelos saturados en función de la concentración de sodio presente en residuo agroindustrial. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21(1), 1-11.

Cram, S., Cotler, H., Morales, L. M., Sommer, I. y Carmona, E. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones geográficas*, 66, (81-104).

Crisci, J. V. (2006). Espejos de nuestra epoca: biodiversidad, sistematica y educacion. Gayana. *Botánica*, 63, 106-114.

Conti, M. E. (2002). Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. Buenos Aires, Argentina, UBA. Facultad de Agronomía. Cátedra de Edafología.

Cuellar, R. M. y Talaverano, N. S. Z. (2018). Valoración económica del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en la cobertura forestal-Parque Nacional del Huascarán. Cátedra Villarreal, 6(1).

Cuenca, M. E., Jadán, O., Cueva, K. y Aguirre, C. (2017). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. CEDAMAZ, 4(1).

Cutini, A., Chianucci, F. y Manetti, M. C. (2013). Allometric relationships for volume and biomass for stone pine (Pinus pinea L.) in Italian coastal stands. *IForest* 6: 331-337.

Da Silva, A. P., Imhoff, S. y Corsi, M. (2003). Evaluation of soil compaction in an irrigated short-duration grazing system.70: 83-90.

Dahua, A. N. (2015). Evaluación de la composición florística y estructura del remanente de bosque en las áreas ganaderas del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica "CIPCA" Cantón Santa Clara, Provincia de Pastaza, Ecuador. (Tesis de pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Pastaza.

Denman, K., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Dickinson, R., Hauglustaine, D. … Holland, E. (2007). "Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry". En: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z and others (eds). Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, p 499-587.

Díaz, A. (2016). Impacto ambiental del cambio de uso del suelo sobre los parámetros edáficos en la Reserva de Biosfera Sumaco, Provincia de Napo. (Tesis de pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Pastaza.

Doran, J. W. y Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3-11.

Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo-Buendía, M. y Valladares, F. (2006). Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra: CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas.

Escobar, A. (1999). Comunidades negras de Colombia: en defensa de biodiversidad, territorio y cultura. *Biodiversidad*, 22, 15-20.

FAO. (2005). Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005. www.fao.org.

FAO. (2018). Suelos Ácidos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Fernández, M. T. y Rodríguez, H. (2006). Aplicaciones biológicas de las fitasas: papel en los fertilizantes microbianos. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 40(2), 27-34.

Florentino, A. (1998). Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra: selección de indicadores físicos. Valores críticos. Manejo Sostenible de los Suelos, Manual de Prácticas. Facultad de Agronomía UCV. Maracay-Venezuela. p, 68-77.

GADPPz, G. A. (Abril 2015). Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia de Pastaza. Recuperado de https://puyo.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/S-PDyOT-PLAN-DE-DESARROLLO-2015-2020.pdf.

Galantini, J. A. (2002). Contenido y calidad de las fracciones orgánicas del suelo bajo rotaciones con trigo en la región semiárida pampeana. INTA, Argentina. RIA, 30, 125–146.

Galicia, L., Saynes, V. y Campo, J. (2015). Biomasa Aérea, Subterránea y Necromasa en una Cronosecuencia de Bosques Templados con Aprovechamiento Forestal. *Botanical Sciences*, 93(3), 473-484.

García-Ávila, C. d. J., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Colinas-León, M. T. B., Trejo-Téllez, L. I. y Vargas-Madriz, H. (2015). Magnesio y su relación con la calidad de Lilium cv. Casablanca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6, 265-276.

Garófalo, B. J. (2018). Biomasa aérea de familias botánicas del bosque siempreverde piemontano de la microcuenca río Puyo como contribución a los servicios ecosistémicos (Tesis de pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Ecuador.

Gaspari, F. J., Díaz-Gómez, A. R., Delgado, M. I. y Senisterra, G. E. (2015). Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 144, (214-221).

Gonzáez, D y Figueroa, J. (2013). Valoración del Servicio Ecosistémico Secuestro de Carbono, como una vía para contribuir con el Desarrollo Sostenible de un país. Caso: Venezuela. LACCEI; *Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology.*

González-Barrios, J. L., González-Cervantes, G., Sánchez-Cohen, I., López-Santos, A. y 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-Barrios, J. L., González-Cervantes, G. y Chávez-Ramírez, E. (2012). Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 21-32.

González, L., Moreno P, L. d. C., Krishnamurty, L., Baéz P, A. y Acosta, M. (2012). Simulación de los cambios de carbono orgánico del suelo en sistema de cultivo con higuerilla 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. y Hernández-Lara, M. E. (2011). Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17, 183-196.

Hanley, N., Wright, R. E. y Alvarez-Farizo, B. (2006). Estimating the economic value of improvements in river ecology using choice experiments: an application to the waterframework directive. *J. Environ. Manag*. 78, 183–193.

Honorio-Coronado, E. y Baker, T. R. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Universidad de Leeds. Lima, 54 p.

Ibarra-Castillo, D., Ruiz-Corral, J. A., González-Eguiarte, D. R., Flores-Garnica, J. G. y Díaz-Padilla, G. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. Agricultura técnica en México, 35, 267-276.

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.

Jadán, O., Quizhpe, W., Pacheco, E., Aguirre, Z., González, M., Ponce, E. y Peña, D. (2017). Riqueza florística y carbono almacenado en tres pisos altitudinales de bosques amazónicos, Zamora Chinchipe, Ecuador. Bosques Latitud Cero, 7(1).

Kumar, M. y Kumar, P. (2008). Valuation of the ecosystem services: a psycho-cultural perspective. *Ecol. Econ*. 64, 808–819.

Kurz-Besson, C., Coûteaux, M.M., Berg, B., Remacle, J., Ribeiro, C., Romanyà, J. y Thiéry, J.M. (2006). A climate response function explaining most of the variation of the forest fl oor needle mass and the needle decomposition in pine forests across Europe. *Plant and Soil* 285:97–114.

Lewis, S., Lopez-Gonzalez, G., Sonké, B., Affum-Baffoe, K., Baker, T., Ojo, L. … Reitsma, J. (2009) Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature* 457, 1003-1006.

López, F. y Galantini, J. A. (2016). Porosidad de ustoles bajo siembra directa en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, 34(2), 137-184.

Lozano Z., Briceño, L. O., Villanueva, J. G., Bravo, C., Hernández, R., Moreno, B. y Piñango, L. (2009). Propiedades químicas del suelo bajo cultivos de cobertura en sistemas de labranza conservacionista y su efecto sobre el rendimiento de maíz. 17:24-41.

Lozano, Z., Mogollón, Á., Hernández, R. M., Bravo, C., Ojeda, A., Torres, A., . . . Toro, M. (2010). Cambios en las propiedades químicas de un suelo de sabana luego de la introducción de pasturas mejoradas. *Bioagro*, 22(2), 135-144.

Lozano, Z., Hernández-Hernández, R. M., Bravo, C., Rivero, C., Toro, M. y Delgado, M. (2012). Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. Interciencia, 37:1-8.

Lozano, P., Torres, B. y Rodríguez, X. (2013). Investigación de Ecología Vegetal en Ecuador: Muestreo y Herramientas Geográficas. Universidad Estatal Amazónica. Puyo, Ecuador.

Malhi, Y., Aragao, L. E. O., Metcalfe, D. B., Paiva, R., Quesada, C. A., Almeida, S. y Da Costa, A. C. (2009). Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. *Global Change Biology*, 15(5), 1255-1274.

MAE. (2016). Bosques para el Buen Vivir - Plan de Acción REDD+ Ecuador (2016-2025). Quito, 223.

Martínez, E., Fuentes, J. P. y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Suelo Nutr. Veg*. 8 (1), 68-96.

Matteucci, S. y Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. Washington-USA. O.E.A. Edit. UNNE. 168p.

Meier, I.C. y Leuschner, C. (2010). Variation of soil and biomass carbon pools in beech forests across a precipitation gradient. *Global Change Biology* 16:1035-1045.

Miranda, Taymer, Machado, R, Machado, H. y Duquesne, P. (2007). Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuaríos cubanos y su valoración económica. Estudio de caso. Pastos y Forrajes, 30(4).

Moreno, G. F. (2018). Biodiversidad y Potencial de captura de carbono en distintos tipos de bosque de la cuenca alta del río Napo (Tesis de pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Ecuador.

Naredo, J. M. (2010). Raíces económicas del deterioro ecológico y social: Siglo XXI de España Editores, SA.

Nelson, D. y Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter1. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (methodsofsoilan2), 539-579.

Núñez, M., Serrano, B., Jimenez, H., Benítez, O., Paredes, G., Aguilar, G., Guerra, O. y Ortega, A. (2011). Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. 1(3),27-35.

Ordóñez-Díaz, J. A. B., Rivera-Vázquez, R., Tapia-Medina, M. E. y 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.

Ortega, S. C. (Ed.). (2008). Reconocimiento de los Servicios Ambientales: *Una Oportunidad para la Gestión de los Recursos Naturales en Colombia.* Bogotá, Colombia. 203 pp.

Pacha, M. J. (2014). Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía. Brasilia, Iniciativa Amazonía Viva.

Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A. … y Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333:988-992.

Patiño, J., Lozano, P., Tipán, C., Navarrete, H., López, R., Asanza, M. y Torres, B. (2015). Composición florística y estructura de un bosque siempreverde piemontano de 600 a 700 m snm en la cuenca del río Piatúa, Napo, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4(2), 166-214.

Paruelo, J. M. (2010). Capítulo 5: Valoración de servicios ecosistémicos y planificación del uso del territorio *¿Es necesario hablar de dinero?* Valoración de Servicios Ecosistémicos (120-139).

Pearson, T., Walker, S. y Brown, S. (2013). Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects.

Peralta-Rivero, C., Contreras, C., Galindo, M., Albino, J. y Vos, V. (2013). Percepción sobre la valoración del bosque y proyectos MDL y REDD en Riberalta, Amazonía Boliviana. Journal de Ciencia y Tecnologia Agraria, (2), 441.

Pérez, O. (2008). Valoración Económica de los Recursos Naturales y del Ambiente. Lima: Cristo Vive.

Pla, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos. Dificultades y errores más frecuentes. I-Propiedades mecánicas. *Suelos Ecuatoriales*, 40(2), 75-93.

Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590.

Quizhpe, W., Mendoza, Z. A. y Mendoza, N. A. (2017). Red de parcelas permanentes en el sur del Ecuador, herramienta para el monitoreo de la dinámica de la flora y vegetación. Bosques Latitud Cero, 6(2).

Razz, R y Clavero, T. (2006). Cambios en las características químicas de suelos en un banco de Leucaena leucocephala y en un monocultivo de Brachiaria brizantha. 23(3) ,331-337.

Rendón-Thompson, O., Baker, T., Healey, J., del Castillo, D., Jones, J. y Cuesta, R. R. (2009). Criterios e indicadores para proyectos REDD, proyecto "fortalecimiento de capacidades para pagos por servicios ambientales (carbono y biodiversidad) en la Amazonía peruana.": Leeds: Leeds university.

Rincón, J. y Gallardo, Y. (2003). Efecto de la relación calcio: fósforo en el suelo sobre el crecimiento y nodulación de plantas jóvenes de acacia mangium (willd) ¹. *Bioagro*, 15(2), 97-105.

Rincón, L. y Gutiérrez F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. 14(1), 285-295.

Rodríguez, L., Curetti, G., Garegnani, G., Grilli, G., Pastorella, F. y Paletto, A. (2016). La valoración de los servicios ecosistémicos en los ecosistemas forestales: un caso de estudio en Los Alpes Italianos. Bosque (Valdivia), 37(1), 41-52.

Rubio-Gutiérrez, A. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales. *Universidad de Sevilla. Sevilla. España*.

Sadeghian, S. (2012). Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (Coffea arabica L.) en la etapa de almácigo.

Salamanca, A. y Sadeghian, S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 56(4):381-397.

Salomé, C., Coll, P., Lardo, E., Metay, A., Villenave, C., Marsden, C. y Le Cadre, E. (2016). The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards. *Ecological Indicators*, 61, 456-465.

Samaniego, E., García, Y., Neill, D., Arteaga, Y., Vargas, J. C. y Rojas, L. (2015). Diversidad florística de tres sitios de un bosque siempreverde piemontano de la región oriental amazónica del Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología* 4(1): 32-47.

Sánchez, J. A. y Madriñán, S. (2012). Biodiversidad, conservación y desarrollo: Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes.

Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. (2001). Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia.

SENDECO2. (2018). Sistema europeo de negociación de CO2. Sur de Europa: "IETA" Market solutions for climate change. Recuperado de https://www.sendeco2.com/es/.

Shiguango, K. y 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.

Sierra, R., Cerón, C., Palacios, W. y Valencia, R. (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y Eco Ciencia. Quito, Ecuador. 155-163p.

Simpson, A. J., Song, G., Smith, E., Lam, B., Novotny, E. H. y Hayes, M. H. B. (2007). Unraveling the Structural components of soil humin by use of solution-state nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Environ. Sci. Technol*., 41, 876-883.

Soriano-Luna, M. d. l. Á., Ángeles-Pérez, G., Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O. y Razo-Zárate, R. (2015). Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 49, 423-438.

Torres, B., Starnfeld, F., Vargas, J. C., Ramm, G., Chapalbay, R., Ríos, M. … Cordoba-Bahle, S. D. (2014). Gobernanza participativa en la Amazonía del Ecuador: recursos naturales y desarrollo sostenible. Universidad Estatal Amazónica, Ministerío del

Ambiente del Ecuador, Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo y Cooperación Alemana al Desarrollo. Puyo, Ecuador. P.12.

Trujillo-González, J. M., Mahecha-Pulido, J. D., Torres-Mora, M. A., Brevik, E. C., Keesstra, S. D. y Jiménez-Ballesta, R. (2017). Impact of Potentially Contaminated River Water on Agricultural Irrigated Soils in an Equatorial Climate. *Agriculture*, 7(7), 52; doi: 10.3390/agriculture7070052.

Urrelo, R. d. J. y Rojas, R. (2018). Stock de carbono de la biomasa aérea de las especies comerciales de un bosque de terraza baja inundable de la comunidad nativa Uranias, Loreto, Perú. *Conocimiento Amazónico, 8*(1), 23-34.

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

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

CAPITULO VII

7. ANEXOS

Anexo 1. Niveles críticos para interpretación de parámetros físicos.

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

Fuente: Pla, 2010

Anexo 2. Rango de interpretación para parámetros químicos.

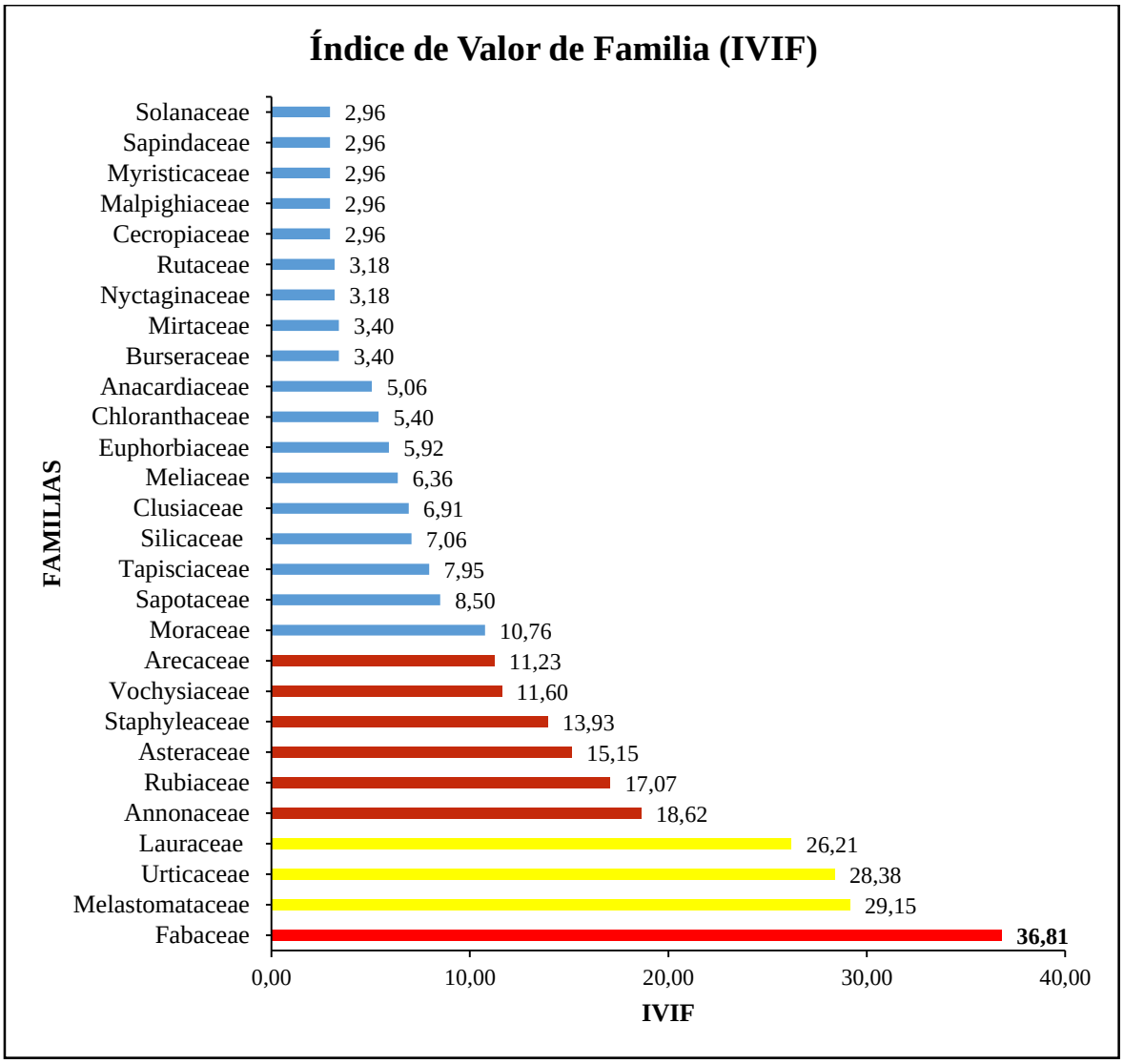
Rango de interpretación					
Parámetro	**Unidad**	**Bajo**	**Medio**	**Alto**	**Toxico**
Aluminio (Al+H)	meq/100ml	<0,5	0,5-1,0	>1,5	
Aluminio intercambiable (Al)	meq/100ml	<0,3	0,3-1,0	>1,0	
Nitrógeno (NT)	%	<0,2	0,2-0,8	>0,8	>3,2
Materia orgánica (Mo)	%	<3,0	3,0-5.0	>5,0	
Fosforo (P)	ppm	<10	10-20,0	>20,0	
Potasio (K)	meq/100ml	<0,2	0,2-0,4	>0,4	
Calcio (Ca)	meq/100ml	<4,00	4,0-8,0	>8,0	
Magnesio (Mg)	meq/100ml	<1,0	1,0-2,0	>2,0	

Fuente: Bertsh, 1995

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

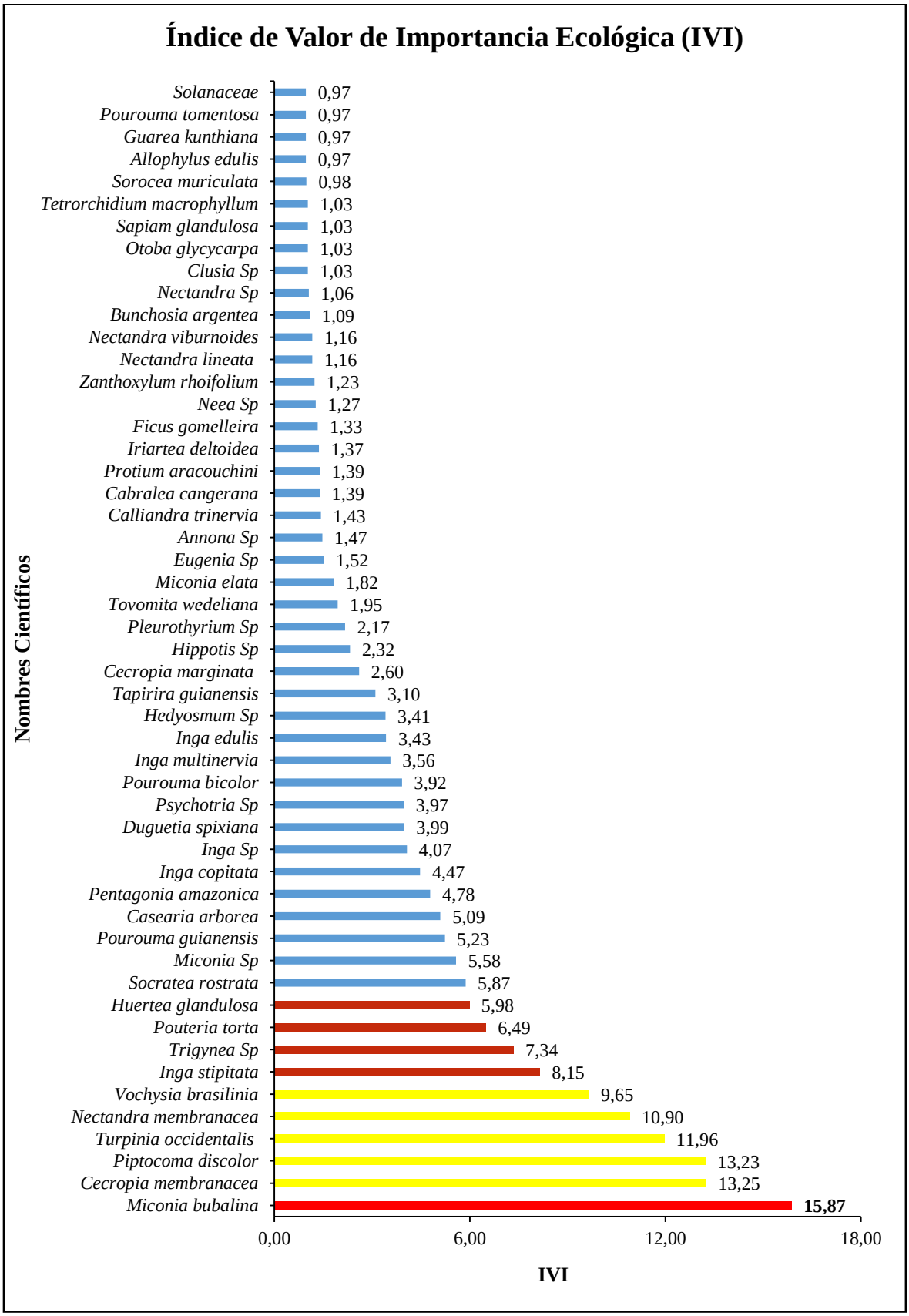
Niveles críticos para interpretar los análisis de suelos									
	Muy acido	**Acido**	**Medio Acido**	**Ligeramente Acido**	**Prácticamente Neutro**	**Ligeramente Alcalino**	**Medianamente Alcalino**	**Alcalino**	**Neutro**
pH	0,0<5,0	5,0-5,5	>5,5-6,0	>6,0-6,5	>6,5-7,5	>7,5-8,0	>8,0-8,5	>8,5	7,0
Elemt.	**Unidad**		**Bajo**	**Medio**	**Alto**	**Toxico**			
P	ppm		<10	10-20	>20				
K	Meq/100ml		<0,2	0,2-0,38	>0,38				
Ca	Meq/100ml		<2	2-5	>5				
Mg	Meq/100ml		<0,5	0,5-1,5	>1,5				
MO	%		<3	3-5	>5				
Al+H	Meq/100ml		<0,50	0,5-1,5	---	>1,5			
Al	Meq/100ml		<0,30	0,3-1.0	---	>1,0			

Fuente: (INIAP 2012)



Fuente: Autor 2019.

Anexo 4. Representación gráfica del IVIF perteneciente al bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo.



Fuente: Autor 2019.

Anexo 5. Representación gráfica del IVI de todas las especies, perteneciente al bosque secundario del Paseo turístico del río Puyo.

Anexo 6. Toma de muestras para los diferentes análisis en campo.

Anexo 6.1. Realización de Inventario forestal para el análisis de biodiversidad.

Anexo 6.2. Identificación de individuos en cada parcela.

Anexo 6.3. Toma de muestras compuestas para análisis químicos.

Anexo 6.4. Toma de muestras no alteradas para análisis físicos.

Anexo 6.5. Equipo colaborador en la toma de muestras en campo.

Anexo 7. Determinación de parámetros físicos de las muestras no alteradas.

Anexo 7.1. Preparación de las muestras no alteradas para los respectivos análisis.

Anexo 7.2. Montaje de material para determinar conductividad hidráulica saturada.

Anexo 7.3. Pesaje de muestras para determinar la porosidad total, de aireación y retención.

Anexo 7.4. Pesaje de muestras de hojarasca.

Anexo 8. Determinación de parámetros químicos de las muestras compuestas.

Anexo 8.1. Tamizado e ingreso de muestras.

Anexo 8.2. Determinación de pH.

Anexo 8.3. Determinación de acidez y aluminio intercambiable.

Anexo 8.4. Calcinación de muestras para determinar porcentaje de materia orgánica.

Anexo 8.5. Preparación de material para determinar nitrógeno total.

Anexo 8.6. Determinación del contenido de fósforo en las muestras.