

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA CARRERA DE
INGENIERIA AMBIENTAL**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL
SUELO BAJO USO CON BOSQUE PRIMARIO Y
SECUNDARIO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PUYO,
PROVINCIA DE PASTAZA”.**

AUTORES:

Jean Pierre Veròn Carrillo

Jeimy Tahìs Ulcuango Urrutia

DIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. CARLOS BRAVO, PhD.

PUYO – PASTAZA- ECUADOR, 2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscribimos, Nosotros, Jeimy Tahis Ulcuango Urrutia portadora de la cédula de identidad No. 160087979-3 y Jean Pierre Verón Carrillo portador de la cédula de identidad No. 171674426-1, hacemos constar que somos los autores del proyecto de investigación con el Título: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO BAJO USO CON BOSQUE PRIMARIO Y SECUNDARIO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA.”**, el cual constituye una elaboración personalizada únicamente con la dirección del asesor de dicho trabajo ,Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina. En tal sentido, se manifiesta la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de las conclusiones, dejando establecido que aquel aporte intelectual de otros autores se ha referenciado debidamente e el texto de dicho trabajo, a la vez cedemos los derechos de la Universidad Estatal Amazónica que pueda realizar publicaciones sobre la misma, así como su almacenamiento tanto en medio físico y electrónico.

En la ciudad de Puyo, 4 días del mes de FEBRERO del dos mil Diecinueve.

Jeimy Tahis Ulcuango Urrutia

1600879793

Jean Pierre Verón Carrillo

171674426-1

Dr. Carlos A. Bravo Medina, PhD.

1757015373

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Yo Carlos Alfredo Bravo Medina, con número de cédula 1757015373 certifico que los egresados Jeimy Tahis Ulcuango Urrutia y Jean Pierre Verón Carrillo realizaron el Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO BAJO USO CON BOSQUE PRIMARIO Y SECUNDARIO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA.”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental bajo mi supervisión.

Dr. Carlos A. Bravo Medina, PhD.

1757015373

DIRECTOR DEL PROYECTO

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO BAJO USO CON BOSQUE PRIMARIO Y SECUNDARIO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA.”**, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

.....
Dr. Carlos Bravo, PhD

DIRECTOR DE TESIS

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

.....
Dr. Yudel García Quintana PhD

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE TESIS

.....
Mc. Sc. Yamila Lazo.

.....
Mc. Sc. Fernando Cofre.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE TESIS

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento profundo a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta investigación:

A Dios, por darnos las fuerzas y sabiduría suficiente para salir adelante, a nuestros padres que siempre nos han apoyado en todas las decisiones, brindándonos de su confianza y compartiéndonos sus sabios consejos, que nos permitió cumplir con esta meta.

A la Universidad Estatal Amazónica, Carrera de Ingeniería Ambiental, de manera particular a los docentes que impartieron en nosotros sus conocimientos, mismos que han contribuido a la formación académica de esta honorable profesión.

De manera muy particular a nuestro tutor Dr. Carlos Bravo y al Ing. Daniel Paguay profesionales en todo sentido de la palabra, quien sin importar ocupación laboral, actividades personales, tiempo de descanso nos brindaron prioridad absoluta en cada una de las etapas de nuestro proyecto de investigación de todo corazón muchas gracias.

Tahis y Jean

DEDICATORIA

Este objetivo va dedicado a mis padres Julio Verón y Blanca Carrillo que siempre estuvieron conmigo incondicionalmente brindándome su amor y apoyo incondicional que fueron guía, pilar fundamental, ejemplo a seguir de constancia, empeño y responsabilidad, por motivarme a perseguir mis sueños y nunca rendirme valoro inmensamente todo el sacrificio que han hecho por mí, a mi hermana Paola Hidalgo y mi sobrino que son una parte muy importante en mi vida ya que siempre he contado con su respaldo y cariño.

Jean Verón

Al Culminar una etapa más en mi vida profesional quiero dedicar este triunfo a Dios por inspirarme en todo momento dándome claridad de pensamiento, fe y esperanza. A mis familiares, especialmente a mi hermano Braulio Ulcuango y a mi madre Mirta Urrutia por guiarme en el sendero de la vida, apoyarme, aconsejarme y darme ánimo para no decaer, por ser mis alas que me permitieron volar al éxito a ustedes que jamás me dieron la espalda, más bien siempre tuvieron las mejores palabras para motivarme cuando creí estar derrotado, sin ustedes este logro no hubiese sido posible. Porque sé que mi sueño era el suyo también, y su amor el estímulo que me ayudó a lograrlo. El logro hoy alcanzado es también de ustedes.

Tahis Ulcuango

Resumen

Este estudio se realizó en la microcuenca del río Puyo ubicada en la provincia de Pastaza con el objetivo de evaluar la calidad físico química de su suelo bajo uso con bosque primario y secundario con diferente gradiente altitudinal (Zona alta y baja). En cada uso se estableció cinco transectos con tres puntos de muestreo (P1, P2 y P3) distribuidos de manera equidistante en la zona del muestreo, cada punto contenía una subparcela de 10 x 10 m, en la cual se recolectaron cinco submuestras homogenizadas de suelo a dos profundidades de 0-10 cm y 10-30 cm para el análisis de los parámetros químicos, en la parte central de la subparcela se ejecutó la toma de muestras no alteradas con un barreno tipo Uhland a tres profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm para evaluación de parámetros físicos. La caracterización física y química en los dos usos de suelo y zonas estudiadas mostró suelos con óptimas condiciones físicas reflejadas por los índices estructurales con baja Densidad aparente (D_a), alta Conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) y adecuada distribución de la Porosidad total (P_t), Porosidad de aireación (P_a) y Porosidad de retención (P_r), mientras que las propiedades químicas registro suelos con pH ácido, presencia de aluminio intercambiable (Al^{+3}), con baja disponibilidad de Fósforo (P) y bases intercambiables Potasio, Calcio y Magnesio (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). El índice de calidad del suelo (ICS) fue ligeramente similar en ambos usos y gradiente altitudinal, el cual osciló de moderada calidad (MC) a alta calidad (AC).

Palabras claves: Propiedades del suelo, fertilidad, calidad del suelo, uso de tierra.

Summary

This study was conducted in the Puyo river basin located in the province of Pastaza with the objective of evaluating the physical and chemical quality of their land under use with primary and secondary forest with different altitudinal gradients (high and low zone). In each use, five transects were established with three sampling points (P1, P2 and P3) distributed equidistantly in the sampling area, each point containing a subplot of 10 x 10 m, in which five homogenized soil sub-samples were collected. at two depths of 0-10 cm and 10-30 cm for the analysis of the chemical parameters, in the central part of the sub-plot the sampling of undisturbed samples was carried out with a Uhland-type drill at three depths of 0-10, 10-20 and 20-30 cm for evaluation of physical parameters. The physical and chemical characterization in the two land uses and zones studied showed soils with optimal physical conditions reflected by the structural indexes with low apparent density (D_a), high saturated hydraulic conductivity (K_{sat}) and adequate distribution of total porosity (P_t), Porosity of aeration (P_a) and Porosity of retention (P_r), while the chemical properties record soils with acidic pH, presence of interchangeable aluminum (Al^{+3}), with low availability of phosphorus (P) and interchangeable bases Potassium, Calcium and Magnesium (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). The soil quality index (SCI) was slightly similar in both uses and altitudinal gradient, which ranged from moderate quality (MC) to high quality (AC).

Keywords: Soil properties, fertility, soil quality, land use

TABLA DE COTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. PROBLEMA	15
1.2. HIPÓTESIS	15
1.3. OBJETIVOS	15
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.1 . Aspectos generales del recurso suelo	16
2.1.1. Suelos aluviales Amazónicos	16
2.1.2. Clasificación del suelo de Pastaza según su calidad	17
2.1.3. Degradación del suelo	18
2.2. Calidad del suelo y sus indicadores	19
2.2.1. Impacto de cambio de uso de suelo en los ecosistemas	20
2.2.2. Indicadores físicos	22
2.2.3. Indicadores químicos	22
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.1 LOCALIZACIÓN	24
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	28
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	28
3.3.1. Análisis de varianza ANOVA y comparación de medias de Turkey	29
3.3.2. Matriz de correlación de Speerman	29
3.3.3. El método de investigación	29
3.3.1 Muestreo de campo	30
3.4. MEDICIONES EXPERIMENTALES:	31
3.4.1. Análisis Físicos	31
3.4.2. Análisis Químicos	31
3.5. OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL SUELO.	32
3.6. RECURSOS HUMANOS	35
3.6.1. Materiales	35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS ESPERADOS	36
4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA-QUÍMICA DEL SUELO BAJO DISTINTOS USOS DE TIERRA.	36
4.2. PARÁMETROS FÍSICOS	36
4.3. PARÁMETROS QUÍMICOS	47
4.4. MATRIZ DE CORRELACIONES	63

4.5. ÍNDICE DE CALIDAD FÍSICO- QUÍMICO	72
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
Conclusiones	80
Recomendaciones	81
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA	82
CAPÍTULO VI. ANEXOS	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas Zona alta.....	14
Tabla 2. Coordenadas geográficas Zona baja.....	15
Tabla 3. Niveles críticos para interpretación de parámetros físicos.....	19
Tabla 4. Rango de interpretación de pH.....	20
Tabla 5. Rango de interpretación para parámetros químicos.....	20
Tabla 6. Indicadores de calidad de suelos, unidades de medida, valores máximos y mínimos, definidos según el tipo de uso de la tierra.....	21
Tabla 7. Clases de calidad de suelo.....	22
Tabla 8. Análisis de correlaciones de las variables físicas- químicas del suelo Zona alta de 0-10 cm.....	53
Tabla 9. Análisis de correlaciones de las variables físicas- químicas del suelo Zona baja de 0-10 cm.....	55
Tabla 10. Análisis de correlaciones de las variables físicas- químicas del suelo Zona alta de 10-30 cm.....	57
Tabla 11. Análisis de correlaciones de las variables físicas- químicas del suelo Zona baja de 10-30 cm.....	59
Tabla 12. Índice de calidad físico y químico del suelo bajo diferentes usos de tierra en la Zona alta.....	62
Tabla 13. Índice de calidad físico y químico del suelo bajo diferentes usos de tierra en la Zona baja.....	64
Tabla 14. Índice de calidad físico y químico del suelo bajo diferentes usos de tierra en la Zona alta.....	66
Tabla 15. Índice de calidad físico y químico del suelo bajo diferentes usos de tierra en la Zona baja.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.....	12
Figura 2. Ubicación de la Zona alta en la microcuenca del río Puyo.....	13
Figura 3. Ubicación de la Zona baja en la microcuenca del río Puyo.....	15
Figura 4. Modelo de muestreo sistemático para el estudio de suelo.....	18
Figura 5. Valores promedio de la densidad aparente del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario	26
Figura 6. Valores promedio de la conductividad hidráulica saturada del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario.....	28
Figura 7. Porcentaje de la porosidad total del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario	30
Figura 8. Porcentaje de la porosidad de aireación del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario	32
Figura 9. Porcentaje de la porosidad de retención del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario	34
Figura 10. Valores promedio del pH del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario	36
Figura 11. Valores promedio de la acidez del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario	38
Figura 12. Valores promedio de aluminio del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario	40
Figura 13. Valores promedio de materia orgánica del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario	42
Figura 14. Valores promedio del fósforo del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario	44
Figura 15. Valores promedio de potasio del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario	46

Figura 16. Valores promedio de calcio del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario	48
Figura 17. Valores promedio de magnesio del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario	50

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La región Amazónica ecuatoriana cuenta con una extensión territorial de 116.588,10 km², (López *et al.*, 2013). Representando la Región natural más grande del Ecuador con aproximadamente el 45% del territorio nacional. Sus límites están marcados por la Cordillera de los Andes en la parte occidental de esta región, mientras que Perú y Colombia el límite meridional y oriental, respectivamente. La temperatura anual promedio oscila dependiendo el piso climático entre los 15 °C y 40 °C (Buestán, 2013). El ecosistema amazónico por sus bosques naturales y la biodiversidad que presenta se constituye un ecosistema de gran interés local y global (Bravo *et al.*, 2015).

La deforestación constituye uno de los problemas más importantes que amenazan la conservación del patrimonio natural del Ecuador, comprometiendo así la biodiversidad, los recursos hídricos, el suelo y potenciando la vulnerabilidad en el país a deslizamientos e inundaciones que pueden generar importantes pérdidas económicas y sociales (Samaniego *et al.*, 2015). El aumento de la población genera la modificación del uso de suelo disminuyendo los bosques del mundo, provocando que las áreas forestales se conviertan en agricultura, silvicultura y pastizales, lo cual desde 1990 se ha perdido 129 000 000 ha de bosque. La degradación produce la pérdida de la capacidad productiva del suelo, afectando a más de 20% de tierras agrícolas, 30% de los bosques y el 10% de los pastizales (Sarandon & Flores, 2014).

Entre las provincias de la región amazónica, Pastaza es la que ocupa una mayor superficie la cual cuenta con una extensión de 29,773 Km², donde 430 mil hectáreas de tierra son utilizadas para usos agropecuarios y afines, la existencia de montes y bosques que ocupan el 81% de la superficie, que corresponde a la selva amazónica inexplorada e inexplorada seguida de pastos cultivados con el 15% y apenas el 3% con cultivos permanentes (MCPEC, 2011).

Bajo este contexto, se ha señalado que la región amazónica que representa cerca el 50% del territorio del Ecuador, es una de las zonas con mayor biodiversidad, con una gran riqueza de recursos naturales y que forma parte del llamado “pulmón de la tierra, donde se cumple gran parte del ciclo del carbono crucial para la ecología del planeta y el clima (Bravo *et al.*, 2017).

Los ríos alto andinos tropicales están amenazados por numerosas actividades humanas entre las que se incluyen aquellas derivadas del cambio de la cobertura y uso del suelo de la cuenca

de drenaje debido a la agricultura, ganadería, urbanismo, construcción de embalses, minería, urbanismo, drenaje de aguas residuales, entre otros (Jacobsen, 2008). Todas estas actividades alteran seriamente el hábitat físico y la calidad del agua, y de este modo afectan tanto los componentes estructurales (patrones espacio temporales de las comunidades biológicas y sus recursos) como funcionales (procesos del ecosistema) de la integridad ecológica de estos ecosistemas fluviales (Encalada *et al.*, 2010).

A pesar de que los ecosistemas, así como los bosques tropicales, son el “pulmón del planeta” algunas personas no tienen consideración, ni estiman el daño que hacen al planeta con la deforestación de estos bosques, especialmente en tierra amazónica, a pesar que se conoce que es un ecosistema muy frágil y con un delicado equilibrio (Bravo *et al.*, 2017).

El avance de la deforestación, no solo afecta su biodiversidad, sino que afecta todos los subcomponentes del ecosistema en especial el recurso suelo que acelera la descomposición de la materia orgánica, afectando sus propiedades físicas, químicas y biológicas. También la pérdida de árboles, que retienen el suelo con sus raíces, provoca que la erosión siga avanzando contribuyendo a minimizar sus funciones y al deterioro de la calidad del suelo (Meli *et al.*, 2013).

Los bosques tropicales de la microcuenca del río Puyo no se encuentran exentos a estos problemas, ya que están amenazados por numerosas actividades humanas debido al aprovechamiento de los recursos naturales principalmente por la extracción de recursos forestales los cuales están constituyendo parte del sustento económico de las poblaciones aledañas a estas zonas, es notable la alteración y fragmentación de estos ecosistemas, así como los deslizamientos y cambios en el uso del suelo debido a la pérdida de cobertura vegetal. Por lo que fue necesario evaluar la calidad de las propiedades físico químicas del cambio de uso de suelo del bosque primario y secundario en la microcuenca del río Puyo.

El conocimiento de la calidad físico química del suelo bajo uso con bosque primario y secundario en la microcuenca del río Puyo, provincia de Pastaza aporta al recurso suelo, como una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el manejo y uso del suelo, su estudio se realizó de forma particular, según las condiciones de cada bosque de tal forma que permitió evaluar la calidad físico química del suelo bajo uso con bosque primario y secundario en la microcuenca del río Puyo. Esto permitió identificar el siguiente problema de investigación:

1.1. PROBLEMA

¿Cómo influye el cambio de uso de la tierra del bosque primario a secundario en las propiedades físico-química del suelo como indicadores de su calidad en la microcuenca del río Puyo?

1.2. HIPÓTESIS

Los cambios en el uso de la tierra pueden afectar en gran medida la calidad de las propiedades físicas y químicas del suelo bajo uso con bosque primario y secundario en la microcuenca del río Puyo, provincia de Pastaza.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la calidad físico-química del recurso suelo bajo uso con bosque primario y secundario en la microcuenca del río Puyo, provincia de Pastaza.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo bajo uso de la tierra con bosque primario y bosque secundario en la microcuenca del río Puyo.

Comparar las propiedades físicas y químicas del suelo medidas bajo dos usos de tierra con bosque primario y bosque secundario en la microcuenca del río Puyo.

Determinar el índice de calidad del suelo en el uso de tierra con bosque primario y bosque secundario en la microcuenca del río Puyo.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 . Aspectos generales del recurso suelo

El suelo es un componente esencial del ambiente en el que se desarrolla la vida; es vulnerable, de difícil y larga recuperación (tarda desde miles a cientos de miles de años en formarse), y de extensión limitada, por lo que se considera un recurso natural no renovable (Arroyave, 2012).

El suelo es un sistema vivo, dinámico y no renovable, cuya condición y funcionamiento es clave para la producción de alimentos y para el mantenimiento de la calidad ambiental a escalas local, regional y global (Gliessman, 2007). Sin embargo, son muchas las definiciones adoptadas para definir el suelo, ya que el concepto de este varía dependiendo del enfoque del observador. En este sentido como señala (Casanova, 2005) los agrónomos pueden concebir este recurso como el medio para el desarrollo de las plantas, los geólogos lo consideran como el material superficial de la corteza terrestre, siendo el estado intermedio entre el ciclo de la erosión de la roca hasta convertirse en sedimento, los químicos consideran el suelo como el recipiente en el cual el material mineral ha sido puesto por fuerzas y agentes naturales y dentro del cual los fertilizantes se vierten para proveer nutrientes a las plantas. Los ecologistas lo consideran parte del medioambiente que es condicionado por los organismos y a su vez ejerce una influencia sobre estos (Gliessman, 2007). Para los arqueólogos y antropólogos el suelo es uno de los tantos registros del pasado y los artistas y filósofos consideran al suelo símbolo de belleza, mezcla de fuerzas, misticismo, vida y muerte, ya que ven el suelo como el principal componente de la madre tierra (Buol *et al.*, 1989).

En resumen, como señala, (Loaiza, 2010) el suelo es un cuerpo natural, un ser vivo que está sujeto a la acción de los factores formadores (clima, organismos, material parental, tiempo y relieve) y como todo ser vivo nace, crece, se reproduce y muere, en escalas temporales mayores a la humana, por lo tanto, es también un recurso no renovable.

2.1.1. Suelos aluviales Amazónicos

Los suelos del medio fluvial pueden ser: a) suelos fluviales minerales, en su mayoría suelos aluviales de la región Costa y una gran parte de los suelos de la Amazonia. Se pueden dividir en

conjuntos dependiendo del grado de saturación del complejo de intercambio y de la textura; o b) suelos fluviales orgánicos, ubicados en zonas deprimidas, principalmente en la Amazonía, donde el humedecimiento constante de los perfiles permite la acumulación de restos vegetales parcialmente descompuestos. Son suelos hidro-mórficos orgánicos, raramente minerales y con gley. El horizonte orgánico está constituido por materiales fibrosos de espesor considerable (hasta 2 m), es muy ácido (pH de 4.5), pobre en bases y de saturado (5%). Los horizontes minerales más profundos son gleyificados, francos o franco-arcillosos, fluidos o plásticos, moderadamente ácidos (pH de 5.7), ricos en bases y saturados (50-90%) (Espinoza *et al.*, 2016).

2.1.2. Clasificación del suelo de Pastaza según su calidad

El GADPPz (2012) puntualiza que en la provincia de Pastaza los suelos se clasifican en:

Orden inceptisoles: Este tipo de suelos se caracteriza por un desarrollo muy incipiente, lo que da lugar a la formación de horizontes alterados, son considerados poco maduros en su evolución. Su característica de uso de igual manera es muy variada desde la protección total, agroforestería y uso agrícola muy restringido. Y cubren la mayor parte de la provincia con 2. 240.493 ha. que corresponden al 77,06 % del total de la provincia.

Orden oxisoles: Son suelos con grado avanzado de intemperización, en donde predominan los procesos de transformación y pérdida por lavado, conteniendo así una baja fertilidad y una baja retención de humedad y alta permeabilidad. Cubren un área aproximada de 610.806 ha. que corresponden al 21,01 % del total de la provincia.

Orden entisoles: Son suelos que tienen muy poca o ninguna evidencia de formación o desarrollo de horizontes pedogénicos. Hay muchas razones por las cuales no se han formado horizontes, en mucho de los suelos el desarrollo ha sido muy corto, otros se encuentran sobre fuertes pendientes sujetas a erosión, condiciones que no permiten el desarrollo del suelo. Cubren un área aproximada de 9.879 ha. que corresponden al 0,34 % del total de la provincia.

Orden histosoles: Unidad compleja cuyos suelos se han desarrollado sobre zonas que se encuentran siempre anegadas, pantanosas que han sido formados por antiguos meandros. El pH

del agua es fuerte a ligeramente ácido. Son muy localizados alcanzando las 8.210 ha. que corresponden al 0,28 % del total provincial.

2.1.3. Degradación del suelo

Por degradación de suelos se ha señalado a los procesos inducidos por el hombre que disminuyen la capacidad actual y/o futura del suelo para sostener la vida humana (Oldeman, 1998).

Al respecto se ha destacado que la degradación de suelos es el principal factor que atenta contra la sostenibilidad de la utilización agrícola de las tierras en todo el mundo, lo que conduce a crecientes dificultades para producir los requerimientos de alimentos y fibras para su creciente población (Pla, 2010).

Como efectos indirectos de la degradación de suelos y agua, se presentan riesgos crecientes de inundaciones, sedimentaciones, deslizamientos de tierra, etc., con características a veces catastróficas, así como disminución de la biodiversidad, deterioro de la suplencia de agua en cantidad y calidad, y efectos en cambios climáticos globales y sus consecuencias (Pla, 2010).

Otros autores destacan, que la degradación de los suelos producida por la tala indiscriminada e introducción de la ganadería que conlleva a la erosión, pérdida de la biodiversidad en cultivos y especies autóctonas de la región, ha inducido un desequilibrio donde prevalecen los insectos dañinos, la situación climática tan agresiva, unido al desconocimiento técnico lo que ha propiciado que una gran cantidad de pequeños productores abandonen la siembra de cultivos debido a los rendimientos cada vez más bajos, la mala calidad de los productos y el encarecimiento de los costos de producción (Martín & Pérez, 2009).

En resumen, como señala Pla, 2010 la degradación de tierras depende en parte de las características de suelos y clima, pero se debe fundamentalmente a un uso y manejo no apropiados de los recursos suelo y agua. El agua es el principal factor causante de la degradación de suelos, pero a su vez es el recurso más afectado por dicha degradación. Uno de los principales efectos de la degradación de suelos es la pérdida de capacidad de los suelos para regular el régimen hídrico tanto a nivel local como de cuencas hidrográficas, lo cual afecta negativamente la suplencia regular de agua, en cantidades adecuadas, para usos agrícolas, urbanos e industriales.

2.2. Calidad del suelo y sus indicadores

La calidad de suelo está relacionada con diversos aspectos, que incluye desde el origen y procesos de formación de suelo, características edafoclimáticas, topográficas, pero principalmente por el manejo que se realice de este recurso, puesto que dependiendo de los las prácticas agrícolas que se apliquen, los tipos de insumos para control de poblaciones, y las tecnologías usadas en la producción agropecuaria influyen de manera significativa en la calidad de los cultivos y la salud de los suelos.

Bajo este contexto, la calidad del suelo se define como su capacidad para funcionar dentro de un ecosistema natural o antrópico; para sostener o mejorar la productividad animal o vegetal; para mantener y controlar la calidad ambiental, y para soportar la habitabilidad y salud del hombre (Doran & Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 2001; Bone *et al.*, 2010).

Dicha calidad depende de un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales, de acuerdo con su variabilidad espacial y temporal, sensibilidad a cambios de uso y manejo del suelo, clara discriminación entre los sistemas de manejo, rápida respuesta al cambio y facilidad en su interpretación y ejecución, pueden ser utilizadas como indicadores de calidad (Vallejo, 2013).

Dado que la calidad del suelo se asocia a las funciones que este recurso puede proporcionar, se ha destacado que las mismas se puede enumerar de la siguiente manera (Bravo *et al.*, 2017; McBratney *et al.*, 2014):

- a) Sostener la actividad biológica, diversidad y productividad del sistema, es decir hábitat biológico y reserva de muchas plantas y organismos en peligro de extinción.
- b) Regular y participar en los flujos de agua y solutos.
- c) Filtrar, amortiguar, degradar e inmovilizar materiales contaminantes.
- d) Almacenar y ciclar nutrientes y otros elementos.

- e) Proveer soporte para las estructuras socioeconómicas y protección de tesoros arqueológicos asociados con los humanos.
- f) Elemento de nuestra herencia cultural que contiene restos paleontológicos y arqueológicos importantes para conservar la historia de la tierra y de la humanidad.

2.2.1. Impacto de cambio de uso de suelo en los ecosistemas

Como ha sido señalado, la deforestación es uno de los principales impulsores del cambio de uso de la tierra en bosque tropicales y en especial de la Amazonía ecuatoriana hacia sistemas ganaderos o agrícolas afectando diversos recursos y en especial algunas de las funciones del suelo relacionadas con su fertilidad (Bravo *et al.*, 2017). En base a ello los parámetros deben ser identificados y cuantificados en cada ambiente en particular para poder documentar los cambios que se suceden en el corto y largo plazo, como consecuencia de las prácticas de manejo que se aplican. En ambientes tropicales o subtropicales, frágiles por naturaleza, la determinación y el seguimiento de estos indicadores es fundamental para comprender el funcionamiento del sistema suelo y así poder definir las estrategias más adecuadas para mantener la productividad del sitio en las sucesivas rotaciones (Dávila *et al.*, 2009).

Los bosques juegan un papel integral en el suministro de agua de calidad para distintos usos, y también en estabilizar y proteger los suelos de la erosión (Blanco, 2017). La mayoría del agua dulce mundial se proporciona a través de cuencas arboladas, y los bosques protegen muchos embalses y presas del colmatado por sedimentos. Además, los bosques protegen las aguas subterráneas de contaminantes por medio de la labor filtrante de los suelos forestales (FAO, 2009).

Para suelos en la región amazónica se ha señalado que los factores de mayor contribución con un 70,54 % a la variación de la fertilidad está afectada principalmente por el piso climático, la profundidad, algunos indicadores físicos y químicos como la densidad aparente, porosidad total, porosidad de retención, pH, COT, N, P, K, B, Zn (Bravo *et al.*, 2017).

Esto investigadores concluyen que los indicadores estructurales de los suelos evaluados como la densidad aparente, la distribución de tamaños de poros y la conductividad hidráulica saturada sugieren una adecuada fertilidad física, que puede variar de acuerdo al tipo de uso de la tierra, localidad y profundidad.

Por otra parte, en suelos de la región central amazónica de Brasil sometidos a distintos estados de restauración, la densidad aparente, el nitrógeno total, K y P fueron los parámetros más sensibles para diferenciar zonas restauradas y degradadas con respecto al suelo de referencia (Bosque), lo cual se reflejó en un alto valor de correlación (>de 0.70) entre dichas variables (Viana *et al.*, 2014; citado por Bravo *et al.*, 2017).

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

El uso insostenible de los suelos en el área deforestada en la frontera de la Amazonía, es una de las mayores amenazas para la selva tropical. Entre las causas de la degradación de los suelos en los trópicos húmedos se encuentran el agotamiento del fósforo (P), la disminución de la materia orgánica del suelo (SOM) y la pérdida de cationes básicos (Bravo *et al.*, 2016).

La baja fertilidad química y acidez de los suelos en la RAE sugiere que un cambio de uso de la tierra de bosque a sistemas agrícolas y/o pecuarios implica la aplicación de nutrientes y enmiendas para satisfacer la demanda de los cultivos, por lo cual, si se quiere fomentar un cambio en la matriz productiva, el enfoque de sistemas agroforestales o silvopasturas es una vía hacia la sostenibilidad (Bravo *et al.*, 2017).

La identificación de los posibles usos de la tierra para la captura de carbono y la mejora de las condiciones estructurales del suelo, puede restaurar la funcionalidad y la productividad del recurso suelo. Estos servicios ambientales pueden revertir la degradación debida a los cambios en el uso de la tierra, disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera y aumentar la captación de agua del suelo como medidas correctivas para el calentamiento global (Bravo *et al.*, 2016).

Una manera de diagnosticar el estado del ecosistema es la construcción de indicadores de que permitan conocer de manera particularizada, las necesidades de manejo de cada sistema, con miras a mantener o mejorar la productividad, reducir riesgos e incertidumbre, aumentar los servicios ecológicos y socioeconómicos, proteger la base de recursos y prevenir la degradación de suelos, agua y biodiversidad, sin disminuir la viabilidad económica del sistema (Altieri y Nichols, 2013). Los indicadores permiten monitorear y hacer un diagnóstico a futuro y

constituyen una herramienta para agregar y simplificar la información de naturaleza disímil de una forma útil y ventajosa.

Se han venido generando una serie de indicadores de calidad de suelo, que como señalan (Astier, 2000) se conciben como una herramienta de medición que debe ofrecer información sobre las propiedades, los procesos y las características de los suelos. Tales indicadores se dividen en (Bautista *et al.*, 2004 y Astie, 2002):

2.2.2. Indicadores físicos

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000). Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad.

2.2.3. Indicadores químicos

Indicadores químicos Los indicadores químicos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos (SQI, 1996). Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrimentos, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable.

2.2.4. Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de microorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Incluyen funciones como la tasa de respiración, ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana (SQI, 1996; Karlen *et al.*, 1997). Como la biomasa microbiana es mucho más sensible al cambio que el C total se ha propuesto la relación C microbiano: C orgánico del suelo para detectar cambios tempranos en la dinámica de la materia orgánica (Sparling, 1997).

2.3. Ecosistemas de bosque y su ambiente

2.3.1. Generalidades de los bosques naturales y las cuencas amazónicas

Los bosques nativos de la Amazonía son declarados como los ecosistemas terrestres con la mayor riqueza de especies arbóreas a nivel mundial, con múltiples beneficios directos e indirectos como fuente de recursos maderables y no maderables (Colin, 2015).

Un bosque primario es aquel que solo ha sido alterado de forma temporal por factores antropogénicos, donde la riqueza de especies es demasiado alta y la abundancia de la mayoría es baja (Lamprecht, 1990). Para que un territorio forestal pueda ser considerado como primario debe de ser lo suficientemente extenso como para garantizar la supervivencia de poblaciones viables de todos los seres vivos, incluidas especies migratorias, sin verse afectados por la acción humana. Sin embargo, los bosques primarios, tienden a ser biológicamente más variados que otros paisajes terrestres y realizan ayudas significativas al funcionamiento más amplio del ecosistema. Generalmente los bosques secundarios se desarrollan de forma natural mediante la sucesión secundaria en tierras abandonadas después del cultivo migratorio, el asentamiento de la agricultura, los pastizales o después del fracaso de las plantaciones de árboles. El bosque secundario se caracteriza generalmente por tener una estructura de dosel menos desarrollada, árboles más pequeños y una menor diversidad.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio comprendió la Zona alta y baja de un bosque Siempre Verde Piemontano de la microcuenca del río Puyo, (Figura 1). según clasificación ecológica para la Amazonía ecuatoriana (MAE, 2012).

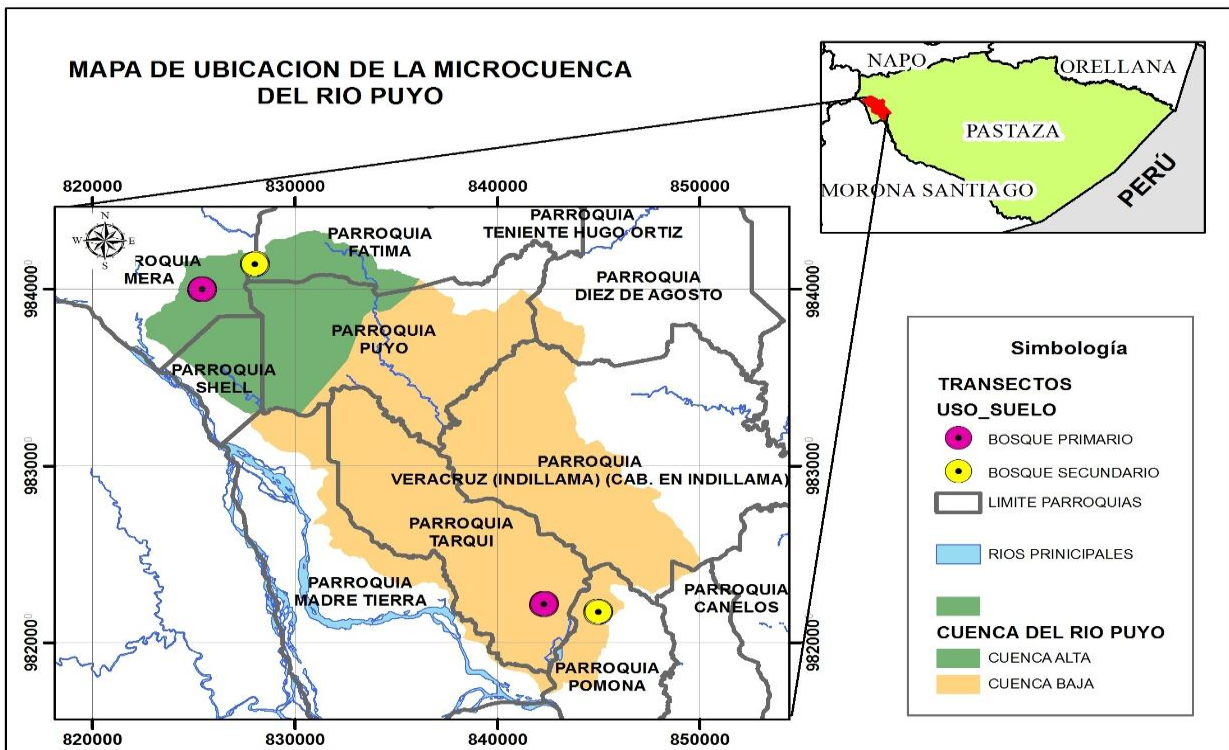


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

Elaborado por: Ulcuango y Verón (2018).

ZONA ALTA

Ubicada dentro de la demarcación hidrográfica del río Puyo donde se encuentra la captación de agua de la Estación Biológica Pindo Mirador, en áreas de las estribaciones de la colonia 24 de mayo de la parroquia Mera, dentro de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Llanganates. En base a los límites políticos-administrativos el territorio hídrico de la microcuenca se localiza en diez parroquias, de las cuales dos son urbanas y ocho rurales, cubriendo una longitud total de 44 km y un área de 35.335,05 ha. En la microcuenca del río

Puyo se encuentran asentados los dos centros más poblados de la provincia de Pastaza, Puyo y Shell con cerca de 45.000 habitantes (INEC, 2010).

Las condiciones bioclimáticas predominantes del área de estudio corresponden a un clima tropical mega térmico húmedo, con una temperatura media anual de 21,3°C y una precipitación anual de 4119 mm. La precipitación más baja ocurre de enero a abril, mientras que la más alta ocurre de mayo a julio, la humedad relativa es de 84% y una altitud promedio de 1100 msnm (INAMHI, 2014).

Los límites de la Zona alta de la microcuenca del río Puyo son:

- Norte: Santa Clara
- Sur: Shell
- Este: Fátima y Teniente Hugo Ortiz
- Oeste: Parque Nacional Llanganates.

Mapa de ubicación de parcelas en la Zona alta de la microcuenca del río Puyo (Figura 2).

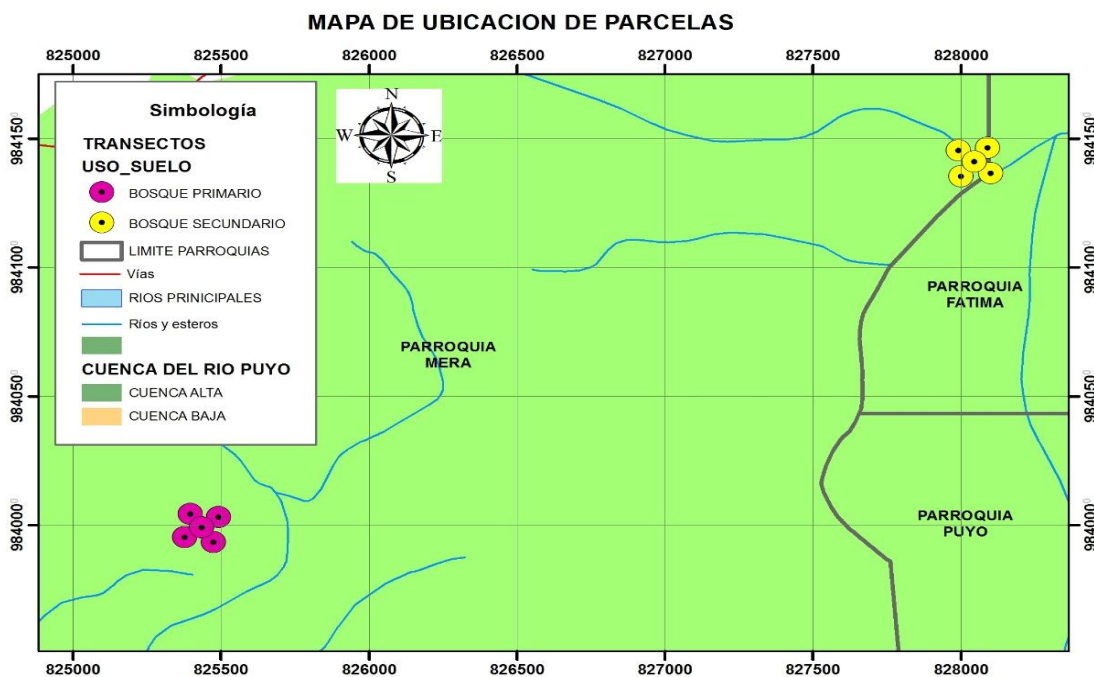


Figura 2. Ubicación de la Zona alta en la microcuenca del río Puyo.

El área de estudio se instaló en las siguientes coordenadas geográficas (Tabla 1).

Tabla 1. Coordenadas geográficas Zona alta

USO_SUELO	UBICACIÓN	ALTITUD	TRANSECTO	PUNTO X	PUNTO Y
BOSQUE PRIMARIO	ESTACIÓN	1100 msnm	T1	825378	9839952
	BIOLÒGICA		T2	825396	9840044
	PINDO		T3	825491	9840031
	MIRADOR		T4	825476	9839934
			T5	825435	9839990
BOSQUE SECUNDARIO	PUYUYACU MERA	1100 msnm	T1	827991	9841455
			T2	828091	9841466
			T3	828102	9841366
			T4	828001	9841355
			T5	828046	9841411

ZONA BAJA

La parroquia Pomona pertenece a la provincia de Pastaza, Cantón Puyo la misma que cuenta con un clima cálido húmedo, oscila entre los 17° C y 24° C de temperatura y una altitud promedio de 850 msnm, tiene una alta pluviosidad durante casi todo el año, entre 4.000 y 5.000 mm al año, por lo tanto, el escurrimiento es alto y buena parte del agua se queda retenida en el suelo desde donde vuelve a la atmósfera por el fenómeno de la evapotranspiración.

Los límites de la Zona baja de la microcuenca del río Puyo son:

- **Norte:** Parroquia Veracruz
- **Sur:** Provincia de Morona Santiago.
- **Este:** Parroquia Simón Bolívar.
- **Oeste:** Parroquias Tarquí y Madre Tierra.

Mapa de ubicación de parcelas en la Zona baja de la microcuenca del río Puyo (Figura 3).

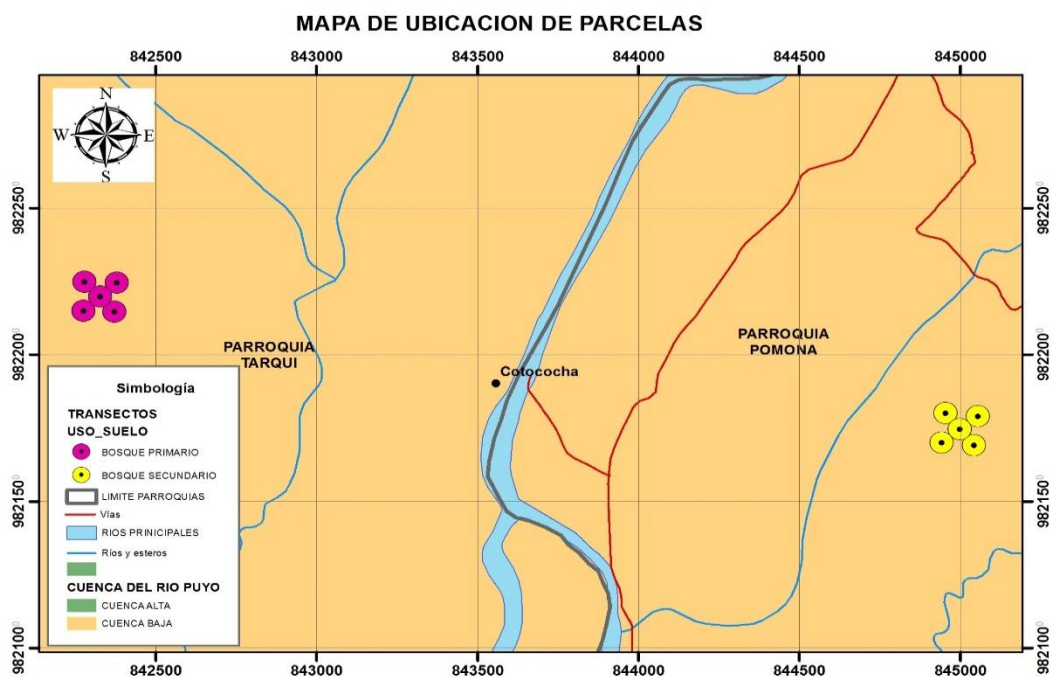


Figura 3. Ubicación de la Zona baja en la microcuenca del río Puyo.

El área de estudio se instaló en las siguientes coordenadas geográficas (Tabla 2.)

Tabla 2. Coordenadas geográficas Zona baja

USO_SUELO	UBICACIÓN	ALTITUD	TRANSECTO	PUNTO X	PUNTO Y
BOSQUE PRIMARIO	COMUNIDAD COTOCOCHA	850 msnm	T1	842277	9822149
			T2	842280	9822249
			T3	842380	9822245
			T4	842373	9822146
			T5	842329	9822197
BOSQUE SECUNDARIO	SECTOR LA ESPERANZA	850 msnm	T1	844955	9821800
			T2	845055	9821790
			T3	845043	9821690
			T4	844943	9821699
			T5	844999	9821746

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación que se aplicaron en el proyecto pertenecen a experimental, correlacional y descriptiva.

3.2.1. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

La investigación tiene su enfoque experimental ya que se realizaron algunas pruebas físicas y químicas donde se manipulo variables como la temperatura, humedad y peso en las muestras obtenidas para medir y verificar el comportamiento del suelo en varias condiciones específicas.

3.2.2 INVESTIGACIÓN CORRELACIONAL

La investigación pretendió demostrar cómo influyen los diferentes usos del suelo actividades en las propiedades físico químicas del suelo y el grado de afectación de dichas actividades necesarias para el desarrollo humano.

3.2.3. INVESTIGACION DESCRIPTIVA

La investigación describió cuáles son las cualidades, propiedades y comportamiento del suelo en la Zona alta y baja de la microcuenca del río Puyo en la provincia de Pastaza, bajo uso de suelo primario y secundario, donde se estableció similitudes y diferencias de la calidad del suelo, cumpliendo con los objetivos planteados en el proyecto de investigación.

3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para la investigación se recopiló información general y específica de todo lo asociado al cambio que tiene el uso del suelo, para lo cual se utilizó las siguientes pruebas a través de un paquete estadístico SPSS versión 21, (2012), mientras que para la extracción de muestras de campo hacia el laboratorio se siguió la metodología propuesta por (Bravo *et al.*, 2017).

Las pruebas estadísticas realizadas en el estudio fueron las siguientes:

3.3.1. Análisis de varianza ANOVA y comparación de medias de Turkey

Estos análisis estadísticos se utilizaron para establecer diferencias de los valores promedio de los parámetros físico químicos entre bosque primario y secundario en las gradientes altitudinales donde se efectuó el muestreo.

3.3.2. Matriz de correlación de Speerman

Esta matriz se empleó para evaluar las relaciones más importantes de los diferentes parámetros físicos y químicos y así establecer los índices de calidad del suelo.

3.3.3. El método de investigación

Fue hipotético – deductivo ya que planteamos una hipótesis la cual posteriormente después de varios muestreos y análisis de carácter físico y químico se buscó afirmar o refutar dicha hipótesis además de obtener varias conclusiones.

3.3.1 Muestreo de campo

- a) El estudio se dividió en Zona alta y Zona baja, cada una de estas contiene dos usos de suelo que son bosque primario y bosque secundario en cada uso se estableció cinco transectos con tres puntos de muestreo (P1, P2 y P3) distribuidos de manera equidistante cubriendo así toda la zona del muestreo como se puede observar en la (Figura 4).
- b) Se incorporó en cada punto de muestreo una subparcela de 10 x 10 m, en la cual se recolectaron cinco submuestras de suelo a dos profundidades (0-10 cm y 10-30 cm), posteriormente se mezcló con el fin de obtener una muestra compuesta representativa. la cual sirvió para el análisis de los parámetros químicos.
- c) En la parte central de la subparcela se realizó la toma de muestras no alteradas con un barreno tipo Uhland a tres profundidades (0-10,10-20 y 20-30 cm) para evaluación de parámetros físicos.

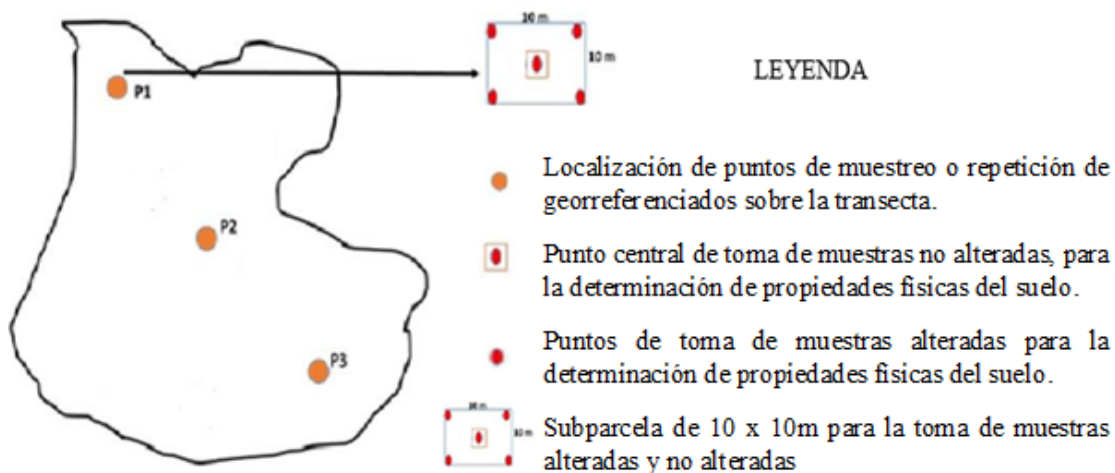


Figura 4. Modelo de muestreo sistemático para el estudio de suelo.

3.4. MEDICIONES EXPERIMENTALES:

3.4.1. 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 tubo tipo Uhland, en los cuales se midieron las siguientes variables: a) Densidad aparente (Da) usando el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986) b) Conductividad hidráulica saturada (Ksat) mediante el método de carga variable, siguiendo el método descrito por (Pla, 2010), distribución de tamaño de poros: c) Porosidad total (Pt), d) Porosidad de aireación (Pa) Poros de radio >15 μm , e) Porosidad de retención (Pr) usando la mesa de tensión a saturación y a un potencial métrico de -10 kPa (Blake & Hartge, 1986) bajo sus diferentes niveles críticos mostrados en la (Tabla 3).

Tabla 3. Niveles críticos para interpretación de parámetros físicos.

Niveles críticos		
Parámetro	Unidad	Valores
Densidad aparente (Da)	Mg m ⁻³	1,3
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

3.4.2. Análisis Químicos

Para medir el pH se utilizó el método potencio métrico (relación suelo-agua 1:2,5), y para su interpretación se usó la tabla 4, las bases cambiabiles (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{1+}) y contenido de fósforo fueron medidas por la metodología de Olsen modificado (Bertsh, 1995). El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de calcinación o pérdida por ignición (Schulte & Hopkins, 1996), que cuantifico directamente el contenido de MO y se basa en la determinación de la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a elevadas temperaturas. El método incluyo un pretratamiento de secado a 105 °C durante 24

h y luego 2 h de ignición a 360 °C (Eyherabide *et al.*, 2014), para la caracterización de los parámetros químicos se basó en la (Tabla 5).

Tabla 4. Rango de interpretación de pH

Interpretación	Siglas	Rango
Muy ácido	M Ac	0,0-5,0
Ácido	Ac	>5,0-5,5
Mediano ácido	Me Ac	>5,5-6,0
Ligeramente ácido	L Ac	>6,0-6,5
Prácticamente neutro	P N	>6,5-7,5
Neutro	N	7
Ligeramente alcalino	L Al	>7,5-8,0
Mediano alcalino	Me Al	>8,0-8,5
Alcalino	Al	>8,5-14,0

Fuente: Pla, 2010

Tabla 5. Rango de interpretación para parámetros químicos

Parámetro	Rango de interpretación				
	Unidad	Bajo	Medio	Alto	Tóxico
Acidez Intercambiable (Al+H)	meq/100ml	<0,5	0,5-1,0	>1,5	
Aluminio intercambiable (Al)	meq/100ml	<0,3	0,3-1,0	>1,00	
Nitrógeno (NT)	%	<0,2	0,2-0,8	>0,8	>3,2
Materia orgánica (MO)	%	<3,0	3,0-5,0	>5,0	
Fósforo (P)	mg kg-1	<10	10,0-20,0	>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: Berts, 1995

3.5. OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL SUELO.

Para obtener el índice de calidad de suelo (ICS), primero se realizó un análisis de componentes principales (ACP), se escogió un conjunto de variables que incluyen parámetros físicos y químicos del suelo, se empleó el paquete estadístico SPSS, versión 21, esto permitió reducir el número de variables y establecer las diferencias entre bosque

primario y bosque secundario para cada una de las zonas consideradas, así como para selección mediante los dos primeros componentes aquellas variables de mayor contribución para explicar las diferencias de calidad de suelo de usos seleccionados. Como una segunda fase se seleccionó indicadores de calidad del suelo (Viana *et al.*, 2014) mediante la aplicación de la matriz de correlación Spearman ($P \leq 0.05$) para aquellas variables que se seleccionó en el análisis de componentes principales. Una vez seleccionados los indicadores se procedió a asignar las unidades de medida, el valor mínimo y máximo (Tabla 6) usando la metodología propuesta por (Cantu *et al.*, 2007).

Tabla 6. Indicadores de calidad de suelos, unidades de medida, valores máximos y mínimos, definidos según el tipo de uso de la tierra

Indicador	Unidad de medida	I Min	I Max
Densidad aparente (Da)	Mg m ⁻³	0,27	1,20
Carbono orgánico total (COT)	%	1,50	10,00
Nitrógeno Total (NT)	%	x	x
pH			
Acidez intercambiable	meq/100 ml	4,00	6,50
Aluminio intercambiable (Al ⁺³)	meq/100 ml	0,50	3,00
Calcio intercambiable (Ca ⁺²)	meq/100 g de suelo	0,20	7,00
Fósforo intercambiable P	meq/100 g de suelo	x	x
Potasio intercambiable (K ⁺¹)	meq/100 g de suelo	0,01	0,45
Magnesio intercambiable (Mg ⁺²)	meq/100 g de suelo	0,12	6,00

Fuente: Bravo, 2014.

Para asignar el valor a cada indicador se consideró varios criterios: valores críticos, valores del suelo de referencia en la zona y criterios teóricos. Para la densidad aparente (Da) se consideró como máximo el valor de referencia en base a la clase textural y mínimo el promedio de los valores de los usos de tierra evaluado (Florentino, 1998).

Para el carbono orgánico total (MO%), se estableció como mínimo el valor de 1,50 del rango categorizado como deficiente dentro de cada clase textural y como máximo el rango establecido en la tabla de los niveles críticos (INIAP, 2012). Posteriormente, los indicadores

se normalizo utilizando una escala de 0-1 que representó respectivamente, la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad, independientemente de los valores absolutos medidos para cada indicador. Se evaluó dos escenarios posibles:

- A) El primero cuando el valor máximo del indicador (I_{max}) corresponde a la mejor situación de calidad de suelo (Valor normalizado del indicador, $V_n=1$) y el cálculo es $V_n = \frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$.
- B) El segundo cuando el valor I_{max} corresponde a la peor situación de calidad de suelo ($V_n=0$) y se calcula como $V_n = 1 - \frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$. Dónde V_n = valor normalizado, I_m =medida del indicador, I_{max} = valor máximo del indicador; I_{min} = valor mínimo del indicador. Finalmente, se obtuvo el índice de calidad de suelo (ICS) promediando los valores de cada indicador y categorizándolos se empleó una escala de transformación en cinco clases de calidad de suelo (Tabla 7), tal como fue sido sugerido por (Cantu *et al.*, 2007).

Tabla 7. Clases de calidad de suelo

Índice de calidad de suelos	Escala	Clases
Muy alta calidad	0,80 -1,00	1
Alta calidad	0,60 - 0,79	2
Moderada calidad	0,40 – 0,59	3
Baja calidad	0,20 – 0,39	4
Muy baja calidad	0,00 – 0,19	5

Fuente: (Cantu *et al.*, 2007).

3.6. RECURSOS HUMANOS

El Personal técnico del proyecto lo conformaron:

- Equipo colaborador en la toma de muestras y levantamiento de información en el campo:
 - Docente Jorge Alba.
 - Ing. Ambiental Daniel Paguay.
 - Ing. Agropecuaria Laura Mosquera.
 - Estudiante Richard Barroso.
 - Estudiante Thony Huera.
- Profesional encargada del laboratorio de suelos de la UEA:
 - Ing. Agrónoma Daysi Changoluisa.
- Tutor del proyecto de grado.
 - PhD. Carlos Bravo.
- Autores del proyecto
 - Estudiante Jean Veròn.
 - Estudiante Tahis Ulcuango.

3.6.1. Materiales

Materiales para la toma de muestras:

- Palas.
- Machete.
- Podadoras de mano.
- Bolsas Ziploc.
- Cilindros.
- Toma de muestras de suelo tipo Uhland.
- Baldes pequeños.
- Fundas quintaleras transparentes.
- Papel aluminio Flexometro.
- Cinta métrica.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS ESPERADOS

En el presente capítulo se presenta los resultados de los análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo bajo uso de la tierra con bosque primario y bosque secundario en la microcuenca del río Puyo.

4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA-QUÍMICA DEL SUELO BAJO DISTINTOS USOS DE TIERRA.

4.2. PARÁMETROS FÍSICOS

4.2.1. Densidad Aparente (Da)

La Densidad aparente (Da) es uno de los parámetros físicos a determinar para caracterizar el estado de la condición física del suelo (Aparicio & Costa, 2007; Moebius *et al.*, 2007). La cual se define como la relación entre el volumen total de sólidos del suelo y su masa (Alvarado y Forsythe, 2011). Su valor se relaciona con la proporción de poros existente en dicho volumen de suelo. Las alteraciones de la (Da) a través del tiempo pueden ser debidas al laboreo, al tránsito de implementos, al pisoteo animal, al crecimiento de las raíces y/o al movimiento de la fauna en su interior. Aumentos en la (Da) se asocian a ambientes edáficos más pobres para el crecimiento de las raíces, debido a la reducción de la aireación y al aumento de la resistencia a la penetración, y a la generación de cambios no deseados en las funciones hidrológicas, tales como la infiltración y la percolación (Hamza & Anderson, 2005). Asimismo, el valor de (Da) debe ser conocido para poder transformar las concentraciones de nutrientes, minerales y/o carbono en el suelo para el análisis de sus balances (Taalab *et al.*, 2013), y el cálculo de contenido de agua en volumen.

En la (**Figura 5**) se muestra los resultados para las dos profundidades y usos de la tierra. Se puede observar que la Densidad aparente (Da) del suelo registró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) solo en la Zona baja. En ambas zonas los valores por uso fueron muy similares oscilando de 0,26 a 0,50 Mg m^{-3} en la Zona alta y de 0,40 a 0,65 Mg^{-3} en la Zona baja del bosque primario. Independientemente del uso de la tierra y la profundidad los valores obtenidos están por debajo del nivel crítico establecido, por lo que no se presenta ninguna limitación para la

penetración de las raíces y el movimiento del agua y el aire en el suelo. Para su interpretación se debe comparar con los índices críticos establecidos para las diferentes clases texturales (Pla, 2010). En este contexto, señala que el rango óptimo para las clases texturales finas de (Da) se encuentran entre 0,27-1,20 Mg⁻³ (Bravo, 2014). Valores superiores a 1,20 Mg⁻³ pueden impedir la elongación de la raíz o reducir la aireación del suelo.

Desde el punto de vista ambiental, los valores bajos obtenidos en los diferentes usos de evaluados indican que no existen problemas de degradación física en especial de compactación, coincidiendo con los resultados obtenidos por otros investigadores en condiciones amazónicas quienes señalan que los bajos valores están relacionadas con el contenido de materia orgánica del suelo (Bravo *et al.*, 2017).

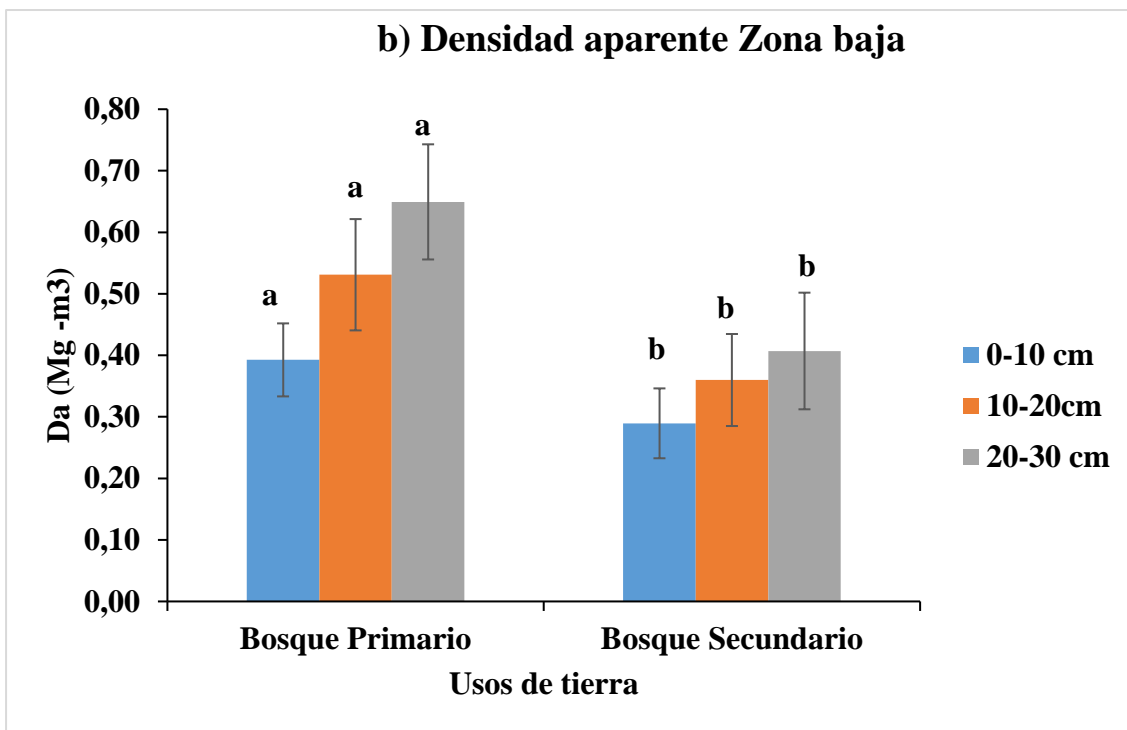
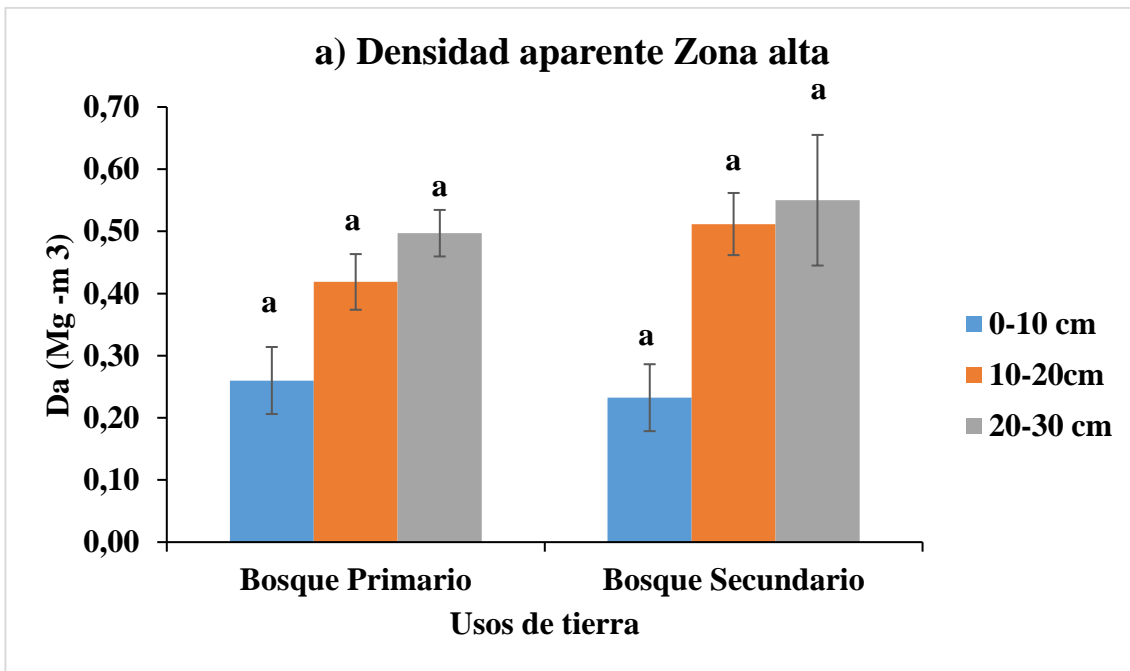


Figura 5. Valores promedio de la densidad aparente del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de ($P \leq 0,05$) según la prueba de Tukey.

4.2.2. Conductividad hidráulica saturada (Ksat)

La conductividad hidráulica es un parámetro que indica la facilidad con la que los poros del suelo permiten el movimiento del agua y es dependiente de la porosidad, permeabilidad y grado de saturación presente (Barbecho y Calle, 2012), teniendo relación directamente proporcional con la porosidad (Bastos y Oliveira, 2004).

En la conductividad hidráulica saturada se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre usos de la tierra y profundidades (**Figura 6**). Los valores de (Ksat) resultaron ser mayores en la Zona baja del bosque primario en el horizonte superficial a una profundidad de 0-10 cm con un valor registrado de 89,78 cm h⁻¹ seguido el valor de la Zona alta bosque primario con un menor valor 66,37 cm h⁻¹. Estos valores resultaron semejantes a los encontrados por Lozano *et al.* (2005), Guatibonza *et al.* (2009) y Abreu *et al.* (2004). Algunos autores señalan que generalmente aquellos tratamientos de coberturas con mayor proporción de macroporos resultaron en mayores valores de Ksat (Bravo *et al.*, 2014). Estos valores disminuyeron drásticamente en las dos zonas a partir de la profundidad de 20-30 cm siendo el menor valor 3 cm h⁻¹ en la Zona baja en el bosque secundario profundidad 20-30 cm, por lo que estos valores están considerados muy por encima del límite crítico 0,5 cm h⁻¹, señalado por Pla (2010), los cuales puede ocasionar problemas de compactación y erosión en el suelo. La infiltración representa el proceso por el cual el agua llega a la superficie del suelo y penetra en el tanto por el efecto de la gravedad (macroporos) como de capilaridad (poros pequeños), por tanto, dependiendo de la distribución de poros la velocidad de penetración puede ser afectada (Bravo *et al.*, 2017).

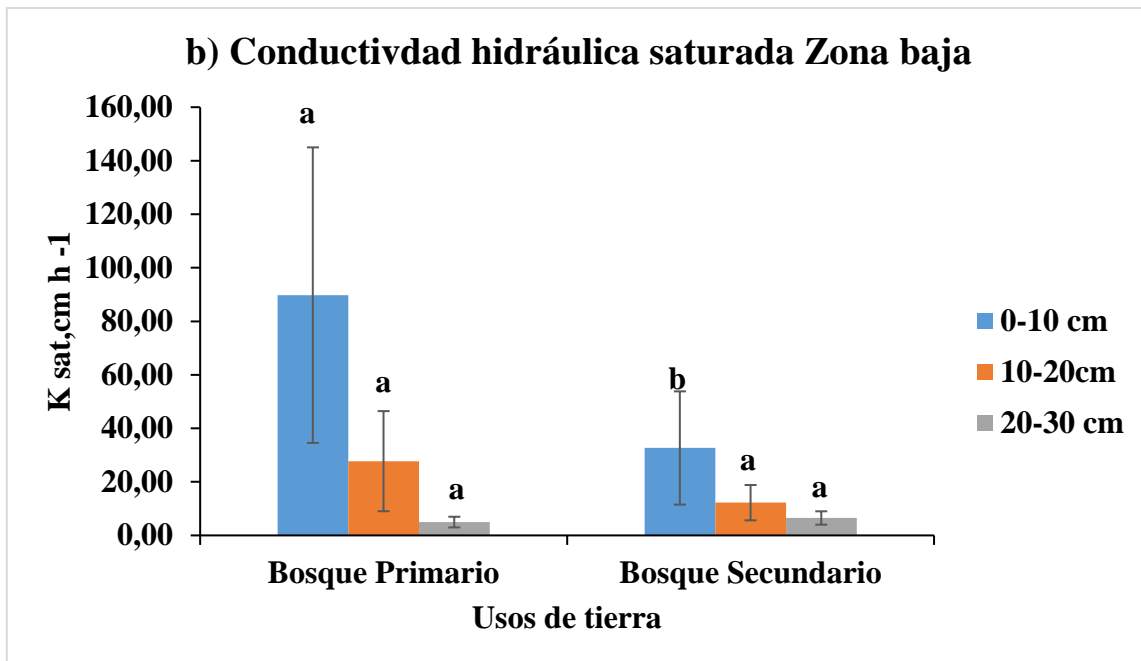
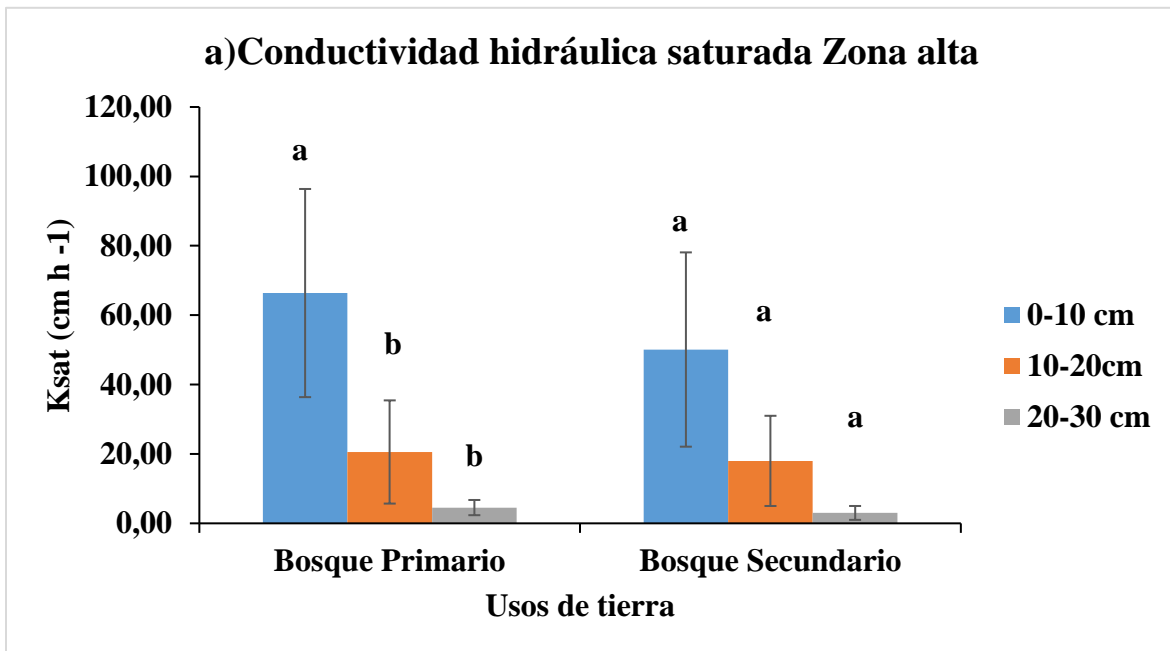


Figura 6. Valores promedio de la conductividad hidráulica saturada del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de ($P \leq 0,05$) según la prueba de Tukey.

4.2.3. Porosidad total (Pt) %

La porosidad total (Pt) representa el porcentaje del volumen de suelo que no se encuentra ocupado por sólidos y está constituido aproximadamente del 50% por materiales sólidos y el otro 50% por espacio poroso, donde nutrientes, aire, gases y agua pueden circular (FAO, 2016). La porosidad total presenta la suma total de los macroporos y microporos que tienen como función ambiental de transportar, receptor, y almacenar agua es por eso que las raíces crecen y son conducidas en búsqueda de nutrientes y agua (González *et al.*, 2010). Un deterioro de la fracción de los poros grandes no permite el drenaje; mientras la profundidad aumenta comienza a disminuir la porosidad (Bravo & Lozano, 2014).

La porosidad total (Pt) y la distribución de poros presentan valores muy similares en ambas zonas sobrepasando el 80 % de (Pt), sin embargo, los valores de (Pt) fueron superiores en el horizonte superficial 0-10 cm con un alto valor de 94,47 % en la Zona baja del bosque secundario y un registro de 93,09 % en la Zona alta del bosque secundario en la misma profundidad (**Figura 7**). Tal como lo menciona otros investigadores la porosidad del suelo en los primeros centímetros de profundidad determina en gran medida la infiltración y el escurrimiento del agua que condiciona su transporte hacia niveles superficiales o profundos (Bruckler, 1998). Las diferencias entre tratamientos se presentaron principalmente en el horizonte superficial, con cierta tendencia a presentar menores valores de porosidad en los horizontes inferiores de 10-20 cm y de 20-30 cm. Por lo tanto, los valores de (Pt) disminuyeron a medida que aumentaron los de valores de (Da), reflejando la relación directa que existe entre ambas variables (Shaver *et al.*, 2002).

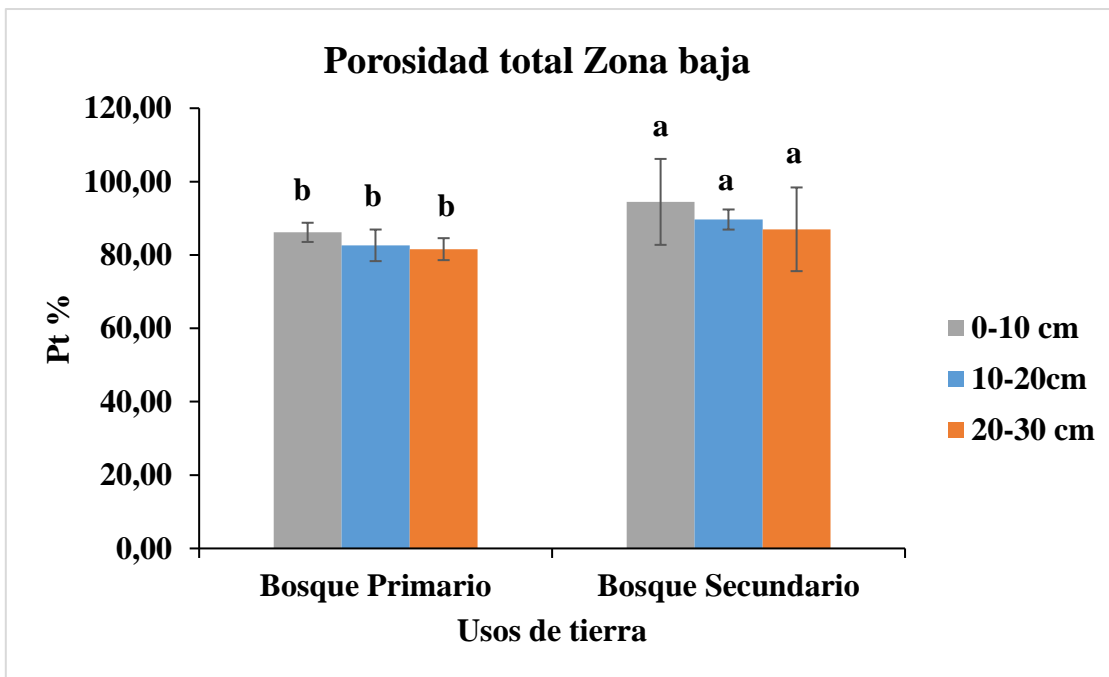
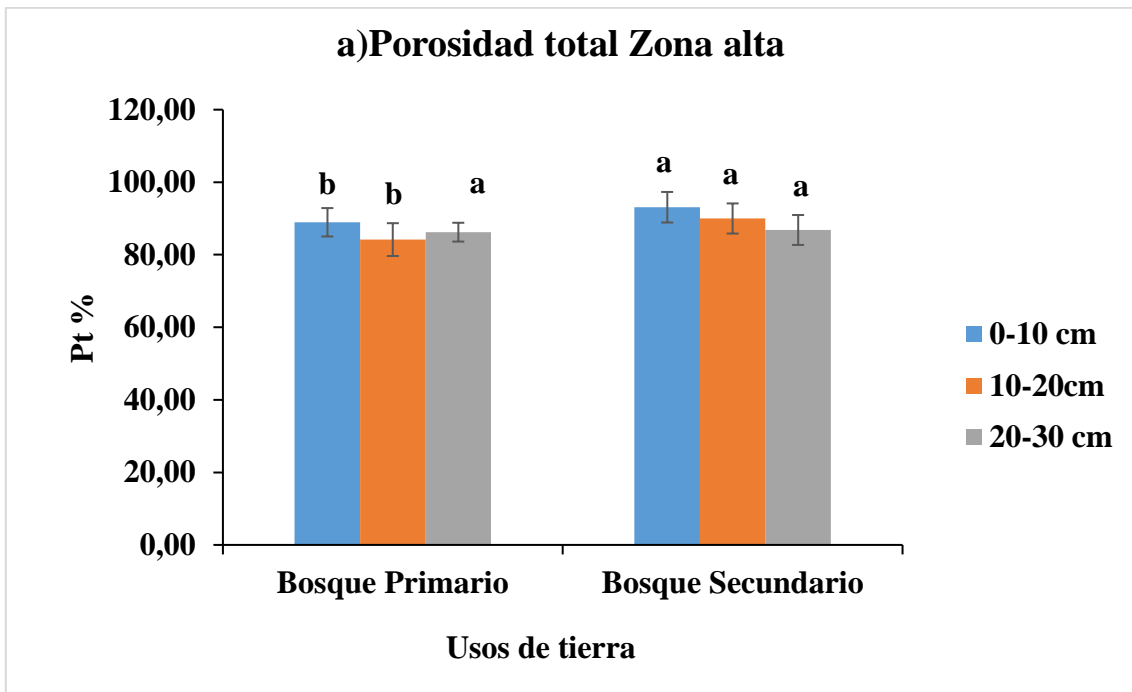


Figura 7. Porcentaje de la porosidad total del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo usos con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a nivel de ($P \leq 0,05$) según la prueba de Tukey.

4.2.3. Porosidad de aireación (Pa) %

La porosidad de aireación es la que no retiene agua y sirve para el intercambio gaseoso, por tanto, genera una idea de la proporción de poros de mayor tamaño (FAO, 2016).

La porosidad de aireación (**Figura 8**) presentó diferencias significativas $P < 0,05$ en ambas zonas y en los tratamientos, el mayor valor registrado es de 18,34 % en la Zona alta de bosque secundario profundidad de 0-10 cm. Cuando existe un porcentaje mayor de 10 % en la (Pa) es sinónimo de buena calidad ya que permite que exista un buen drenaje, aireación y recepción de agua para el crecimiento de las raíces sea de manera normal (Gonzales *et al.*, 2010). Sin embargo, en la Zona baja en el bosque secundario se registraron valores críticos 7,76 % que están por debajo del 10%. Independientemente de los tratamientos la porosidad de aireación es mayor en la profundidad 0-10 cm y va disminuyendo con la profundidad alcanzando en algunos usos de la tierra niveles por debajo del valor crítico de 10 % (Pla, 2010). Dichos resultados coinciden con el estudio realizado por Bravo *et al.*, 2017 y Caiza (2015), donde el horizonte superficial presenta valores mayores a (15,71 %) y van disminuyendo con la profundidad por lo tanto se puede reducir la capacidad de aireación y de movimientos de agua por gravedad, (López *et al.*, 2011; Pla, 2010).

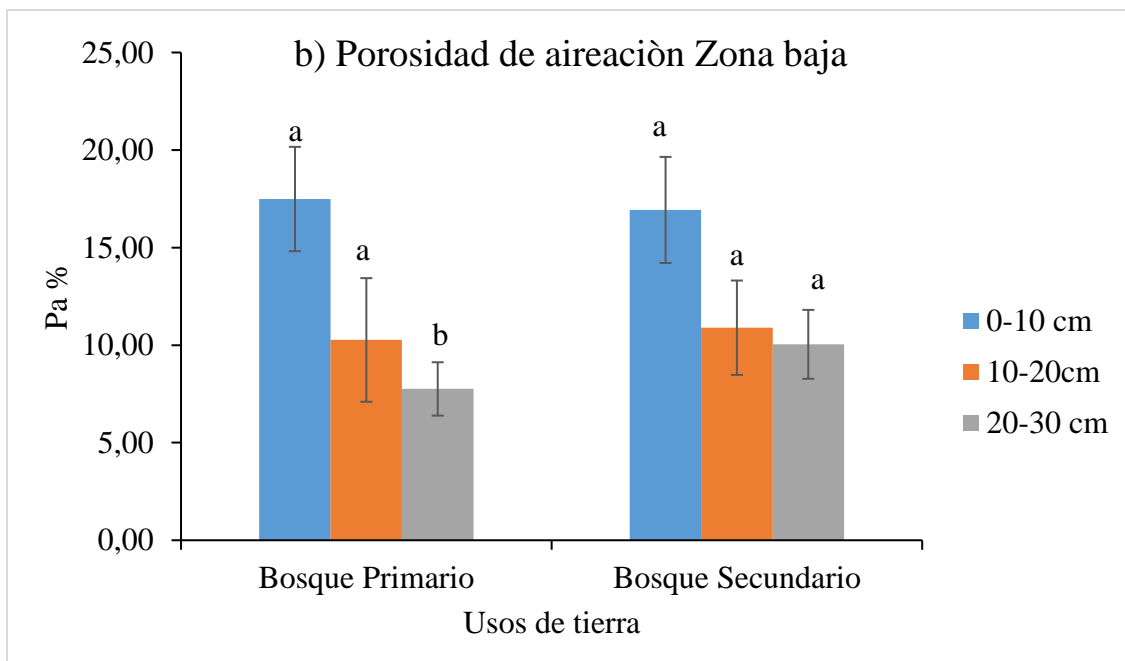
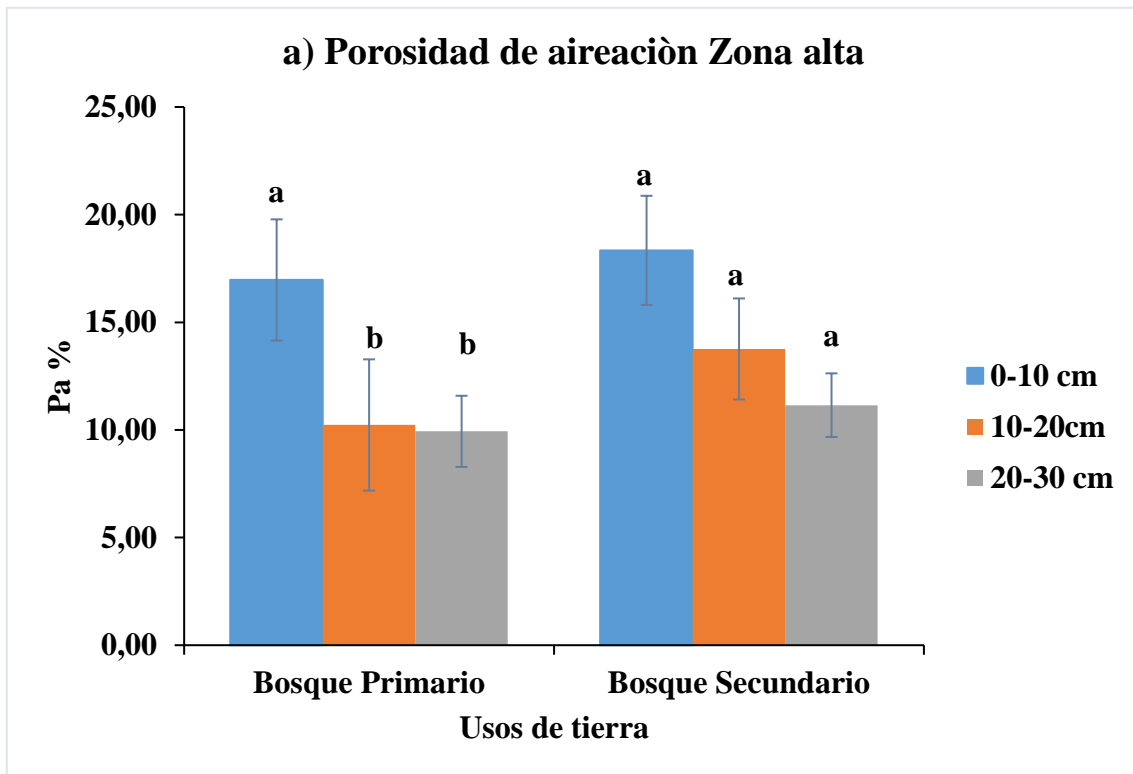


Figura 8. Porcentaje de la porosidad de aireación en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo usos con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de ($P \leq 0,05$) según la prueba de Tukey.

4.2.5. Porosidad de retención (Pr)

Los resultados de porosidad de retención cuya función es la retención del agua en el suelo, registraron diferencias significativas solo en la Zona baja del bosque secundario (**Figura 9**) el cual presentó el mayor valor 82,83 % en la profundidad de 20-30 cm. Se puede apreciar que los menores valores se obtuvieron en el horizonte superficial con valor de 68,67 % en la Zona baja del bosque primario. Estos valores están fueron similares a los reportados por otras investigaciones donde se presentan valores mayores para la profundidad de 10-30 cm (74,45 %), lo cual está asociado al incremento del contenido de arcilla y disminución de la materia orgánica y de macroporos y microporos por tanto se eleva la capacidad de retención del agua (Caiza, 2015).

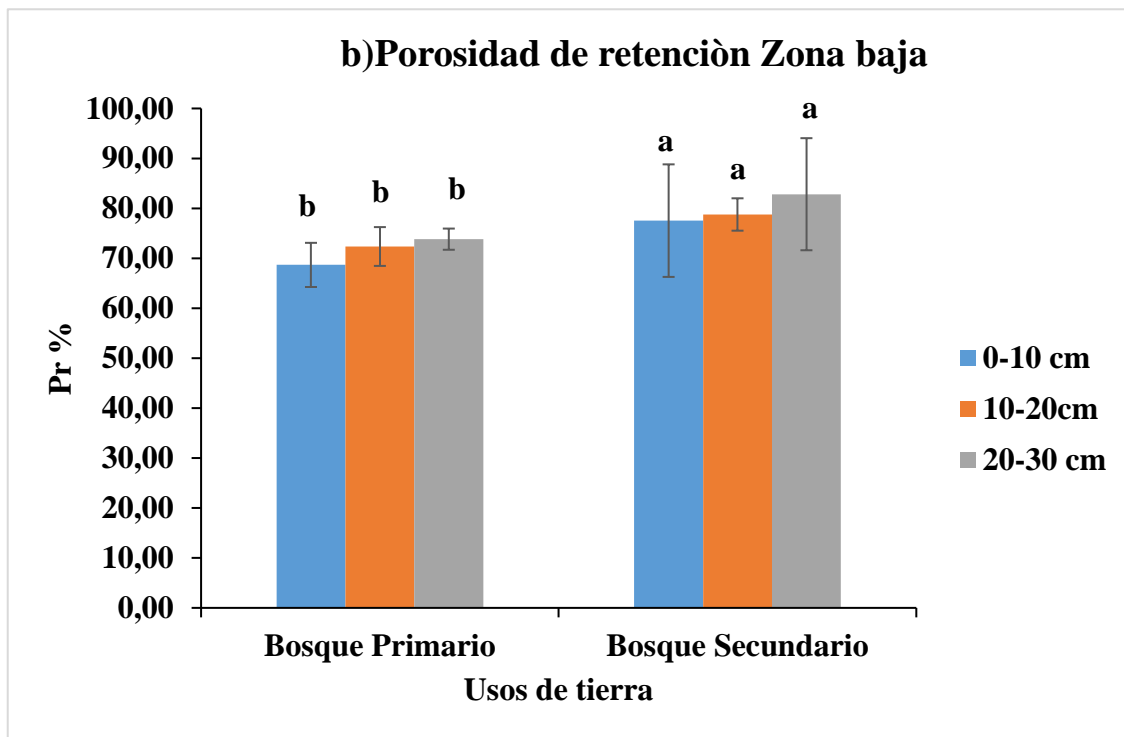
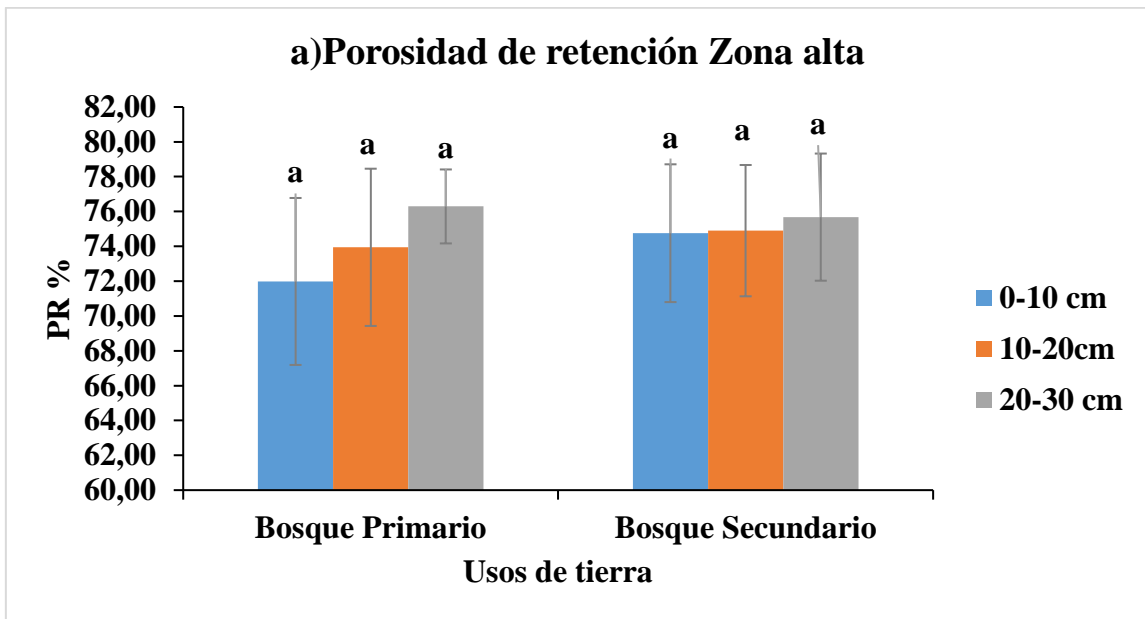


Figura 9. Porcentaje de la porosidad de retención del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo usos con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de ($P \leq 0,05$) según la prueba de Tukey.

4.3. PARÁMETROS QUÍMICOS

Los parámetros químicos seleccionados para analizar fueron potencial de hidrógeno (pH), Acidez intercambiable ($Al^{+3}+H^{+1}$), aluminio (Al^{+3}), materia orgánica (MO), fósforo (P), potasio (K^{+1}), calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), agrupados en Zona alta y baja, cada una de estas zonas contenía bosque primario y secundario con dos profundidades que son de 0-10 cm y de 10-30 cm.

4.3.1 Potencial de hidrógeno (pH)

Se apreció en la (**Figura 10**) que los valores de pH en la Zona alta fueron de 4,02 y 4,42 en bosque primario, mientras que en bosque secundario las pruebas arrojaron valores de 4,35 y 4,57 para profundidades de (0-10 cm) y (10-30 cm) respectivamente con diferencias significativas en las dos profundidades estudiadas.

En cuanto la Zona baja los valores de pH en bosque primario fueron de 3,96 y 3,93 el bosque secundario se presentan valores 4,06 y 4,29 con diferencias significativas sólo de 10-30 cm de profundidad. Se ha destacado que en lugares con alta humedad como la Amazonía ecuatoriana es común que por sus condiciones meteorológicas causen una deficiencia de nutrientes básicos (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , K^{+1}), debido a que produce lixiviación (Bravo *et al.*, 2015), predominando en dicho suelo elementos poco alterables como óxidos de hierro, aluminio, cuarzo, caolinita y demás minerales provocando esto un decaimiento en el valor del pH (Gardi *et al.*, 2014; Custode y Sourdat, 1986). Los valores obtenidos son, categorizados como muy ácido (Tabla 5), ya que todos los valores son menores que 5,0 afectando así el proceso de humificación, actividad biológica y disponibilidad de nutrientes los mismos que se favorecen en un pH entre 6-7.

El valor pH en la profundidad de 0-10 cm fue menor que de 10 - 30 cm cuyas diferencias puede estar relacionada a la existencia de ácidos orgánicos, descomposición de elementos y a la nitrificación que sucede en la zona más superficial (Bravo *et al.*, 2015).

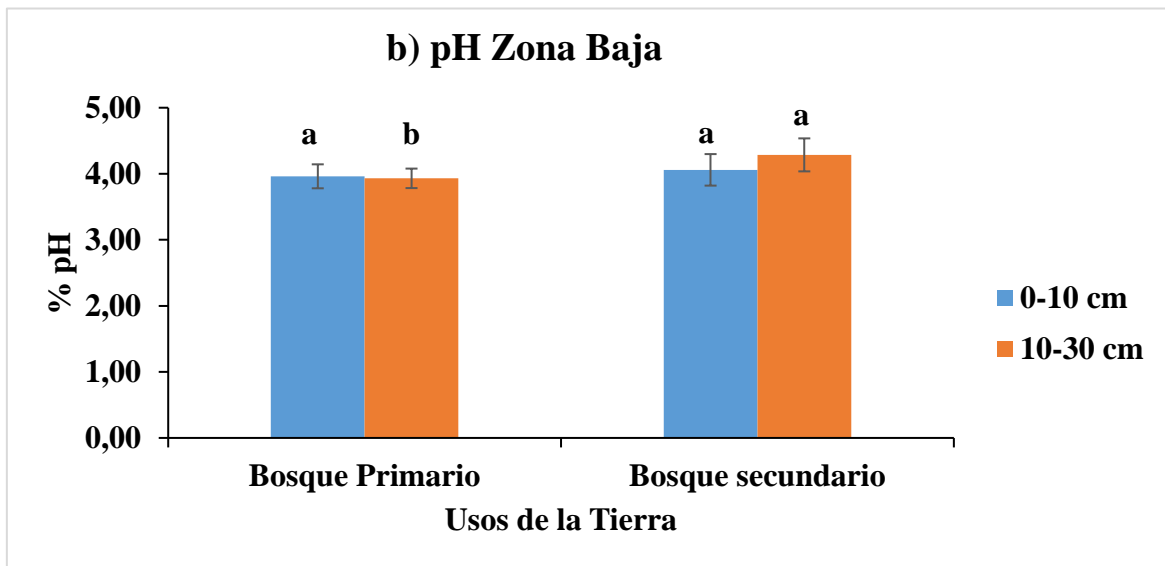
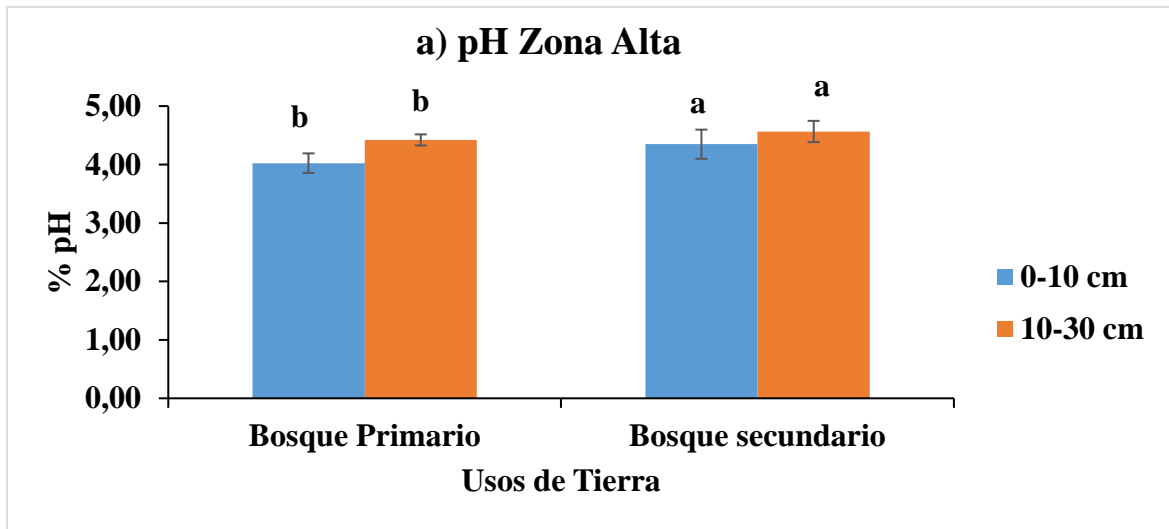


Figura 10. Valores promedio del pH del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de ($P \leq 0,05$) según la prueba de Tukey.

4.3.2 Acidez intercambiable ($Al^{+3}+H^{+1}$)

Los resultados presentados en la **(Figura 11)** expresan que la acidez intercambiable en la Zona alta varió de 2,45 a 0,73 meq/100 ml en bosque primario, mientras que en bosque secundario las pruebas arrojaron valores entre 1,89 y 0,86 meq/100 ml, con diferencias significativas en la profundidad de 0-10 cm.

En cuanto la Zona baja los valores en el bosque primario oscilaron de 3,05 a 2,55 meq/100ml, mientras que en el bosque secundario mostraron valores de 2,77 y 1,00 meq/100ml con diferencias significativas solo de 10-30 cm de profundidad. En ambos casos el resultado de esa variable se corresponde con la naturaleza de los suelos amazónicos que en su mayoría son ácidos producto de los factores formadores de suelo y el efecto de la lluvia sobre lixiviación de los cationes básicos (K^{+} , Ca^{2+} y Mg^{2+})

En su mayoría los resultados obtenidos son considerados como altos, ya que superan el límite crítico de 1,5 meq/100ml, convirtiéndose en un factor limitante por su efecto que tiene sobre la disponibilidad y la correcta absorción de nutrientes existentes en el suelo, atrofiando el correcto desarrollo de las raíces. En términos prácticos estos resultados indican que cualquier cambio de usos de la tierra en esta zona hacia sistemas agrícolas requiere de ciertas prácticas para corregir el impacto que genera la presencia de cationes ácidos sobre el crecimiento de los cultivos (Casanova, 2005).

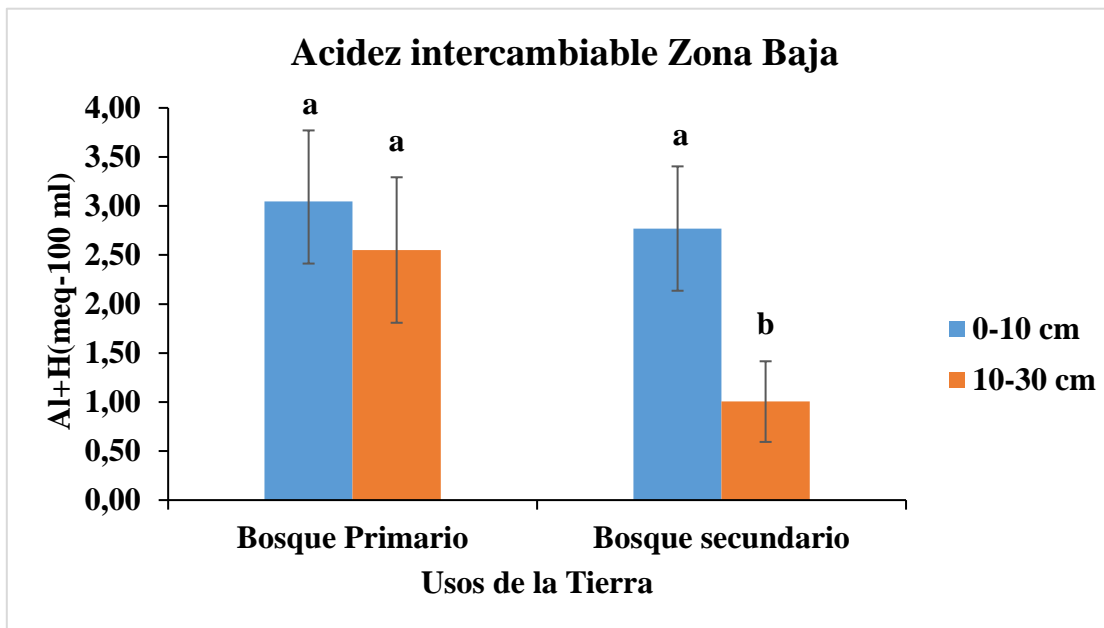
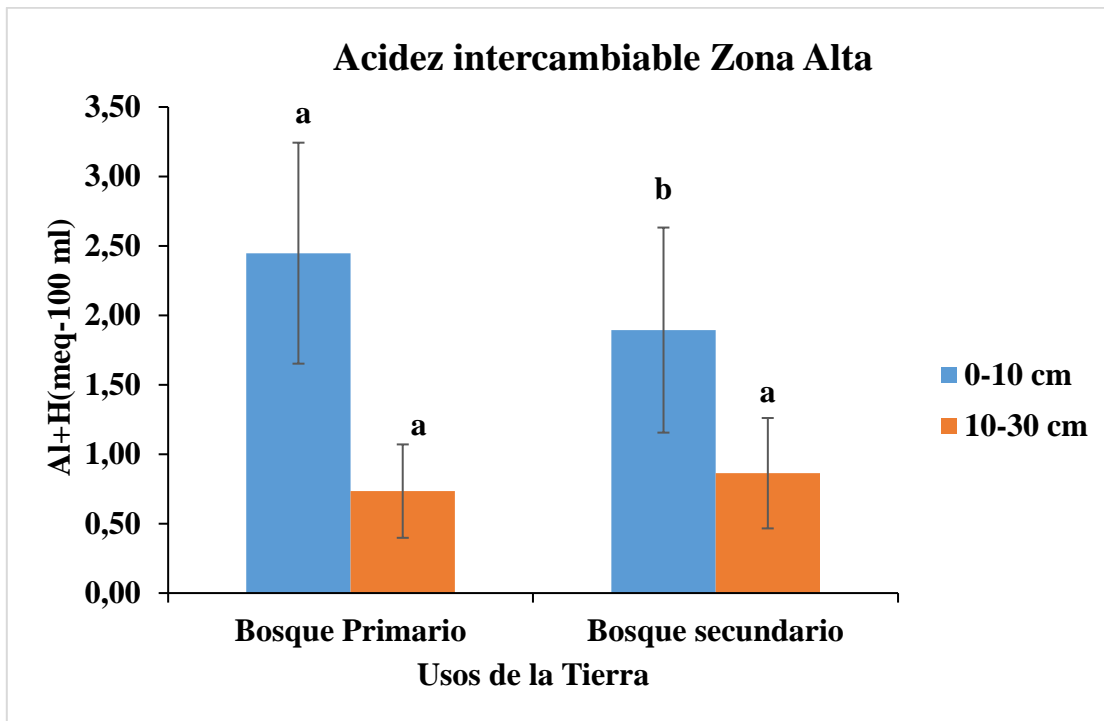


Figura 11. Valores promedio de la acidez intercambiable del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de ($P \leq 0,05$) según la prueba de Tukey.

4.3.3 Aluminio (Al^{+3})

En la (**Figura 12**) se puede observar que los valores pertenecientes a aluminio intercambiable en la Zona alta son de 0,50 y 0,24 meq/100ml en bosque primario, mientras que en bosque secundario los valores son de 0,52 y 0,24 meq/100ml, con diferencias significativas ($P < 0,05$) en ambos rangos de profundidad (0-10 cm) y (10-30 cm) respectivamente.

En cuanto la zona baja los valores en bosque primario son de 0,46 y 0,36 (meq/100ml), para bosque secundario se presentan valores 0,77 y 0,31 (meq/100ml), con diferencias significativas solo en el primer rango de profundidad de (0-10).

Los valores de esta variable química están categorizados en su mayoría como medio a excepción de la Zona alta para la segunda profundidad (10-30 cm), considerados como bajos, ya que exhibió valores por debajo de 0,30 meq/100ml. Como ha sido señalado por distintos autores, el aluminio es un catión que la planta no lo necesita para su nutrición, sino por el contrario, tiene un efecto negativo en el normal desarrollo de las raíces, afectando el crecimiento y producción de los cultivos (Von Uesxkull & Mutert 1995). El aluminio en el suelo puede estar unido o formar compuestos insolubles con el fósforo bloqueando la absorción de este nutriente por las plantas (Von Uexküll & Mutert 1995, Baligar & Fageria 1997). No obstante, en condiciones de suelos ácidos (pH 5.5-4.5, o < 4.5) los iones aluminio (Al^{+3}) se solubilizan y pueden penetrar células radiculares, lo cual impide el crecimiento normal de las raíces y dificulta la absorción de agua y nutrientes esenciales como fósforo y calcio (Kochian *et al.* 2005).

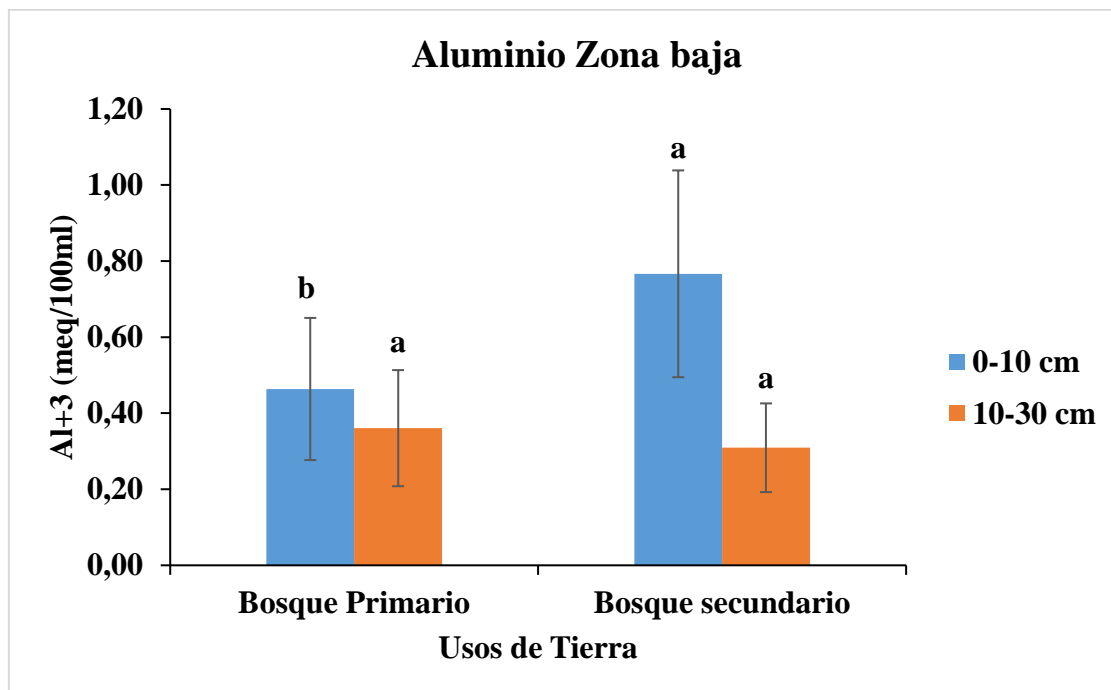
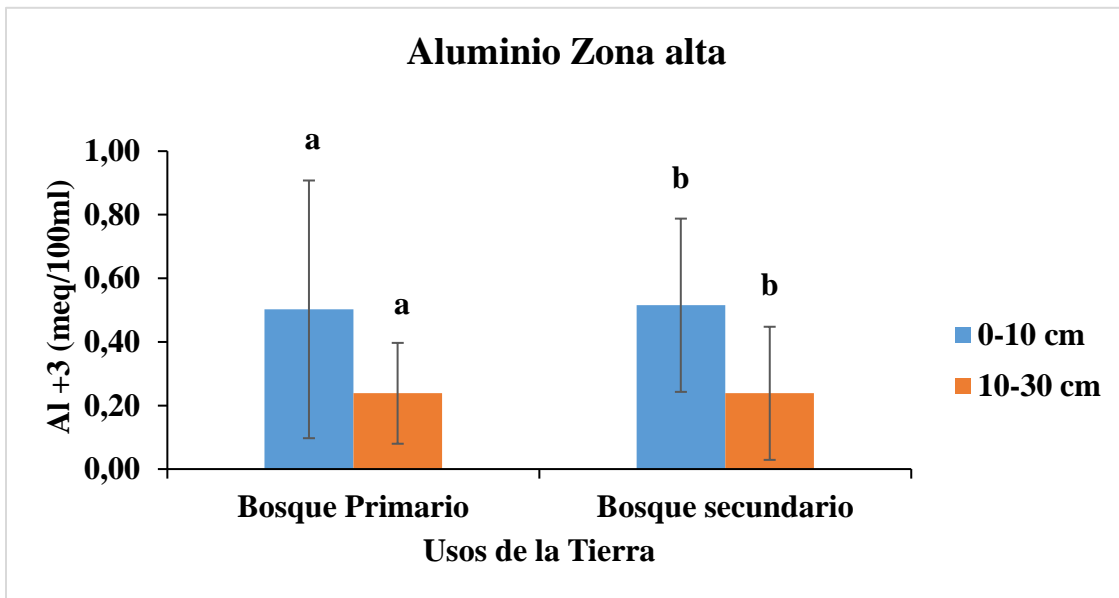


Figura 12. Valores promedio de aluminio del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de ($P \leq 0,05$) según la prueba de Tukey.

4.3.4 Materia orgánica (MO)

En la (Figura 13) se pueden apreciar los valores de materia para Zona alta son de 23,60 y 14,69 correspondiente a bosque primario, mientras que en bosque secundario los valores son de 21,25 y 16,78 sin diferencias significativas en los rangos de profundidad analizados. Por el contrario, en la Zona baja se encontró diferencias significativas ($P < 0,05$) en ambas profundidades, arrojando valores de 13,45 y 9,07 para bosque primario, mientras que en el bosque secundario se presentaron valores 25,71 y 18,93.

Los resultados observados se categorizo como altos ya que todos superan el 5%, además están muy relacionados con los antecedentes del manejo de la zona, que potencialmente, es usada con bosque caracterizados por una gran diversidad de especies de plantas, cuya cantidad y calidad de hojarasca y raíces contribuyen fuertemente a los ciclos biogeoquímicos mejorando los contenidos de algunos nutrientes en especial el nitrógeno (Bravo *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2008). De similar forma los mayores valores se presentaron a nivel superficial en todos los tipos de cobertura, estas diferencias en profundidad se podrían atribuir a la disminución en la intensidad de labranza y al mayor aporte de residuos en la superficie, tal y como lo sugirieron (Hernández-Hernández y López Hernández 2002).

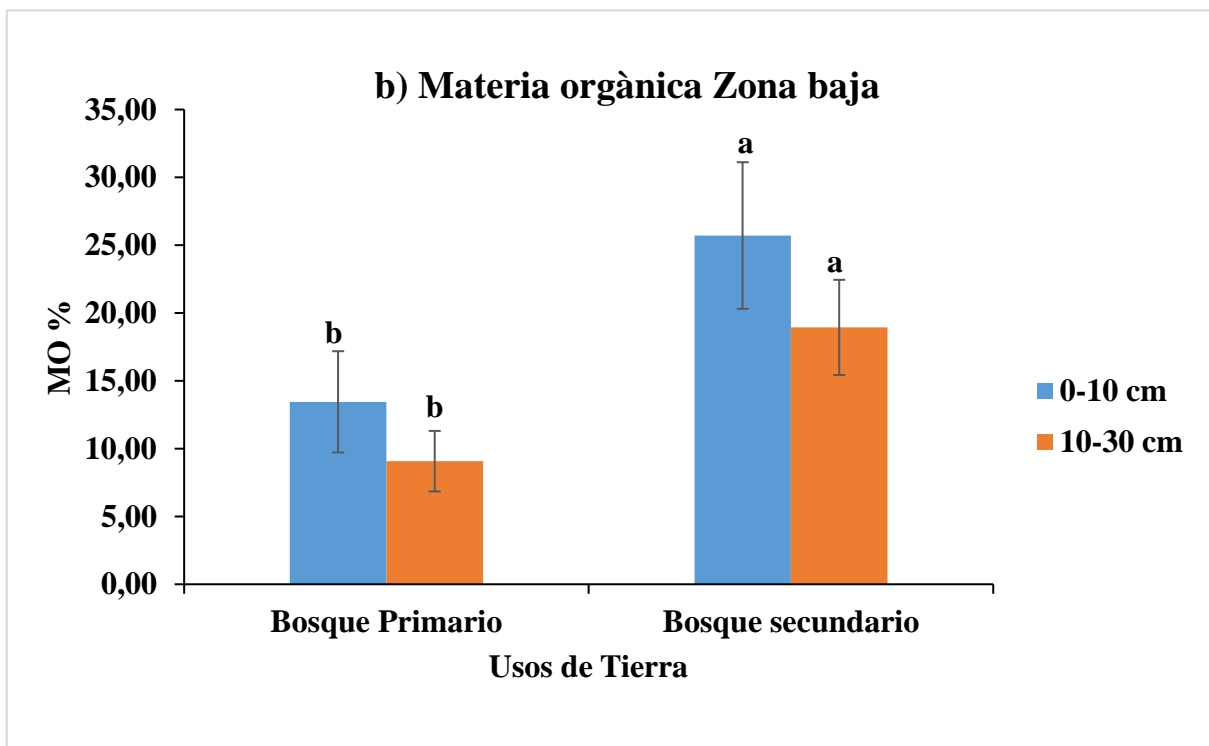
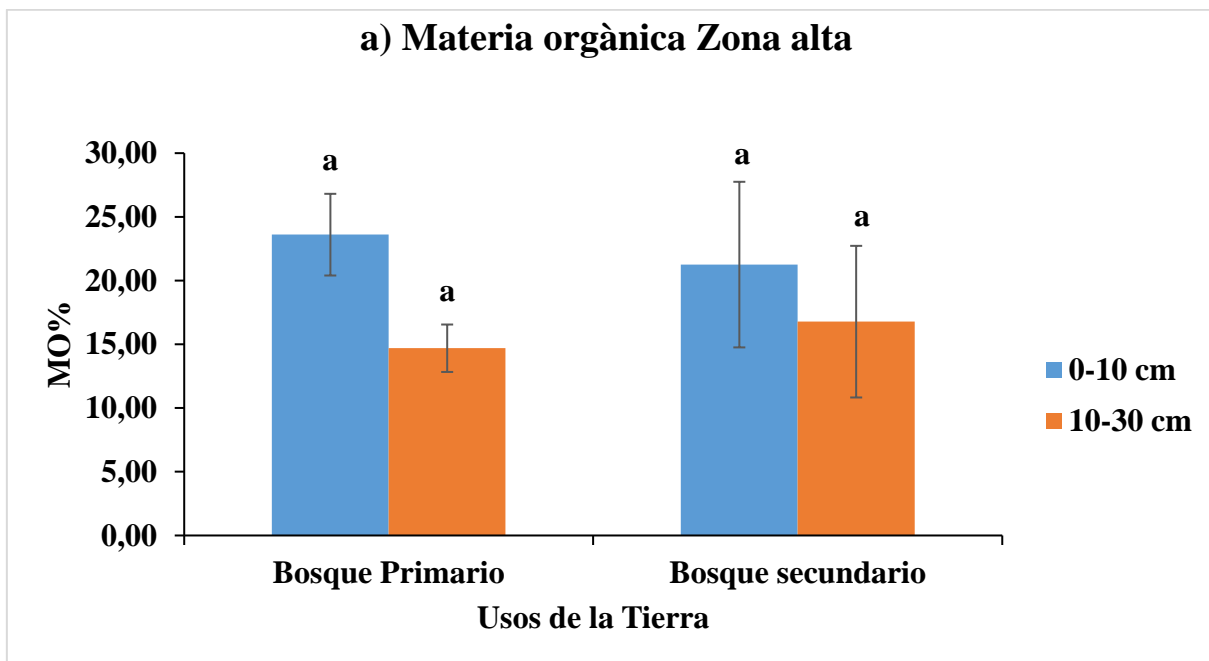


Figura 13. Valores promedio de materia orgànica del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de ($P \leq 0,05$) según la prueba de Tukey.

4.3.5 Fósforo (P)

Los valores promedios del fósforo disponible para las distintas zonas, profundidades y usos de tierra evaluados se presentan en la **(Figura 14)**. Se puede apreciar que los valores de fósforo en la Zona alta estuvieron entre 7,21 y 3,38 mg kg⁻¹ para el bosque primario, mientras que en bosque secundario los análisis arrojaron valores de 9,13 y 5,68 mg kg⁻¹, existiendo una diferencia significativa para la segunda profundidad.

En cuanto la zona baja los valores para bosque primario fueron de 7,51 y 4,39 mg kg⁻¹, en el bosque secundario se presentan valores 6,58 y 6,23 mg kg⁻¹, con diferencias significativas solo de 10-30 cm de profundidad.

Los resultados obtenidos en todas las profundidades están catalogados como bajos, ya que se encuentran por debajo de 10 mg kg⁻¹. Cabe recalcar que el fósforo (P) es un nutriente de gran importancia para el crecimiento óptimo de las plantas, valores adecuados de fósforo beneficia al adecuado desarrollo de las raíces, favorece la formación de la semilla participa en la fotosíntesis y la respiración (Casanova, 2005). A diferencia del carbono y el nitrógeno, cuyos principales reservorios están en la atmosfera el principal reservorio de P está en el suelo (Casanova, 2005). Por tanto, la principal fuente de fósforo es la meteorización del material parental (Gliessman, 2007).

Se puede notar que mayor cantidad de fósforo se agrupa en la profundidad más superficial (0-10 cm); resultados similares se presentaron en un estudio con tratamientos de siembra directa (SD) y labranza convencional (LC), indicando valores más altos en la capa superficial (0-10cm) lo cual está relacionado por la baja movilidad de ión fosfato y a la aplicación superficial de fertilizantes fosforado, no obstante, los valores disminuyen con la profundidad (Bravo *et al.*, 2008). Para condiciones amazónicas, se han reportado valores similares en diferente usos de la tierra con bajos contenidos de P disponible, lo cual está asociado a los mecanismos de intercambio que ocurren en ambientes edáficos con pH ácidos y predominancia de minerales secundarios ricos en Fe y Al que forman compuestos complejos de Fe-P y P-Al (Bravo *et al.*, 2017)

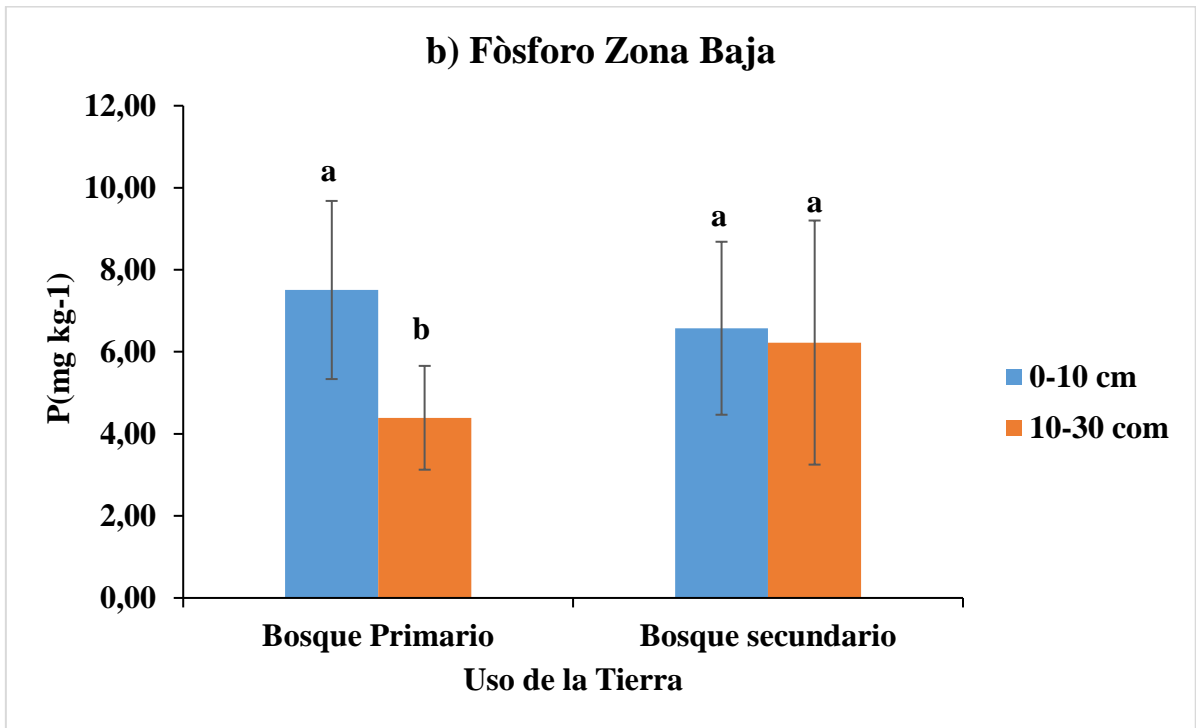
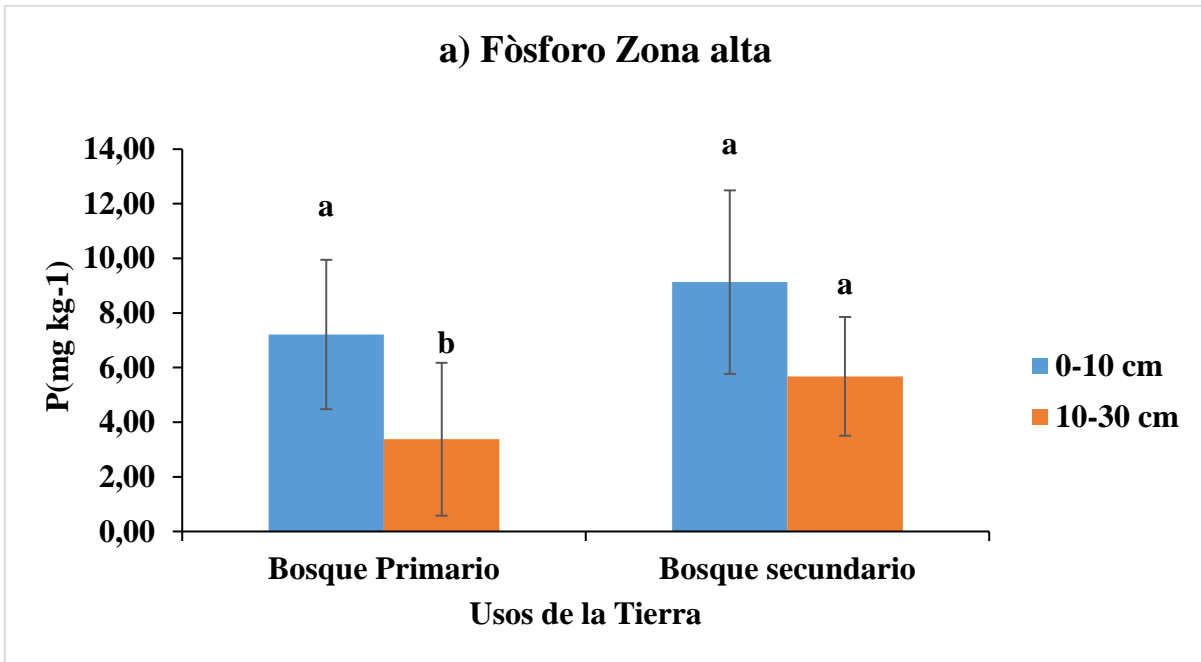


Figura 14. Valores promedio del fòsforo del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de ($P \leq 0,05$) según la prueba de Tukey.

4.3.6. Potasio (K^+)

Los resultados de potasio intercambiable en ningún caso presento diferencias significativas para los factores evaluados. En la Zona alta los valores oscilaron de 0,10 y 0,04 (meq/100ml) en el bosque primario, mientras que en el bosque secundario los valores fueron de 0,14 y 0,05 meq/100ml (**Figura 15**). En cuanto la Zona baja, los valores de K^+ intercambiable en el bosque primario son de 0,28 y 0,23 (meq/100ml), mientras que en el bosque secundario se presentan valores 0,36 y 0,26 (meq/100ml).

Los resultados para la Zona alta son considerados como bajos, ya que son inferiores a 0,20 (meq/100ml), mientras que en la zona baja están categorizados como medios debido a que se encuentran dentro del rango de 0,20-0,40 (meq/100ml).

El potasio (K) es considerado el catión más importante en la fisiología de las plantas, no sólo por su contenido en los tejidos vegetales, sino por las funciones que desempeña. Éste es esencial en la translocación de azúcares y la formación de almidón, se requiere para la apertura y cierre de estomas, mejora la resistencia de los cultivos a enfermedades y contribuye a la calidad de las cosechas (Navarro 2013; Taiz 2015; Willey 2016).

Cabe mencionar que resultados similares se presentaron en un estudio efectuado en la Amazonía ecuatoriana, donde una parte considerable de los usos de tierra analizados contenían valores menores a 0,2 meq/100ml, causado por la edafogénesis de estos suelos y por el lavado de cationes intercambiables (Paguay, 2016), así mismo se encontró semejanzas con los resultados de uso de bosque secundario en otro estudio realizado en Napo y Pastaza (Bravo, 2017).

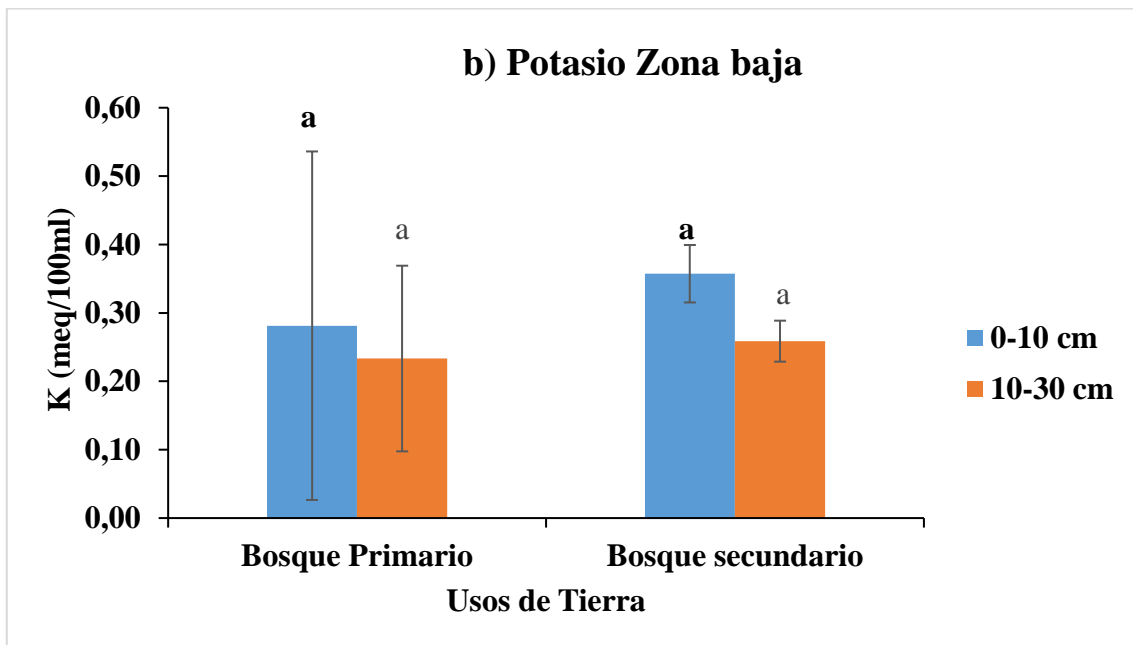
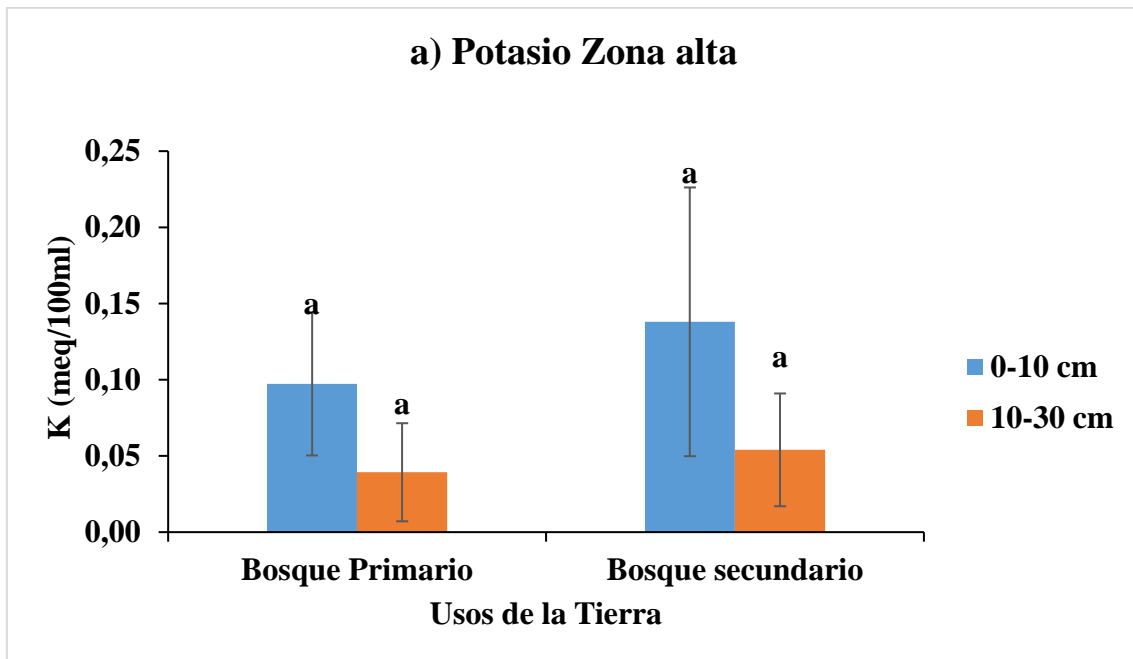


Figura 15. Valores promedio de potasio del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de ($P \leq 0,05$) según la prueba de Tukey.

4.3.7 Calcio (Ca^{+2})

En la (Figura 16) se presentan los valores pertenecientes al contenido de calcio intercambiable, los cuales no mostraron diferencias significativas. Para la Zona alta los valores estuvieron entre 1,09 y 0,71 meq/100ml en el bosque primario, mientras que en bosque secundario los valores son de 1,13 y 0,59; en cuanto la Zona baja los valores en bosque primario son de 1,16 y 0,51 meq/100ml; para bosque secundario se presentan valores 1,25 y 0,51 meq/100ml.

La disponibilidad de calcio depende del pH del suelo y puede ser reducida cuando este se encuentra por debajo de 5,5 (Parra *et al.*, 2006), por tal razón los valores resultaron ínfimos en el estudio, ya que se encuentran por debajo del límite crítico que es 4,0 meq/100ml, también se observó que a medida que aumenta la profundidad disminuye la concentración de calcio independientemente del uso de la tierra (Bravo *et al.*, 2017).

El calcio es un elemento estructural y de suma importancia en la planta ya que constituye la lámina media, las paredes y membranas de la célula y, además, participa en la división y extensión celulares, modula la acción de hormonas y señales, estabiliza la pared-membrana, y contribuye al equilibrio iónico de la célula (Marschner, 1986).

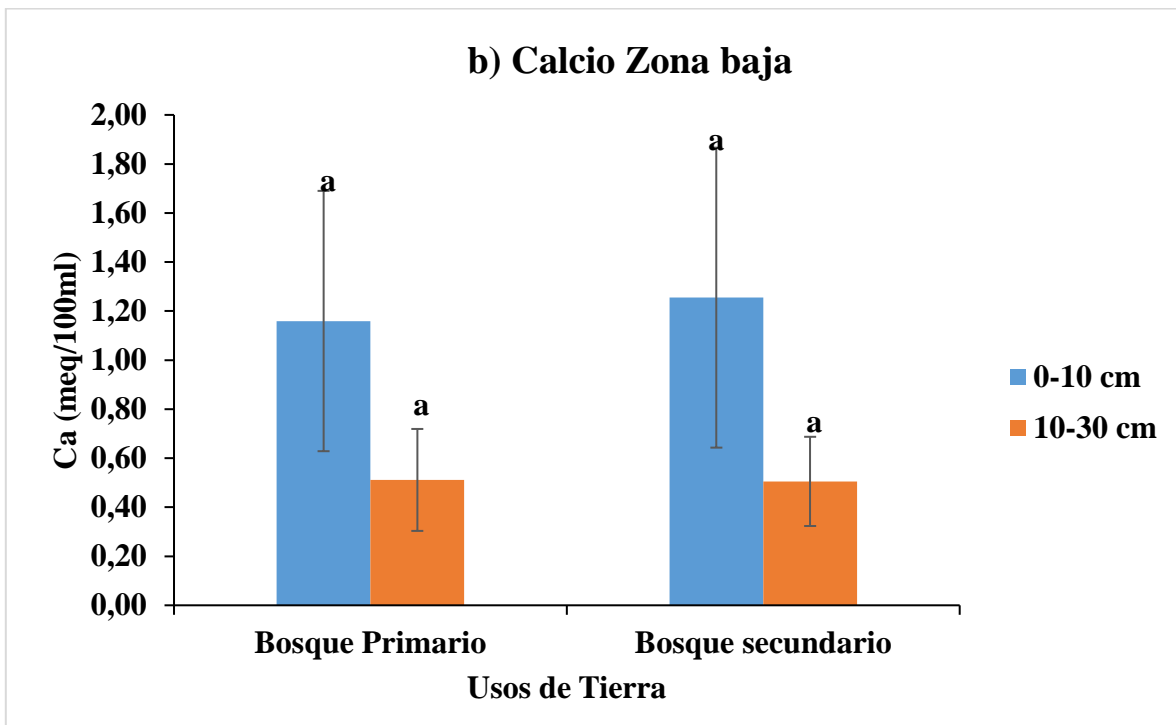
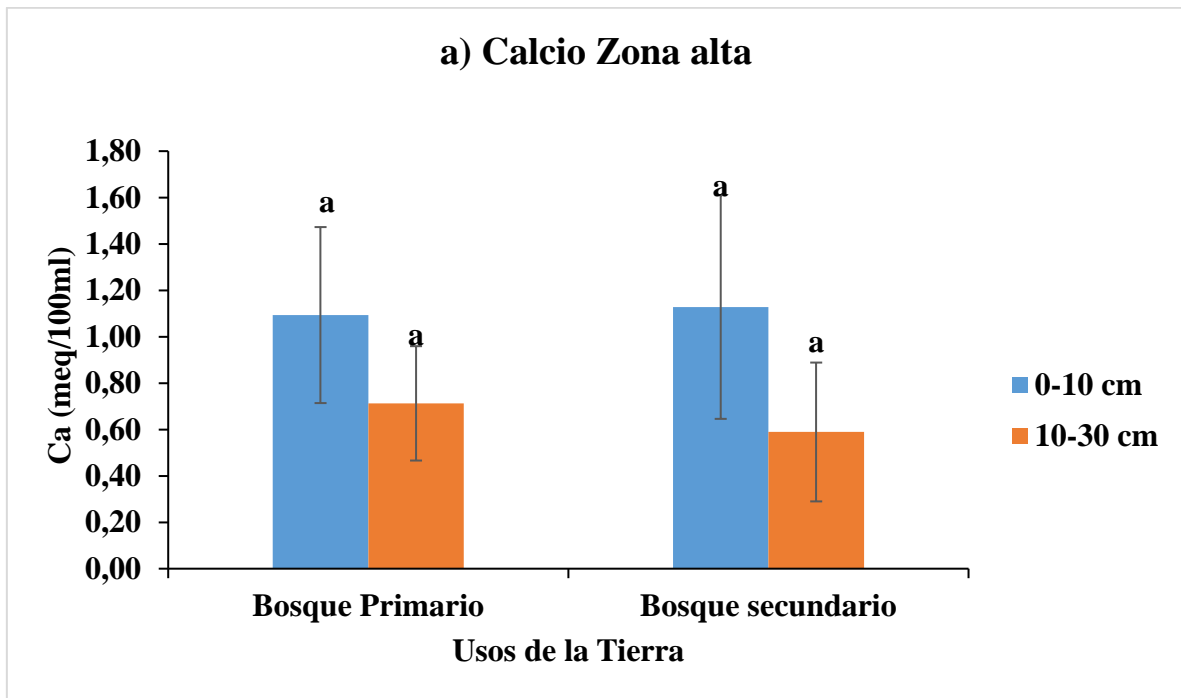


Figura 16. Valores promedio de calcio del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de ($P \leq 0,05$) según la prueba de Tukey.

4.3.8 Magnesio (Mg^{+2})

En la (**Figura 17**) se representan los valores promedios de magnesio intercambiable para los dos gradientes altitudinales, profundidades y usos evaluados mostrando diferencias significativas solo para la segunda profundidad en la Zona alta, donde se registró rangos que oscilaron de 0,39 a 0,22 (meq/100ml) para el bosque primario, mientras que en el bosque secundario los valores oscilaron de 0,33 y 0,16 (meq/100ml)

En la Zona baja no se encontraron los valores para bosque primario son de 0,47 y 0,25 (meq/100ml); y por último para bosque secundario se presentaron valores de 0,45 y 0,19 (meq/100ml). En todos los casos los valores obtenidos fueron categorizados como bajos (Berth, 1995).

Es un nutriente de suma importancia, ya que forma parte de la molécula de clorofila, por lo que se encuentra íntimamente involucrado en la fotosíntesis. Cumple un rol en la síntesis de aceites y proteínas y la actividad de enzimática del metabolismo energético (Brady, 2002).

Al igual que Ca^{+2} , el Mg^{+2} está sujeto a pérdidas por lavados debido a la presencia de Al^{+3} en la fracción de intercambio que hacen que disminuya la disponibilidad. En condiciones Amazónicas la magnitud de lixiviación de estas bases cambiables está muy marcada por las características climáticas predominantes de alta precipitación (Custode & Sourdat, 1983; Gardi *et al.*, 2014).

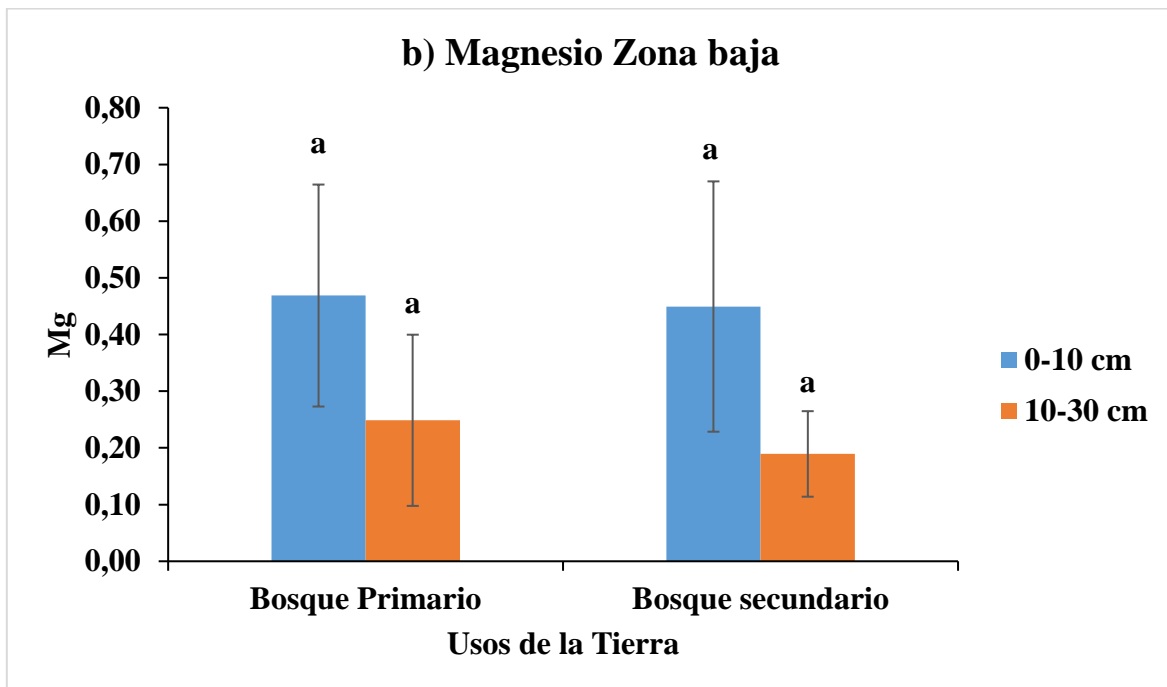
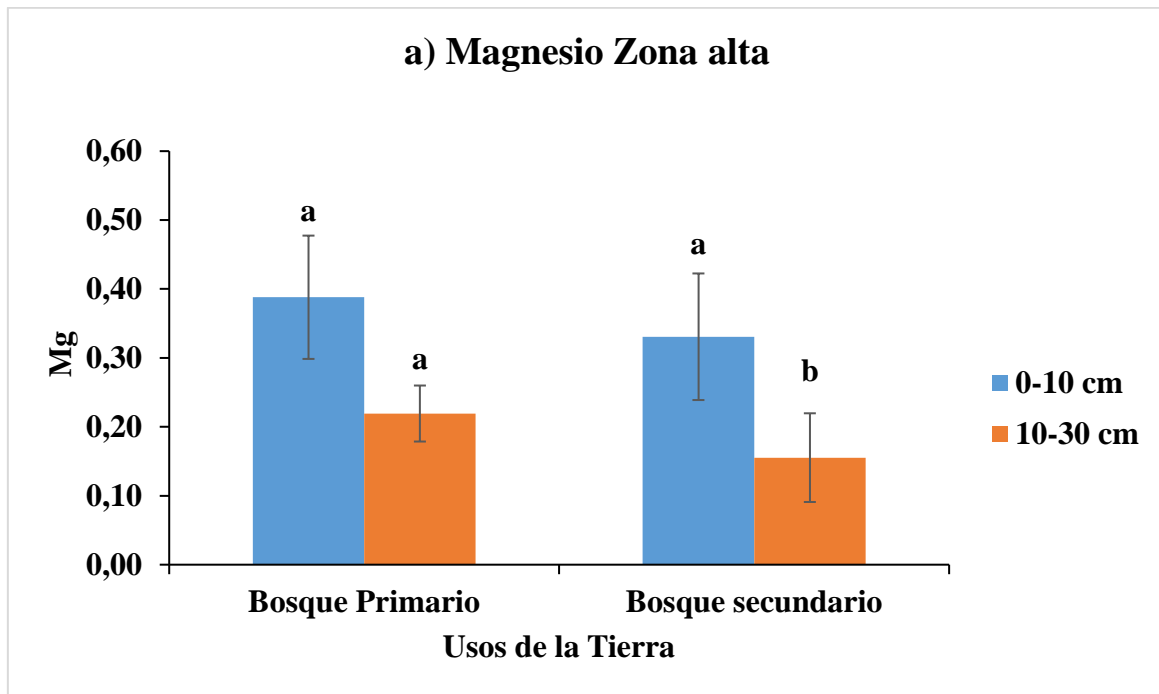


Figura 17. Valores promedio de magnesio del suelo en dos Zonas con diferente gradiente altitudinal bajo uso con bosque primario y secundario.

Las letras distintas en las mismas profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de $(P \leq 0,05)$ según la prueba de Tukey.

4.4. MATRIZ DE CORRELACIONES

En el momento de interpretar las correlaciones Spearman (r) se debe notar el signo que se antepone al valor de éstas, quiere decir, si encuentra una correlación negativa (-) significa que el aumento de una variable provoca una disminución de la otra, en contraparte si se aprecia una correlación positiva significa un aumento en las dos variables. Otro aspecto importante es la fortaleza de la misma, entonces si su valor es $< 0,30$ es baja, si se encuentra entre $0,30-0,70$ es media, mientras que si es $> 0,70$ es alta. En base a esta premisa, las correlaciones significativas ($P \leq 0.05$) para el horizonte superficial en la zona alta y baja en las (Tablas 8-9), mientras que para el segundo horizonte de muestreo (10-30 cm) en ambas zonas (Tablas 10- 11.)

4.4.1 Densidad aparente vs porosidad de aireación

Se encontró una correlación negativa de $-0,697^{**}$ en el horizonte superficial de la Zona alta (**Tabla 8**), lo cual indica que mientras la densidad aparente aumente la porosidad de aireación disminuye o viceversa. Esto significa que un incremento en la D_a se asocia a ambientes edáficos más pobres para el crecimiento de las raíces, debido a la reducción de la aireación y al aumento de la resistencia a la penetración, y a la generación de cambios no deseados en las funciones hidrológicas, tales como la infiltración y la percolación (Hamza & Anderson, 2005).

4.4.2 Porosidad total vs porosidad de retención

Se apreciaron correlaciones muy altas en ambas zonas y ambos horizontes: zona alta 0-10 cm ($0,819^{**}$), Zona Baja-0-10 cm ($0,960^{**}$), Zona alta10-30 ($0,990^{**}$) y Zona baja10-30 ($0,840^{**}$), lo que indico que es alta la influencia de una variable con otra. La porosidad total representa la suma total de los macroporos y microporos que tienen como función ambiental de transportar, receptor, y almacenar agua, es por eso que las raíces crecen y son conducidas en búsqueda de nutrientes y agua (Gonzalo *et al.*,2010) por lo tanto, un aumento en la porosidad de retención o aireación, provocará un aumento en el valor de la porosidad total.

Tabla 8. Matriz de correlación de Speerman de las variables físicas- químicas del suelo Zona alta de 0-10 cm

	Da	Ksat	PT	PA	PR	pH	Al ⁺³ +H ⁺¹	Al ⁺³	MO	P	K ⁺¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²
Da	1												
Ksat	-0,285	1											
PT	-0,188	-0,358	1										
PA	-,697**	0,16	0,292	1									
PR	0,23	-,452*	,819**	-0,309	1								
pH	-0,172	-0,202	0,203	0,003	0,2	1							
Al⁺³+H⁺¹	-0,123	0,31	-0,156	0,251	-0,31	-,709**	1						
Al⁺³	-0,089	0,164	-0,12	0,199	-0,24	-,391*	,517**	1					
MO	0,283	-0,198	-0,234	-0,135	-0,15	-0,036	0,068	-0,004	1				
P	-0,173	-0,094	,374*	0,272	0,21	-0,157	0,278	0,069	0,006	1			
K⁺¹	-0,071	-0,242	0,235	0,211	0,11	-0,081	0,237	,473**	0,122	,503**	1		
Ca⁺²	0,032	-0,154	-0,238	-0,096	-0,18	0,048	0,004	0,198	0,157	0,14	0,292	1	
Mg⁺²	0,012	-0,113	-0,182	0,030	-0,2	-,427*	0,355	,448*	-0,066	0,235	,492**	,677**	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

a Profundidad = 0-10 cm, Altitud = Zona Alta (1100 msnm)

Da: Densidad aparente del suelo; **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada; **Pt:** Porosidad total; **Pa:** Porosidad de aireación; **Pr:** Porosidad de retención; **pH:** Potencial de hidrogeno; **Al⁺³+H⁺¹:** Acidez intercambiable; **Al⁺³:** Aluminio intercambiable; **MO:** Materia orgánica; **P:** Fosforo; **K⁺¹:** Potasio; **Ca⁺²:** Calcio; **Mg⁺²:** Magnesio.

4.4.3 Acidez intercambiable ($\text{Al}^{+3}+\text{H}^{+1}$), Potencial de hidrogeno (pH), Aluminio (Al^{+3}) y Calcio (Ca^{+2})

El pH es uno de los principales aspectos que influye fertilidad del suelo, ya que puede facultar o limitar un adecuado desarrollo de las plantas, siendo responsable de disponibilidad de nutrientes para las mismas, dado que la Amazonía ecuatoriana es una región con altas precipitaciones, esto causa un lavado de nutrientes básicos como: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , K^{+1} ; prevaleciendo fuentes de acidez como $\text{Al}^{+3}+\text{H}^{+1}$ (Bravo *et al.*,2015), además de óxidos de hierro, aluminio, cuarzo, caolinita y más minerales tóxicos, provocando esto una disminución en el valor del pH (Gardi *et al.*, 2014; Custode y Sourdat, 1986). Esto explica la correlación media y negativa entre acidez intercambiable y calcio en la profundidad de 10-30 con valores de r: -0,524** (Tabla 9)

Se encontró una correlación alta y negativa entre pH y acidez intercambiable en las ambas zonas altas en el horizonte superficial (Tablas 8, 9) y en la zona baja para el segundo horizonte (Tabla 11) con valores de r: -0,709**; -0,775**; -0,740**; lo cual se corresponde con los valores medidos de ambas variables (Figuras 10 y 11).

El aluminio intercambiable representa un elemento tóxico para las plantas, que dificulta su normal crecimiento y limita la productividad del suelo (Casanova, 2005), a consecuencia de una acidez alta como se puede apreciar en ambos horizontes de la zona alta (Tabla 8 y 10), con una correlación media positiva entre aluminio y acidez intercambiable de 0,517** y 0,563** respectivamente.

4.4.4 Fósforo (P), Potasio (K^{+1}), Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2})

En condiciones de suelos ácidos (pH 5.5-4.5, o <4.5) los iones aluminio (Al^{3+}) se solubilizan y pueden penetrar células radiculares, lo cual inhibe el crecimiento de las raíces y dificulta la absorción de agua y nutrientes esenciales como fósforo y calcio (Kochian *et al.* 2005). En la Amazonía valores bajos de potasio menores a 0,2 meq/100ml son causados por la edafogénesis de estos suelos y por el lavado de cationes intercambiables (Paguay, 2016).

Tabla 9. Matriz de correlación de Speerman de las variables físicas- químicas del suelo Zona baja de 0-10 cm

	Da	Ksat	PT	PA	PR	pH	Al ⁺³ +H ⁺¹	Al ⁺³	MO	P	K ⁺¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²
Da	1,00												
Ksat	0,30	1,00											
PT	-0,19	-0,19	1,00										
PA	-0,25	0,28	0,07	1,00									
PR	-0,12	-0,26	,960**	-0,21	1,00								
pH	-0,11	-0,01	-0,03	0,02	-0,03	1,00							
Al⁺³+H⁺¹	0,09	0,01	0,00	-0,06	0,02	-,775**	1,00						
Al⁺³	-,480**	-0,26	,472**	-0,07	,482**	-0,11	0,16	1,00					
MO	-,734**	-,393*	,481**	-0,07	,490**	0,10	-0,10	,662**	1,00				
P	0,03	0,08	-0,23	-0,09	-0,20	-0,22	0,21	-0,34	-0,10	1,00			
K⁺¹	-0,16	-0,24	0,11	-0,03	0,11	0,03	0,09	0,09	0,15	0,22	1,00		
Ca⁺²	0,09	0,26	-0,21	0,09	-0,23	,577**	-,524**	0,02	-0,02	-0,26	0,03	1,00	
Mg⁺²	0,27	0,13	-0,11	-0,03	-0,10	,383*	-0,33	-0,02	-0,13	-0,23	,387*	,750**	1,00

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

a Profundidad = 0-10 cm, Altitud = Zona Baja (850 msnm)

Da: Densidad aparente del suelo; **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada; **Pt:** Porosidad total; **Pa:** Porosidad de aireación; **Pr:** Porosidad de retención; **pH:** Potencial de hidrogeno; **Al⁺³+H⁺¹:** Acidez intercambiable; **Al⁺³:** Aluminio intercambiable; **MO:** Materia orgánica; **P:** Fosforo; **K⁺¹:** Potasio; **Ca⁺²:** Calcio; **Mg⁺²:** Magnesio.

Dado que los suelos en el área de estudio son muy ácidos, todos sus valores están por debajo de pH 5,0 siendo este un factor determinante afectando e influyendo en el proceso de humificación, actividad biológica y con ello provocando una deficiencia de nutrientes esenciales (P, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺¹, K⁺¹) los mismos que se favorecen en un pH entre 6-7.

Esto explica los siguientes resultados: en el horizonte superficial de ambas zonas se encontró una correlación media positiva existente de fósforo con potasio de 0,503** y 0,448*. También se observó que en el horizonte superficial de la Zona alta (**Tabla 8**) y horizonte subsuperficial de la Zona baja (**Tabla 11**) que se correlacionan positivamente potasio y magnesio con valores de 0,492** y 0,464**.

Calcio y magnesio se correlaciono positivamente en ambas zonas, valores categorizados como medio (0,677**), y alto (0,750**, 0,703** y 0,724**) respectivamente.

4.4.5 Materia orgánica (MO), densidad aparente (Da), Porosidad de retención (Pr) y conductividad hidráulica (Ksat)

La materia orgánica es un parámetro muy importante en los suelos Amazónicos, ya que tiene un mayor impacto en la mejora de las propiedades físicas tales como: densidad aparente, conductividad hidráulica, porosidad de aireación, porosidad de retención y la resistencia a la penetración (Bravo *et al.*, 2017). Esto se expresa en la correlación alta y negativa de -0,734** en el segundo horizonte para la Zona alta entre densidad aparente y materia orgánica, lo cual significa que mientras la materia orgánica aumente pues la densidad aparente disminuirá o viceversa.

Para diagnosticar las posibilidades de penetración y movimiento de agua en el perfil del suelo y las condiciones de aireación, no es suficiente considerar la (Pt), sino que se debe evaluar la distribución de tamaño de poros en macro y microporos, los primeros son los poros de aireación y movimiento del agua y los segundos los de retención de agua (Pla, 1983; Bravo *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2008).

Tabla 10. Matriz de correlación de Spearman de las variables físicas- químicas del suelo Zona alta de 10-30 cm

	Da	Ksat	PT	PA	PR	pH	Al ⁺³ +H ⁺¹	Al ⁺³	MO	P	K ⁺¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²
Da	1,000												
Ksat	-0,106	1,000											
PT	,983**	-0,060	1,000										
PA	-0,136	0,317	-0,030	1,000									
PR	,985**	-0,067	0,990**	-0,052	1,000								
pH	0,006	-0,151	0,081	,371*	0,072	1,000							
Al⁺³+H⁺¹	0,024	0,216	0,037	0,161	0,033	-0,250	1,000						
Al⁺³	-0,175	0,106	-0,146	0,192	-0,150	-0,137	,563**	1,000					
MO	0,044	,460*	0,076	0,143	0,073	-0,095	-0,052	0,017	1,000				
P	0,065	0,269	0,132	0,293	0,126	0,024	,415*	0,189	0,074	1,000			
K⁺¹	-0,031	-0,019	0,030	0,179	0,026	-0,041	0,269	0,150	-0,124	,448*	1,000		
Ca⁺²	,366*	-0,263	0,342	-0,249	0,347	-0,116	,443*	0,305	-0,188	0,028	0,063	1,000	
Mg⁺²	0,179	-0,049	0,119	-,434*	0,129	-0,309	0,348	,393*	-0,294	-0,110	0,112	,703**	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

a Profundidad = 10-30 cm, Altitud = Zona Alta (1100 msnm)

Da: Densidad aparente del suelo; **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada; **Pt:** Porosidad total; **Pa:** Porosidad de aireación; **Pr:** Porosidad de retención; **pH:** Potencial de hidrogeno; **Al⁺³+H⁺¹:** Acidez intercambiable; **Al⁺³:** Aluminio intercambiable; **MO:** Materia orgánica; **P:** Fosforo; **K⁺¹:** Potasio; **Ca⁺²:** Calcio; **Mg⁺²:** Magnesio.

Entonces valores óptimos de micro y macroporos facilitará el transporte, retención de agua y nutrientes lo que conlleva que haya un alto contenido de materia orgánica en el suelo, tal como se pudo observar en la correlación media positiva entre porosidad de retención y materia orgánica en la tabla 9 y 11 de 0,490** y 0,671** respectivamente.

La conductividad hidráulica (K_{sat}) es un parámetro que indica la facilidad con la que los poros del suelo permiten el movimiento del agua y es dependiente de la porosidad, permeabilidad y grado de saturación presente (Barbecho y Calle, 2012), teniendo relación positiva con la porosidad (Bastos y Oliveira, 2004), y promoviendo un contenido óptimo de materia orgánica en la tierra lo que se puede apreciar una correlación media positiva entre conductividad hidráulica y materia orgánica de 0,460* en la tabla 10.

4.4.6 Densidad aparente (D_a) y porosidad de retención (P_r)

La densidad aparente se relaciona con la proporción de poros existente en un volumen de suelo dado. Es decir, un deterioro de la fracción de los poros grandes no permite el drenaje; mientras la profundidad aumenta comienza a disminuir la porosidad (Bravo & Lozano, 2014), dado que existe una mayor fracción de microporos que retienen agua esto causa un incremento en la densidad aparente tal como se muestra la correlación alta positiva entre D_a y P_r en la (Tabla 10) con un valor de 0,985**.

4.4.7 Densidad aparente (D_a) y acidez intercambiable ($AI^{+3}+H^{+1}$)

Es bien conocido que la densidad aparente tiene una fuerte influencia sobre el desarrollo de raíces, la resistencia a la penetración, el movimiento de agua, aire, nutrientes y su disponibilidad (Vera *et al.*, 2012; Álvarez y Taboada, 2008; Martínez *et al.*, 2008). Al ser alta la (D_a) va a prevalecer una deficiencia de los nutrientes básicos teniendo el suelo un $pH < 5.0$, dando lugar a que exista una alta acidez lo que se detalla en la (**Tabla 11**) con una correlación alta positiva de 0,728**, lo cual indica que mientras la densidad aparente aumente la acidez lo hará también o viceversa.

Tabla 11. Matriz de correlación de Speerman de las variables físicas- químicas del suelo Zona baja de 10-30 cm

	Da	Ksat	PT	PA	PR	pH	Al ⁺³ +H ⁺¹	Al ⁺³	MO	P	K ⁺¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²
Da	1												
Ksat	-0,008	1											
PT	-,652**	-0,347	1										
PA	-0,329	0,325	,362*	1									
PR	-,494**	-,553**	,840**	-0,201	1								
pH	-,570**	-,422*	,441*	0,108	,401*	1							
Al⁺³+H⁺¹	,728**	,463**	-,663**	-0,063	-,660**	-,740**	1						
Al⁺³	0	0,254	-0,217	0,144	-0,312	0,084	0,256	1					
MO	-,670**	-0,172	,657**	0,033	,671**	,507**	-,678**	-0,179	1				
P	-0,093	0,022	0,28	0,031	0,277	-0,123	-0,094	-0,098	0,33	1			
K⁺¹	-0,05	-0,061	0,224	-0,136	0,315	0,059	0,013	-0,335	0,246	0,124	1		
Ca⁺²	0,229	-0,092	-0,09	0,071	-0,136	0,133	0,22	0,157	-0,08	0,329	0,284	1	
Mg⁺²	,384*	-0,112	-0,124	-0,139	-0,05	-0,149	,432*	-0,058	-0,23	0,161	,464**	,724**	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

a Profundidad = 10-30 cm, Altitud = Zona Baja (850 msnm)

Da: Densidad aparente del suelo; **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada; **Pt:** Porosidad total; **Pa:** Porosidad de aireación; **Pr:** Porosidad de retención; **pH:** Potencial de hidrogeno; **Al⁺³+H⁺¹:** Acidez intercambiable; **Al⁺³:** Aluminio intercambiable; **MO:** Materia orgánica; **P:** Fosforo; **K⁺¹:** Potasio; **Ca⁺²:** Calcio; **Mg⁺²:** Magnesio.

4.4.8 Aluminio (Al^{+3}) vs Materia orgánica (MO)

Diferentes estudios han confirmado las características químicas y la baja fertilidad natural de estos suelos tropicales y amazónicos, caracterizados por ser ácidos, con alto contenido de materia orgánica, deficientes en P, S, y en bases cambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1}) y alta fijación de óxidos de hierro y aluminio (Bravo *et al.*, 2015; Nieto y Caicedo, 2012; Martín y Pérez, 2009; Simpson *et al.*, 2015). Tal como se muestra en la (Tabla 9) que muestra una correlación positiva media de 0,662** entre Al^{+3} y MO.

4.4.9 Conductividad hidráulica (K_{sat}) vs Porosidad de retención (Pr)

La conductividad hidráulica es un parámetro que indica la facilidad con la que los poros del suelo permiten el movimiento del agua y es dependiente de la porosidad, permeabilidad y grado de saturación presente (Barbecho & Calle, 2012), si hay una fracción superior de microporos que de macroporos la conductividad será menor, ya que el agua será retenida esto se representa en la (Tabla 11) donde hay una correlación media negativa de -0,553** entre (K_{sat}) y (Pr).

4.4.10 Acidez intercambiable ($Al^{+3}H^{+1}$) y materia orgánica (MO)

La acidez intercambiable es la presencia de hidrógeno y aluminio en el suelo, causando una disminución en el pH concentraciones altas de aluminio generan toxicidad en las plantas además de desmejorar las propiedades químicas del suelo como la solubilización, disponibilidad y absorción de nutrientes, esto explica la correlación negativa entre ($Al^{+3}H^{+1}$) y (MO) en la tabla 11 de -,678**.

4.5. ÍNDICE DE CALIDAD FÍSICO- QUÍMICO

A partir de los indicadores seleccionados se procedió a calcular los índices de calidad del suelo, los cuales se muestran en las Tablas (12, 13, 14 y 15).

4.5.1 Índice de calidad Físico-Químico del suelo (ICFQS) Zona alta profundidad 0-10 cm

Se puede observar que en la Zona alta (**Tabla 12**) los dos usos de tierra el (ICFS) fueron similares, categorizados de muy alta calidad (MAC) reflejando que la Densidad aparente (Da) y Porosidad total (Pt) Los valores de porosidad total (Pt) confirman las variaciones en la Da lo que indica su relación directa (Shaver *et al.*, 2002), estas variables dieron más aporte a la calidad física del suelo y a su vez están relacionados con el efecto positivo que genera materia orgánica en ambas variables.

A diferencia de las variables físicas, los parámetros químicos caracterizados por pH ácido, baja fertilidad resultó en un ICQS con rangos de 0,30 para el Bosque primario y 0,34 para el bosque secundario, categorizándose de baja calidad (BC), por tanto, el aporte al índice de calidad del suelo integral es menor que la calidad física.

Estos resultados coinciden con otros estudios realizados en la zona, en donde se destaca que la variable química por su naturaleza posee baja fertilidad debido a los materiales parentales y las condiciones climáticas de las Zonas con alta precipitación que hace que ocurra el lavado de las bases intercambiables (Bravo *et al.*, 2017). Cuando se integró la calidad física y química para obtener el Índice de calidad integral del suelo (ICFQS) se obtuvo para el bosque primario (MC 0,58) y en el bosque secundario alta calidad (AC 0,68).

Tabla 12. Índice de calidad físico y químico del suelo bajo diferentes usos de tierra en la Zona alta

Zona alta profundidad 0-10 cm		
PARÁMETROS	TIPO DE BOSQUE	
	Bosque primario	Bosque secundario
Parámetros físicos		
Densidad aparente D_a ($Mg\ m^{-3}$)	0,91	0,93
Porosidad total P_t %	0,81	0,90
Índice de calidad física del suelo	0,86	0,92
Clase	MAC	MAC
Parámetros químicos		
pH	0,04	0,06
Acidez intercambiable ($Al^{+3}+H^{+1}$)meq/100 ml	0,39	0,56
Materia orgánica(MO) %	0,94	0,84
Fosforo (P) meq/100 g de suelo	0,25	0,36
Potasio (K^{+1}) meq/100 g de suelo	0,22	0,33
Calcio (Ca^{+2}) meq/100 g de suelo	0,11	0,12
Magnesio (Al^{+3}) meq/100 g de suelo	0,14	0,11
Índice de calidad química del suelo	0,30	0,34
Clase	BC	BC
Índice de calidad de suelo total	0,58	0,63
Clase	MC	AC

Las letras están relacionadas con la categorización del índice de calidad de suelos.

MAC: Muy alta calidad; **AC:** Alta Calidad; **MC:** Moderada Calidad; **BC:** Baja calidad; **MBC:** Muy baja calidad.

4.5.2. Índice de calidad Físico – Químico del suelo (ICFQS) Zona baja profundidad 0-10 cm

En la Zona baja existió diferenciación entre tratamientos ya que en el Bosque primario se registró una categorización (ICFS) de alta calidad (AC) con un valor de 0,79, mientras que en el Bosque secundario mejoro la calidad de suelo dando una clase de muy alta calidad (MAC) 0,85 lo cual coincide con los resultados obtenidos en el estudio realizado por Bravo *et al.*, (2015) para distintos usos quien reporta valores de 0,79 en la misma profundidad para el bosque, sabana, eucalipto y Pinar respectivamente de los cuales se ubican en las clases de alta calidad (AC) en el bosque, moderada calidad (sabana) y baja calidad (eucalipto y pino).

El índice de calidad químico de suelo (ICQS) del Bosque primario se mantuvo de baja calidad (BC) a diferencia del bosque secundario, que obtuvo una clase de moderada calidad (MC), el cual mejoro su calidad en la Zona baja.

Finalmente el resultado total de (ICFQS) fue similar al de la Zona alta (MA y AC) para los dos tratamientos, cuyos promedios reflejan una adecuada condición física en la mayoría de los usos de tierra evaluados y variables químicas como el pH, K^{+1} y el Mg^{+2} que a su vez definen distintos procesos como la posibilidad de enraizamiento, compactación movimiento de agua, aireación del suelo y la retención de la humedad muy relacionados con la calidad de estos suelos tal como ha sido señalado por Bravo *et al.*, (2017).

Tabla 13. Índice de calidad físico y químico del suelo bajo diferentes usos de tierra en la Zona baja

Zona Baja profundidad 0-10 cm		
PARAMETROS	TIPO DE BOSQUE	
	Bosque primario	Bosque secundario
Parámetros físicos		
Densidad aparente (Da) Mg m⁻³	0,82	0,93
Porosidad total (Pt) %	0,78	0,99
Porosidad de retención (Pr) %	0,78	0,63
Índice de calidad física del suelo	0,79	0,85
Clase	AC	MAC
Parámetros químicos		
pH	0,12	0,16
Acidez intercambiable (Al⁺³+H⁺¹)meq/100 ml	0,40	0,46
Aluminio Al⁺³ meq/100 ml	0,21	0,44
Calcio (Ca⁺²) meq/100 g de suelo	0,12	0,14
Materia orgánica(MO) %	0,51	1,03
Magnesio (Al⁺³) meq/100 g de suelo	0,19	0,18
Índice de calidad química del suelo	0,26	0,40
Clase	BC	MC
Índice de calidad de suelo total	0,53	0,63
Clase	MC	AC

Las letras están relacionadas con la categorización del índice de calidad de suelos.

MAC: Muy alta calidad; **AC:** Alta Calidad; **MC:** Moderada Calidad; **BC:** Baja calidad; **MBC:** Muy baja calidad.

4.5.3. Índice de calidad Físico - Químico del suelo (ICFQS) Zona Alta Profundidad 10-30 cm

En la Zona alta los resultados obtenidos en el (ICFS) los dos usos de suelo, fueron mayores en el bosque primario con una categorización de clase muy alta calidad (MAC) en un rango de 0,90 mientras que en el bosque secundario se obtuvo un menor valor 0,74 perteneciente a la clase de alta calidad (AC). En contraparte el índice de calidad químico del suelo (ICQS) en ambos tratamientos se encontró una categorización de baja calidad. Uno de los parámetros que también influye en la calidad química del suelo es la acidez intercambiable, ya que según (Casanova, 2005). La alta concentración de Al^{+3} genera toxicidad en las plantas, además de tener un efecto negativo sobre las propiedades químicas del suelo como la solubilización, disponibilidad y absorción de nutrimentos, físicas como estructura y estabilidad y estabilidad de agregados y biológicas como tipo de organismos presentes en el suelo, ocasionando así una reducción en el crecimiento de las raíces.

Finalmente, el índice total de calidad (ITCFQS) arrojó una de clase de moderada calidad (MC) para ambos usos de suelo, siendo notablemente visible que en la segunda profundidad independientemente del uso de suelo y de la zona, existe una disminución del índice de calidad. Los cambios de calidad del suelo entre una y otra profundidad están determinados por el descenso de la materia orgánica que a su vez disminuye los valores de algunos índices estructurales. En este contexto Lozano *et al.*, (2009) el aumento con la profundidad puede estar relacionado a diferencias en la composición química de los horizontes y el aumento a nivel superficial en algunos tratamientos a la liberación de iones ácidos por la disminución del pH y el aumento de la materia orgánica.

Tabla 14. Índice de calidad físico y químico del suelo bajo diferentes usos de tierra en la Zona alta

Zona Alta Profundidad 10-30 cm		
PARAMETROS	TIPO DE BOSQUE	
	Bosque primario	Bosque secundario
Parámetros físicos		
Densidad aparente (Da) Mg m⁻³	0,80	0,77
Conductividad hidráulica saturada (K_{sat})cm h⁻¹	0,90	0,59
Porosidad de aireación(Pa) %	0,99	0,85
Índice de calidad física del suelo	0,90	0,74
Clase	MAC	AC
Parámetros químicos		
Acidez intercambiable (Al⁺³+H⁺¹)meq/100 ml	0,09	0,15
Calcio (Ca⁺²)meq/100 g de suelo	0,08	0,06
Materia orgánica(MO) %	0,56	0,65
Índice de calidad química del suelo	0,24	0,28
Clase	BC	BC
Índice de calidad de suelo total	0,57	0,51
Clase	MC	MC

Las letras están relacionadas con la categorización del índice de calidad de suelos.

MAC: Muy alta calidad; **AC:** Alta Calidad; **MC:** Moderada Calidad; **BC:** Baja calidad; **MBC:** Muy baja calidad.

4.5.4. Índice de calidad Físico- Químico del suelo (ICFQS) Zona baja profundidad 10-30 cm

Los resultados obtenidos en la Zona baja fueron similares en ambas zonas, tanto para tratamientos como para profundidad, registrando un resultado en el (ICFS) para el bosque primario una clase de alta calidad (AC) 0,72 y el bosque secundario muy buena calidad (MAC) 0,91. Es importante destacar, que el papel de las propiedades físicas de los suelos, lo cual ha permitido un mejoramiento de los índices de calidad estructurales relacionados con la calidad física de los suelos como D_a , k_{sat} , P_a , P_r y la resistencia a la penetración (Bravo *et al.*, 2017).

En el índice de calidad (ICQS) los valores fueron bajos dando una clase de baja calidad (BC) que fueron valores entre 0,31 y 0,34, estos valores por lo general no aportan al índice de calidad del suelo. Gardi *et al.*, (2014) menciona que en zonas muy húmedas los suelos se encuentran pobres en nutrientes como es el caso del magnesio debido a que están sujetas al lavado (lixiviación) disminuyendo los nutrientes disponibles para las plantas.

En base a la integración de la calidad física y química produjeron un ICFQS entre MC 0,52 y (AC) 0,63 que al igual que en la zona alta, los valores disminuyen a medida que la profundidad aumenta.

Tabla 15. Índice de calidad físico y químico del suelo bajo diferentes usos de tierra en la Zona baja

Zona Baja Profundidad 10-30 cm		
PARAMETROS	TIPO DE BOSQUE	
	Bosque primario	Bosque secundario
Parámetros físicos		
Densidad aparente D_a (Mg m⁻³)	0,66	0,88
Conductividad hidráulica saturada (K_{sat})cm h⁻¹	0,87	0,93
Porosidad total (Pt) %	0,68	0,88
Porosidad de retención (Pr) %	0,67	0,96
Índice de calidad física del suelo	0,72	0,91
Clase	AC	MAC
Parámetros químicos		
pH	0,10	0,22
Acidez intercambiable ($Al^{+3}+H^{+1}$) meq/100 ml	0,59	0,15
K	0,51	0,57
Calcio (Ca^{+2}) meq/100 g de suelo	0,05	0,04
Materia orgánica(MO) %	0,32	0,74
Índice de calidad química del suelo	0,31	0,34
Clase	BC	BC
Índice de calidad de suelo total	0,52	0,63
Clase	MC	AC

Las letras están relacionadas con la categorización del índice de calidad de suelos.

MAC: Muy alta calidad; **AC:** Alta Calidad; **MC:** Moderada Calidad; **BC:** Baja calidad; **MBC:** Muy baja calidad.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La caracterización física y química en los dos usos de suelo y zonas estudiadas mostró suelos con óptimas condiciones físicas reflejadas por los índices estructurales con baja Densidad aparente (Da), alta Conductividad hidráulica saturada (Ksat) y adecuada distribución de la porosidad (Pt, Pa y Pr) mientras que la propiedad química exhibió suelos con pH ácido, presencia de aluminio intercambiable, con baja disponibilidad de P y bases intercambiables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}).
- Las correlaciones más importantes que se encontró en el estudio fueron: porosidad total (Pt) vs porosidad de retención (Pr), potencial de hidrógeno (pH) vs acidez intercambiable ($Al^{+3}+H^+$), Densidad aparente (Da) vs Materia orgánica (MO) y los nutrientes fósforo, potasio, calcio, magnesio entre sí (P, K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}).
- El índice de calidad del suelo (ICS) fue ligeramente similar en ambos usos y gradiente altitudinal, el cual osciló de moderada calidad (MC) a alta calidad (AC) y estuvo mayormente influenciado por las características físicas que la química ya que disminuyó con la profundidad, independientemente del uso de la tierra el horizonte superficial presenta mejores condiciones físicas y químicas que el segundo horizonte lo cual influye en el índice de calidad del suelo.
- Las propiedades físicas y químicas cambian respondiendo a la naturaleza de la region, profundidad donde fue tomada la muestra, condiciones meteorológicas y la alta humedad de la región amazónica, provocando en sus suelos una deficiencia de nutrientes (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , K^{+1}) y alta presencia de tóxicos como los óxidos de hierro y aluminio dando como resultado un disminución del pH y alta acidez, sin embargo no se mostraron variaciones significativas en lo que respecta al cambio de uso de suelo de bosque primario a secundario en las gradientes altitudinales estudiadas.

Recomendaciones

- Para mejorar el diagnóstico y caracterización del suelo bajo los usos se recomienda analizar a más de las variables fisicoquímicas el componente biológico que aportara datos relevantes en la investigación.
- Dentro de los parámetros fisicoquímicos estudiados se debería incluir textura y nitrógeno aspectos importantes en el funcionamiento y estructura de la tierra.
- Es recomendable realizar un estudio que complemente a este sobre las alternativas de manejo sostenible en la microcuenca del río Puyo, con el fin de reducir los impactos provocados por las actividades productivas sobre el suelo.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, A. y Forsythe, W. 2011. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Revista Agronomía Costarricense*, 29(1), 85-94.
- Álvarez, CR y M.A Taboada. (2008). Fertilidad física de los suelos. Segunda Edición. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. 237 p.
- Abreu, S., Reichert, J. y Reinert, D. (2004). Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 28, 519- 531. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300013>
- Altieri M.A., Nicholls C.I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología* 8(1): 7-20.
- Aparicio, V & JL Costa. (2007). Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96:155- 165.
- Astier-Calderón, M., M. Maass-Moreno y J. Etchevers-Barra. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.
- Baligar V, Fageria N (1997) Nutrient use efficiency in acid soils: Nutrient management and plant use efficiency. In: A. C. Moniz et al. (ed) *Plant-Soil Interactions at low pH stress*: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp75-93
- Barbecho, J. y Calle, J. (2012). Caracterización de la conductividad hidráulica de los suelos de la subcuenca del Río Tarqui. Tesis Ingeniería Civil. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Bastos, M. y Oliveira, S. (2004). A dependência entre a conductividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Revista Ciência Rural*, 34. 963-969. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000300052>
- Bautista Criuz, A., Etchevers Barra, J., Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13 (2): 90-97
- Bertsh, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la ciencia del suelo, 157.

- Blake, G. R., & Hartge, K. (1986). Bulk Density¹. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods (methodsofsoilan1)*, 363-375.
- Blanco, JA. (2017). Bosques, suelo y agua: explorando sus interacciones. *Ecosistemas* 26(2): 1-9.
- Bone, J., Head, M., Barraclough, D., Archer, M., Scheib, C., Flight, D., & Voulvoulis, N. (2010). Soil quality assessment under emerging regulatory requirements. *Environment International*, 36, 609-622.
- Brady, N and WEIL, R. 2002 Soil acidity: Calcium and Magnesium as plant nutrients *Cap* 9:11 pg. 404-410.
- Bravo, C., Lozano, Z., Hernández-Hernández, R. M., Cánchica, H., González. (2008). Siembra directa como alternativa agroecológica para la transición hacia la sostenibilidad de las sabanas. *Acta biológica venezolana*. Vol 28,pp:15-28.
- Bravo, C. (2015). Manejo del recurso suelo bajo agro ecosistemas ganaderos. En: Retos y posibilidades para una ganadería sostenible en la provincia de Pastaza de la Amazonía Ecuatoriana. Universidad Estatal Amazónica. Puyo-Pastaza. 15-45 pp.
- Bravo, C., Benítez, D., Vargas-Burgos, J. C., Alemán, R., Torres, B., & Marín, H. (2015). Socio- Environmental Characterization of Agricultural Production Units in the Ecuadorian Amazon Region, Subjects Pastaza and Napo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*. 4 (1): 3-31.
- Bravo, C., Torres, B., Changoluisa, D., Marín, H., & Torres, R. (2016). Impacto ambiental de los sistemas de ganado en la amazonía ecuatoriana. Universidad Estatal Amazónica.
- Bravo, 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, Amazonía ecuatoriana. *Bioagro*, 29(1), 23-36.
- Bravo, C., Ramirez, A., Marín, H., Torres, B., Navarrete, H., & Changoluisa, D. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. Universidad Estatal Amazónica.

- Bravo, C., Torres, B Aleman, R., Aleman, R., Torres, R., Navarrete, H., & Changoluisa, D. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la region Amazónica ecuatoriana. *REDVENT*, 18 (11), 1-16.
- Buol, S.W; Hole, F.D; Maccraken, R.J. (1989). *Soil genesis and classification*. Third edition. Iowa State University Press. 446 p.
- Buestan, (2013). Evaluacion de tres distancias y dos sistemas de siembra de pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp) en el área del centro de investigación postgrado y conservación Amazónica.
- Bruckler, L. 1998. Les transferts dans le sol. pp. 29-40. In: P. Stengel et S. Gelin (coord.). *Sol interface fragile*. Editions de l'Institut National de la Recherche Agronomique. Paris, France.
- Caiza, D. (2015) Obtenido de Estudio de la degradación física del suelo y plan de manejo ambiental para la finca de Luis Cevallos.
- Cantú, M., Becker, A., Bedano, J., & Schiavo, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del Suelo*, 25, 173-178.
- Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Central de Venezuela. - UCV. Consejo de desarrollo Humanístico y Científico, Caracas. Venezuela. 481 pp.
- Colin, S. (2015). La importancia de rescatar, preservar, mantener y cuidar la micro cuenca del Río Magdalena, Distrito Federal. *Revista del Centro de Investigación de la Universidad de la Salle*. Vol. 5, núm. 19.
- Custode. E y Sourdat M. (1986). Paisajes y suelos de la Amazonía ecuatoriana: entre la conservación y la explotación. *Revista del Banco Central del Ecuador* 24: 325-339.
- Dávila, M; Mora, A; Márquez, O; Lugo, L y Peña, C. (2009). Evaluación de dos sistemas silvopastoriles mediante indicadores de calidad de suelo. *El vigía, estado Mérida. Agricultura Andina* 17: 16-32.
- Doran, J.W. y Parkin T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek y B. A. Stewart. (eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Pub. No. 35. ASA, CSSA y SSSA, Madison, WI.

- DÖRNER, J. y HORN, R. (2006). Anisotropy of pore functions in structured Stagnic Luvisols in the Weichselien moraine region in N Germany. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 169: 213-220.
- Duval, E., Galantini, J., Wall, L., & Lopez, F. (2015). Valuación de la calidad física de los suelos de la región pampeana: efecto de las prácticas de manejo. *Ciencias Agronomicas*, 33-34
- Encalada, A. C., Calles, J., Ferreira, V., Canhoto, C., & Graça, M. A. S. (2010). Riparian land use and the relationship between the benthos and litter decomposition in tropical montane streams. *Freshwater Biology*, 55(2), 1719-1733.
- Eyherabide, Mercedes, Saínz Rozas, Hernán, Barbieri, Pablo, & Echeverría, Hernán Eduardo. (2014). COMPARISON OF METHODS FOR DETERMINING SOIL ORGANIC CARBON. *Ciencia del suelo*, 32(1), 13-19. Recuperado en 23 de enero de 2019, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672014000100002&lng=es&tlng=en.
- Espinosa, J; Moreno, J; Bernal, G; Sevillano, G; Valverde, O; Loayza, V; Haro, R; Zambrano, J; Yerovi, F; Herrera, M; Yáñez, D; Merlo, J; Sánchez, D; Acosta, M; & Lasso, L. (2016). Suelos de Ecuador: amplia diversidad en un pequeño país. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.
- FAO. (2009). Los bosques y el agua. Estudio FAO Montes 155. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italia.
- FAO. (2016). Propiedades físicas del suelo. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/levantamientode-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-físicas/es/>. [15 junio 2017].
- 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. Maracay: Instituto de Edafología –Facultad de Agronomía-UCV.
- GADPPz. (2012). Plan de desarrollo de la provincia de Pastaza al año 2025.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz

- Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (eds), (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp
- Gliessman, S. R. (2007). Agroecology. The ecology of sustainable food system. Second Edition. Taylors & Francis Group. New York. United Sated. 384 pp.
- Gonzales, L., Gonzales, G., Sanchez, I., Lopez, A., & Valenzuela, M. (2010). Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. *Terra. Latinoamericana*, 369-377.
- Guatibonza, M., Álvarez-Herrera, J. y Sanabria, J. (2009). Distribución espacial de la conductividad hidráulica en un lote de la granja Tinguavita (Paipa, Colombia). *Agronomía Colombiana*, 27(2): 261.
- Hamza, MA & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82: 121-145.
- Hernández-Hernández, R.M. y D. LópezHernández. (2002). Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage. *Soil Biol. Biochem.* 34:1563-1570
- Hernández-Hernández R. M; E. Ramírez; I. Casto y S. Cano. (2008). Cambios en indicadores de calidad de suelos de ladera reforestados con pinos (*Pinus caribaea*) y Eucaliptos (*Eucalyptus robusta*). *Agrociencia*, 42:253-266.
- INIAP. (2012). Niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelos.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (2010). Censo de Población y vivienda: Resumen Metodológico. Quito.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (2014). Anuario Meteorológico. Quito.
- Jacobsen, D. (2008). Tropical High-Altitude Streams. En D. Dudgeon (Ed.), *Tropical Stream Ecology* (pp. 219-256). Amsterdam: Elsevier Inc.
- Jacques D., Kergoat L., Hiernaux P., Mougín E. y Defourny P. (2014). Monitoring dry vegetation in semi-arid areas with MODIS SWIR bands. *Remote Sens. Environ.* 153, 40-49. DOI: 10.1016/j.rse.2014.07.027.

- Karlen, D.L., Andrews, S.S., & Doran, J.W. (2001). Soil quality: current concepts and applications. *Advances in Agronomy*, 74, 1-40.
- Kochian L (1995) Cellular mechanism of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 46: 237-260
- Loaiza, J.C. 2010. El recurso suelo. *Suelos Ecuatoriales*: 41 (1):6-18.
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los Trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas – posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido-*. Ed: Cooperación Técnica. República Federal de Alemania. 335 p.
- Lozano, J., Madero, E., Tafur, H., Herrera, O. y Amézquita, E. (2005). La conductividad hidráulica del suelo estudiada en el Valle del Cauca con el nuevo indicador del USDA. *Acta Agronómica*, 54(3), 11-18.
- Lopez, A., Gonzales, G., Cadena, M., & Gonzale, J. (2011). Efecto de la labranza sobre la porosidad de un suelo arcilloso de pastizal estimada mediante analisis de imagen. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y de Ambiente*, 33-44.
- López A., V., Espíndola, F., Calles, J. y Ulloa, J. (2013). Atlas "Amazonía Ecuatoriana Bajo Presión". EcoCiencia. Quito-Ecuador.
- MAE. (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito- Ecuador
- Marschner, H. (1986). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Londres. pp. 7-73, 285-299.
- Martínez, E; J. Fuentes; P. Silva; S. Valle; E. Acevedo. (2008). Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil Till. Res.* 99: 232–244.
- Martin, & Perez. (2009). Evaluación agro productiva de cuatro sectores de la provincial de Pastaza en la Amazonia ecuatoriana. *SciELO*, 30(1)
- McBratney, A; Field, DJ and Koch, A. (2013). The dimensions of soil security. *Geoderma* 213 (2014): 203-213 Martín, & Pérez. (2009). Evaluación agro productiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana, *sciELO*, 30(1)

- MCPEC. (2011) Agenda para la transformación productiva territorial: Provincia de Pastaza.
- Meli, P., Aguilar-Fernández, R. y Carabias, J. (2015). Restauración ecológica en Marqués de Comillas. En J. Carabias, J. de la Maza y R. Cadena (Coord.). Conservación y desarrollo sustentable en la Selva Lacandona. 25 años de actividades y experiencias (pp. 429-458), México D.F., México: Natura y Ecosistemas Mexicanos A.
- Moebius, BN; HM van Es; RR Schindelbeck; OJ Idowu; DJ Clune & JE Thies. (2007). Evaluation of laboratory-measured soil properties as indicators of soil physical quality. *Soil Sci.* 172: 895-912.
- NAVARRO, G. y NAVARRO, S. Química agrícola, química del suelo y de nutrientes esencial. 3 ed. Madrid (España): Mundi-Prensa, (2013), 492 p.
- Oldeman, L.R., y G.W.J van Lynden. (1998). Revisiting the Glasod Methodology. pp 423-440. In: R. Lal et al. (eds.) Methods for Assessment of soil degradation. Advances in Soil Science. CRC Press Boca Raton, Florida, USA
- Paguay, D. (2016). Influencia de los sistemas agroforestales y monocultivo de cacao sobre la calidad del suelo, en el cantón Arosemena tola.
- Pla, I. (1983). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Rev. Alcance Fac. Agron. UCV 32. 91 p
- Pla, I, (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. Propiedades Mecánicas. Suelos Ecuatoriales 40 (2):75-93.
- Rojas, L. M., Rojas-Palacio, H., MenjívarFlórez, J. C. (2008.) Estimación de la conductividad hidráulica saturada in situ en un suelo tratado con vinaza. Acta Agron (Palmira). 57 (2): 125-128.
- Samaniego, E. (2015) Líneas estratégicas para el manejo del bosque húmedo tropical premontano en la estribación oriental del Parque Nacional Llanganates, Ecuador. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. 175p: 27
- Sarandon, S., & Flores, C. (2014). La insustentabilidad del modelo de la agricultura actual.
- Schulte, E., & Hopkins, B. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. *Soil organic matter: Analysis and interpretation*(soilorganicmatt), 21-31.

- Shaver, T.M., G.A. Peterson, L.R. Ahuja, D.G. Westfall, L.A. Sherrod y G. Dunn. (2002). Surface soil physical properties after twelve years of Dryland No-Till Management. *Soil Sci. Soc. Am J.* 66: 1296-1303
- Silva Arroyave, S., & Correa Restrepo, F. (2009). ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO: REVISIÓN DE LA NORMATIVA Y POSIBILIDADES DE LA REGULACIÓN ECONÓMICA. *Semestre Económico*, 12 (23), 13-34.
- Singer, M.J. y Ewing, S. (2000). Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Smedema, L.K. y D.W. Rycroft. (1988). *Land drainage: planning and design of agricultural drainage systems*. Batsford Academic, London.
- Sparling, G.P. (1997). Soil Microbial Biomass, Activity and Nutrient Cycling, as Indicators of Soil Health. En *Biological Indicators of Soil Health* (eds. Pankhursts, C.E., Doube, B.M. y Gupta, V.S.R.), pp. 97-105, Cab International, Oxon, UK.
- SQI-Soil Quality Institute. (1996). *Indicators for Soil Quality Evaluation*. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
- Taalab, KP; R Corstanje; R Creamer & MJ Whelan. (2013). Modelling soil bulk density at the landscape scale and its contributions to C stock uncertainty. *Biogeosci.* 10: 4691-4704.
- Vallejo-Quintero, V.E. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal* Vol. 16(1): 83-99.
- Vera, S., Lozano, Z., Lobo, D., Bravo, C., Hernández, R.M y Delgado, M. (2012). Propiedades físicas del suelo y distribución de raíces de maíz bajo diferentes tipos de cobertura y fertilización en un sistema conservacionista cereal-ganado. *Rev. Fac. Agron. (UCV)* 38(2): 49-63. 2012.
- Viana, R.C., Ferraz, JBS., Neves J.R., A.F., Viera, G., Pereira, B.F.F., (2014). Soil quality indicator for different restoration stages on Amazonrainforest. *Soil & Tillage Research* 140, 1-7.

Von Uexküll H, Mutert E (1995) Global extent development and economic impacts of acid soils. *Plant and Soil* 171: 1-15

WILLEY, N. Environmental plant physiology. 1 ed. New York (USA): Garland Science, (2016), 320 p.

CAPÍTULO VI. ANEXOS

<p>Figura 1. Tamizado de muestras alteradas.</p>	<p>Figura 2. Preparación de muestras en el laboratorio</p>	<p>Figura 3. Peso de inicial de muestras alteradas</p>
		
<p>Figura 4. Colocación de muestras a saturación 24 horas.</p>	<p>Figura 5. Filtración de agua en las muestras.</p>	<p>Figura 6. Saturación de muestras en el plato poroso.</p>
		
<p>Figura 7. Toma del peso seco.</p>	<p>Figura 8. Peso del cilindro.</p>	<p>Figura 9. Agitación de muestras para medir pH.</p>
		
<p>Figura 10. Medición de pH.</p>	<p>Figura 11. Filtración de muestras de suelo.</p>	<p>Figura 11. Toma de olsen filtrado para la determinación de fosforo.</p>
		

<p>Figura 12. Adición de tres gotas de rojo de metilo y fenolftaleína.</p>	<p>Figura 13. Lectura para la obtención de fósforo.</p>	<p>Figura 14. Espectrofotómetro de absorción atómica.</p>
		
<p>Figura 15. Lectura de Ca, K, Mg en el espectrofotómetro.</p>	<p>Figura 16. Ingreso de muestras a la estufa a 365 °C</p>	<p>Figura 17. Peso de muestras para la determinación de materia orgánica.</p>
		
<p>Figura 18. Prueba de conductividad.</p>	<p>Figura 19. Peso de muestras para prueba de porosidad.</p>	
		