UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título a obtener:

INGENIERO AMBIENTAL

Título del Proyecto de Investigación:

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO BAJO LOS DISTINTOS USOS DE LA TIERRA MEDIANTE PARÁMETROS AMBIENTALES EN LA COMUNIDAD BOAYACU, PARROQUIA TENIENTE HUGO ORTIZ, CANTÓN PASTAZA, PROVINCIA PASTAZA.

AUTORAS:

SHIGUANGO AJON KAINA MISHEL

ZAMBRANO CAYANCELA SAIDA ESTEFANÍA

DIRECTOR:

PhD. CARLOS BRAVO

PUYO-ECUADOR

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y SESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscribimos, Nosotras, Kaina Mishel Shiguango Ajon portadora de la cédula de identidad No. 1501104887 y Saida Estefania Zambrano Cayancela portadora de la cédula de identidad No 0604645168, hacemos constar que somos las autoras del Proyecto de Investigación con el Título: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO BAJO LOS DISTINTOS USOS DE LA TIERRA MEDIANTE PARÁMETROS AMBIENTALES EN LA COMUNIDAD BOAYACU, PARROQUIA TENIENTE HUGO ORTIZ, CANTÓN PASTAZA, PROVINCIA PASTAZA", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del asesor de dicho trabajo, Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina. En tal sentido, se manifiesta la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de las conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo, a la vez cedemos los derechos a la Universidad Estatal Amazónica que pueda realizar publicaciones sobre la misma así como su almacenamiento tanto en medio físico y electrónico.

En la ciudad de Puyo, a los 05 días del mes de Febrero de dos mil Dieciocho.

Kaina Mishel Shiguango Ajon

1501104887

Saida Estefania Zambrano Cayancela

0604645168

Dr. Carlos A. Bravo Medina, PhD.

1757015373

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Por medio del presente, Yo, Carlos Alfredo Bravo Medina, con número de cedula 1757015373 certifico que las egresadas Saida Estefanía Zambrano Cayancela; Kaina Mishel Shiguango Ajon realizaron el Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado: "Evaluación de la calidad del suelo bajo los distintos usos de la tierra mediante parámetros ambientales en la comunidad Boayacu, parroquia Teniente Hugo Ortiz, cantón Pastaza, provincia Pastaza", previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental bajo mi supervisión.

Dr. Carlos A. Bravo Medina, PhD.

DIRECTOR DE PROYECTO

AVAL

Doctor:
CARLOS ALFREDO BRAVO MEDINA
Docente de la Universidad Estatal Amazónica avaliza el Proyecto de investigación:

Título: "Evaluación de la calidad del suelo bajo los distintos usos de la tierra mediante parámetros ambientales en la Comunidad Boayacu, Parroquia Teniente Hugo Ortiz, Cantón Pastaza, Provincia Pastaza."

Autoras: Shiguango Ajon Kaina Mishel; Zambrano Cayancela Saida Estefanía

Certifico haber acompañado el proceso de elaboración del Proyecto de Investigación y considero cumple los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución.

Por lo antes expuesto se avala el Proyecto de investigación para que sea presentado ante la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Ambiental como forma de titulación como Ingeniero Ambiental, y que dicha instancia considere el mismo a fin de que tramite lo que corresponda.

Para que a si conste, firmo la presente a los **28** días del mes de **Noviembre** del 2017.

Atentamente,

Dr. CARLOS ALFREDO BRAVO MEDINA, PhD
C.I: 1757015373

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL

DE SUSTENTACIÓN

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO BAJO LOS DISTINTOS USOS DE LA TIERRA MEDIANTE PARÁMETROS AMBIENTALES EN LA COMUNIDAD BOAYACU, PARROQUIA TENIENTE HUGO ORTIZ, CANTÓN PASTAZA, PROVINCIA PASTAZA", fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

_____

Dr.C. Ricardo Abril

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

_____

Dr.C. Segundo Valle

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

_____

MSc. Douglas Guzmán

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A Dios, por protegerme y guiarme a lo largo de mi carrera y por haberme dado la oportunidad de tener experiencias y nuevos aprendizajes durante el estudio.

Agradezco a mis padres José Luis Shiguango y Rosa Ajon por haberme inculcado valores y por su apoyo incondicional, moral y económico para alcanzar una meta más de mi vida.

A mis hermanos quienes estuvieron a mi lado y por ser parte de mis tristezas, alegrías y triunfos, quienes supieron darme amor y cuidado cuando lo necesite.

A mi compañera de trabajo Saida Zambrano por haber logrado nuestro objetivo con mucho esfuerzo y perseverancia. A Monica, Amber y Saida por brindarme su amistad durante mi formación y apoyarme en las buenas y en las malas.

Al Dr. Carlos Bravo tutor de tesis, por su paciencia, por su valiosa dirección y por todo el apoyo brindado para la culminación de este trabajo.

A mis maestros quienes influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida.

A todos ellos gracias.

Kaina Mishel Shiguango Ajon

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, nuestro padre por llenarme de su inspiración para realizar esta actividad guiándome en cada momento. A mis padres quienes son el pilar central en mi vida y e hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, mis hermanos Jinson, Lisbeth y José Romeo que siempre han estado junto a mí brindándome su apoyo. Con todo amor y cariño se las dedico a ustedes y a mi sobrino Dylan. A mi amiga y compañera de tesis Saida Zambrano que gracias a las experiencias compartidas se ha logrado cumplir este gran reto.

Kaina Mishel Shiguango Ajon

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres por la confianza y el apoyo brindado, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi hermana que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo compartiendo conmigo buenos y malos momento.

A Luis Yucta, por su apoyo incondicional en el trascurso de mi carrera, por compartir momentos de alegría, tristeza y demostrándome que siempre podré contar con él.

Al Doctor Carlos Bravo por toda la colaboración y tiempo brindado durante la elaboración de este proyecto.

Finalmente a Kaina, Mónica, Amber por cada una con sus valiosas aportaciones hicieron posible este proyecto y por la gran calidad humana que me ha demostrado con su amistad.

Saida Estefanía Zambrano Cayancela

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más. A mis padres por ser el pilar más importante, por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi hermana, a quien quiero como a una madre, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento. A Enrique, porque te amo infinitamente por aquel apoyo que me brindaste incondicionalmente. A mi compañera, Kaina porque sin el equipo que formamos, no hubiéramos logrado esta meta.

Saida Estefanía Zambrano Cayancela

Resumen

La calidad del suelo incluye un mínimo de indicadores físicos y químicos de suelo que caracteriza su calidad y a su vez se convierta en una herramienta para definir los cambios de manejo para su mejoramiento y mantenimiento en el tiempo. Bajo esta premisa el objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del suelo bajo parámetros físicos y químicos en la comunidad Boayacu de la Parroquia Teniente Hugo Ortiz, cantón Pastaza, provincia Pastaza. Se seleccionaron seis fincas con dos usos de tierra más representativos de la zona codificados como: Chakra_A, Chakra_B, Chakra_A y Ganadería_A; Ganadería_B; Ganadería_C y se realizó un muestreo de suelo a dos profundidades (0-10 cm y 10-30 cm) usando una transecta con cinco puntos de muestreo para la determinación de indicadores físicos (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr), químicos (pH, COT, P, acidez intercambiable, Al^{3+}, K^{+1}, Ca^{+2}, Mg^{+2}). Para seleccionar el grupo de indicadores se usó un análisis de componentes principales y la correlación de Speerman escogiendo las variables de mayor carga y grado de asociación. Posteriormente, se establecieron unos valores máximos y mínimos para cada indicador que se contrasto con el valor medido, a partir de los cuales se normalizaron los indicadores y se obtuvo los índices de calidad física y química del suelo para cada uso de tierra seleccionado. El índice de calidad física del suelo (ICS) en ambas profundidades presentó una alta calidad independientemente del uso de tierra presentando una similitud en Ganadería C-A (0,69), pero varía para la profundidad de 10-30 cm presentando una moderada calidad. El índice de calidad química del suelo (ICQS) vario con la profundidad y uso de la tierra oscilando de moderada calidad a baja calidad.

Palabras Claves: Uso de la Tierra, índice de calidad del suelo, Indicadores, Región amazónica ecuatoriana.

Summary

The quality of the soil includes a minimum of physical and chemical indicators of soil that characterizes its quality and in turn becomes a tool for defining the management changes for their improvement and maintenance over time. Under this premise, the objective of this work was to evaluate the quality of the soil under physical and chemical parameters in the community Boayaku the parish Teniente Hugo Ortiz, canton Pastaza. Six farms with two of the most representative land uses of the area coded as: Chakra_A, Chakra_B, Chakra_A y Ganadería_A; Ganadería_B; Ganadería_C and a soil sampling at two depths (0 to 10 cm and 10-30 cm) using a five-point transect sampling for the determination of physical indicators (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr), chemicals (pH, COT, P, exchangeable acidity, Al^{3+}, K^{+1}, Ca^{+2}, Mg^{+2}). To select the group of indicators using principal component analysis and correlation of Speerman choosing the variables with the highest load and degree of association. Subsequently, set minimum and maximum values for each indicator that is contrasted with the value measured, from which the indicators and the quality indexes of physics and chemistry of the soil for each land use selected. The rate of soil physical quality (ICS) in both depths presented a high quality regardless of the use of land by filing a similarity in livestock C-A (0,69) , but it varies for the depth of 10-30 cm by presenting a moderate quality. The rate of chemical quality of ground (ICQS) varied with depth and use of the land ranging from moderate quality to low quality.

Key Words: Land Use, soil quality index, Indicators, Ecuadorian Amazon Region.

ÍNDICE

CAPÍTULO I 1
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Hipótesis 2
1.2. Objetivos: 2
CAPÍTULO II 4
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN 4
2. Suelo 4
2.1. Clasificación de suelo y características asociadas a la calidad 4
2.2. Uso de Tierra 6
2.3. Efecto de la ganadería sobre las características del suelo 7
2.4. Degradación del suelo 8
2.5. Calidad del suelo 9
2.6. Indicadores de la calidad del suelo 10
2.6.1 Indicadores físicos 10
2.6.2. Indicadores químicos 11
CAPÍTULO III 12
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 12
3.1. Localización 12
3.2. Tipo de investigación 13
3.3. Métodos de investigación 13
3.4. Diseño de Investigación 13
3.5. Mediciones experimentales: 15
3.5.1. Análisis Físicos 15
3.5.2. Análisis Químicos 16
3.6. Obtención del índice de calidad del suelo 16

CAPÍTULO IV 19
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 19
4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA-QUÍMICA DEL SUELO BAJO DISTINTOS USOS DE LA TIERRA 19
4.2. Parámetros físicos 19
4.2.1. La densidad aparente (Da) 19
4.2.2. Conductividad hidráulica saturada (Ksat) 20
4.2.3. Porosidad Total (Pt) 21
4.2.4. Porosidad de aireación (Pa) 22
4.2.5. Porosidad de retención (Pr) 22
4.3. Parámetros químicos 23
4.3.1. Materia Orgánica (MO) 23
4.3.2. Variación del pH 24
4.3.3. Acidez Intercambiable (Al^{+3} +H^{+1}) 25
4.3.4. Aluminio (Al^{+3}) 26
4.3.5. Disponibilidad de Bases Intercambiables (Potasio (K^{+1}), Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2}) 27
4.3.6. Fósforo (P) 30
4.4. OBTENCIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO 35
4.4.1. Índice de calidad física del suelo 35
4.4.2. Índice de calidad química del suelo 37
CAPITULO V 40
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 40
Conclusiones 40
Recomendaciones 41
CAPÍTULO VI 42

BIBLIOGRAFÍA 42
CAPÍTULO VII 48
ANEXOS 48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores de calidad de suelos, unidades de medida, valores máximos y mínimos, definidos según el tipo de uso de la tierra. 17
Tabla 2. Clases de Calidad de suelo 18
Tabla 3. Análisis de las propiedades físicos de calidad de suelo a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm, bajo dos usos de tierra de la Comunidad Boayacu. 20
Tabla 4. Análisis de los componentes principales en la Comunidad Boayacu. 32
Tabla 5. Análisis de la Matriz de componentes de la comunidad Boayacu. 33
Tabla 6. Análisis de correlaciones de las variables físicas-químicas de la comunidad Boayacu. 34
Tabla 7. Índice de calidad física del suelo bajo diferentes usos de la tierra. 36
Tabla 8. Índice de calidad química del suelo (ICQS). 38
Tabla 9. Niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelos. 48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la comunidad Boayacu..... 12
Figura 2. Esquema de muestreo sistemático para el estudio de suelo, vegetación y biodiversidad en cada uso de tierra seleccionado..... 14
Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo en las fincas de la comunidad Boayacu. 15
Figura 4. Distribución del contenido de materia orgánica bajo diferentes usos de la tierra. .. 23
Figura 5. Valores del pH del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades en la comunidad Boayacu. 24
Figura 6. Valores de la acidez intercambiable del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm de la comunidad Boayacu..... 26
Figura 7. Valores del Aluminio intercambiable (Al+3) del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm de la comunidad Boayacu. 27
Figura 8. Valores del Potasio (K) del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm de la comunidad Boayacu. 28
Figura 9. Valores del Calcio (Ca) del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm de la comunidad Boayacu. 29
Figura 10. Valores del Magnesio (Mg) del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm de la comunidad Boayacu. 30
Figura 11. Valores del Fosforo (P) del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm de la comunidad Boayacu. 31
Figura 12. Índice de calidad física del suelo de la profundidad 0-10 cm y 10-30cm, bajo dos usos de tierra de la Comunidad Boayacu. 37
Figura 13. Índice de calidad química del suelo de la profundidad 0-10 cm y 10-30cm, bajo dos usos de tierra de la Comunidad Boayacu..... 39

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La Región Amazónica Ecuatoriana, cuenta con una extensión territorial de 116.441 Km^2, representado 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 del piso climático entre los 15ºC y 40ºC (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).

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 hace que desde 1990 se ha perdido unas 129 000 000 ha de bosque. La degradación produce la pérdida de la capacidad productiva del suelo, afectando a más del 20% de tierras agrícolas, 30% de los bosques y el 10% de los pastizales (Sarandón & Flores, 2014).

Entre las provincias de la región amazónica, Pastaza es la que ocupa una mayor superficie y cuenta con una extensión del 29.773 Km^2, donde 430 mil hectáreas de tierra son utilizadas en usos agropecuarios y afines, representando el 28% del total de la región y el 3% del total del país. En esta provincia la existencia de montes y bosques que ocupan el 81% de la superficie, que corresponden a la selva amazónica inexplotada e inexplorada, seguida de pastos cultivados con el 15%, y apenas el 3% con cultivos permanentes (MCPEC, 2011).

En el cantón Pastaza la mayor parte del suelo esta manejado con bosque primario y actualmente las grandes explotaciones agrícolas (cultivos de: plátano, yuca, papaya, caña y cítricos) son mayores a 100 ha, ocupando en el segundo lugar con el 11% de las fincas. Esto

representa 584 explotaciones, concentrado en la mayor superficie, el 60% del área con uso agropecuario (258.564 ha.), lo cual acelera el proceso de deforestación y provoca la degradación de los suelos por el mal manejo, la erosión, la pérdida de la biodiversidad de cultivos y especies autóctonas de la región (Castillo, 2015).

Toda actividad agropecuaria requiere el recurso suelo para desarrollar los cultivos y pastos; sin embargo, el manejo actual de este recurso se torna insostenible por la incorporación de plaguicidas que disminuyen los contenidos microbiológicos benéficos del suelo (MAGAP, 2015).

La tala indiscriminada e introducción de la ganadería, ha incidido en 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).

El proceso de avance de la frontera agrícola en la región ha venido generando una serie de impacto en distintos recursos naturales en especial el componente suelo y donde los cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas pueden afectar su fertilidad y calidad (Bravo *et al*., 2017).

1.1. Hipótesis

Los parámetros físicos y químicos servirán para determinar los índices de calidad de suelo en la comunidad Boayacu

1.2. Objetivos:

General

Evaluar la calidad del suelo bajo parámetros físicos y químicos en la comunidad Boayacu de la Parroquia Teniente Hugo Ortiz, cantón Pastaza, provincia Pastaza.

Específicos

1. Determinar los parámetros físicos y químicos del suelo bajo dos usos de la tierra chakra y ganadería en la comunidad Boayacu.
2. Comparar las propiedades físicas y químicas de los suelos medidas bajo dos usos de tierra chakra y ganadería de la comunidad Boayacu.
3. Obtener un índice de calidad del suelo (ICS) mediante parámetros físicos y químicos para cada uso de la tierra, que sirva de apoyo para su manejo y conservación bajo una perspectiva agroecológica.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2. Suelo

El concepto de suelo que propone Loaiza (2010) menciona que:

Es un recurso natural esencial que proporciona servicios ecosistémicos en los cuales algunos invertebrados están involucrados, capaz de aportar los nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales, filtrar, regular y transformar la materia que absorbe y almacenar agua de lluvias cediéndola a las plantas a medida que necesitan. (p.7). "También se lo denomina como un cuerpo natural que posee capas u horizontes formados de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua" (Vilca & Pérez, 2017, p.6).

Pijal (2015) dice que:

Las propiedades físicas y químicas del suelo en conjunto a los factores climáticos, determinan las plantas y animales que crecen y mueren dentro o sobre el suelo, la manera de interaccionar y la forma en que se debe cultivar la tierra. (p.7)

Según Bravo *et al* (2015) mencionan que:

Los suelos de Pastaza, por sus características y su capacidad de uso se deben manejar bajo sistemas agroforestales. La nutrición vegetal en la amazonia depende de la fase orgánica del suelo, por lo que el suelo se debe manejar como una parte integral entre los bosques y los cultivos por lo que se recomienda usar el suelo según cuatro clases principales: cultivos, pastos, bosques y sin uso agropecuario. (p. 6-7)

2.1. Clasificación de suelo y características asociadas a la calidad

Según GADPz (2012), los suelos de Pastaza se clasifican principalmente en cuatro órdenes:

Inseptisoles: Son suelos caracterizados por presentar una baja fertilidad, considerados pocos maduros en su evolución y que contiene bajo contenido de fósforo, alta acidez y toxicidad causada por aluminio, apropiados para actividades forestales, agroforestales y cultivos con medidas de protección.

Entisoles.- Son suelos que tienen muy poca o ninguna evidencia de formación de horizontes pedogénicos, se encuentran sobre fuertes pendientes en donde, la erosión no permite el desarrollo del suelo.

Histosoles.- Corresponden a suelos compuestos principalmente por materia orgánica desarrollados en zonas pantanosas y meándricas. Presentan elementos vegetales descompuestos, el uso de estos suelos es muy restringido.

Oxisoles.- Son suelos con grado avanzado de intemperización donde predominan los procesos de transformación y perdida por lavado, existe concentración de hierro y aluminio; son de baja fertilidad, baja retención de humedad y alta permeabilidad. (p 88-89)

Mariño (2002) menciona que:

Los Suelos alofánicos muy húmedos **s**on suelos negros, se encuentran en áreas con alta humedad y precipitación pluvial, tienen altos contenidos de arcillas alofánicas, con elevados contenidos de materia orgánica, alta capacidad de fijación de fósforo, baja densidad aparente. Por las condiciones climáticas y las pendientes fuertes, su uso es limitado y son frágiles al pisoteo del ganado, lo que no favorece al desarrollo de la ganadería. (p. 20)

Bravo et al., 2017 indica que para regiones tropicales húmedas como la Amazonía Ecuatoriana:

El clima ejerce sobre la edafogénesis una influencia primordial que favorece la lixiviación de las bases (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+1}, K^{+1}), caracterizados principalmente desde el punto de vista químico en suelos de una baja fertilidad, pH ácidos con predominio de aluminio intercambiable y alto contenido de materia orgánica. (p 12)

Así mismo Gardi *et al*., 2014 menciona que:

Las condiciones climáticas inducen a un predominio de minerales poco alterables y de arcillas simples como el cuarzo, caolinita, halloysita, gibsita y óxidos de hierro, confiriéndoles ciertas características morfológicas y el descenso de los parámetros asociados a la fertilidad principalmente el pH. (p. 176)

Además Bravo *et al*., 2017 manifiesta que:

La fertilidad física de los suelos en esta zona han mostrado adecuados índices estructurales, baja densidad aparente, alta porosidad de aireación y de retención, alta conductividad hidráulica y baja resistencia a la penetración, lo cual está muy favorecido por los altos contenido de materia orgánica y las características morfológicas en un perfil del suelo permiten reconstruir los procesos edafogenéticos y predecir el comportamiento de plantas frente al manejo o cambio de uso de tierra. Al respecto, para la zona se ha descrito el color del suelo que representa una característica morfológica que permite inferir otras

propiedades. Por ejemplo un color negro se asocia a altos niveles de materia orgánica, mostrando condiciones de buena fertilidad con presencia de Ca^{2+}, Mg^{2+} y K^{+1}. (p 4)

Cuenca (2014) menciona que "El suelo rojo indica contenido de óxidos de fierro y manganeso, Amarillo indica óxidos de fierro hidratado, Blanco y el gris indican presencia de cuarzo, yeso y caolín" (p.14-15).

2.2. Uso de Tierra

Con respecto al uso de tierra GeoEcuador (2008) señala que:

La acción humana sobre el suelo, en sus diferentes formas genera modificaciones que en la mayor parte de casos ponen en peligro este recurso natural. Los estudios más sistemáticos y rigurosos sobre suelos y la problemática de la erosión se desarrollaron en el Ecuador entre las décadas de los años 1980 y1990. (p.74)

"Los bosques amazónicos vienen siendo transformados por presiones asociadas a formas de uso del suelo que degradan los ecosistemas terrestres y acuáticos" (López *et al* 2013, p.9).

Además RAISG (2015) menciona que:

Hoy en día, la expansión de las fronteras del mercado y de la deforestación produce impactos ambientales y culturales cada vez más agudos y de mayor escala. La pérdida de cobertura boscosa esta asociadas con la deforestación, provocada por la producción agropecuaria, minera, desarrollo de infraestructura y la falta de planeación urbana y territorial. (p 68)

"Para condiciones amazónicas la expansión de la frontera agrícola con la consiguiente destrucción de los bosques representa uno de los factores de mayor impacto socio-ambiental" (Bravo *et al* 2017, p.23-24).

Bonilla (2015) menciona que "El uso actual del suelo en la provincia de Pastaza fue transformado por diversos factores, impulsados por la nueva estructura socioeconómica de la población, la misma que se refleja en una innovación total del paisaje" (p.7).

Así mismo señala que en la provincia Pastaza:

La actividad agrícola está relacionada con cultivos destinados al mercado y autoconsumo y los principales cultivos en la provincia son: caña, naranjilla, cacao, papa china, para autoconsumo plátano, yuca, y maíz duro. Además la Provincia de Pastaza es uno de los principales productores de caña de azúcar y derivados como panela en ladrillo, panela

granulada y caña de fruta. En la actualidad toda la producción de panela se destina al Programa Aliméntate Ecuador (GADPz, 2012, p. 132).

La ganadería es la principal fuente de ingresos para una gran parte de las familias de la provincia, especialmente en el sector de 10 de Agosto, Triunfo, Veracruz, Fátima, Santa Clara, San Jorge y San José, lo que a nivel provincial el avance de la ganadería está vinculado a la reducción de la cobertura boscosa como factor desencadenante del deterioro ambiental, con áreas de pasturas en proceso de degradación. Todo ello concuerda cuando se compara la tasa de deforestación de Pastaza en dos periodos. Para los años 1990-2000 se deforestaron 2432 ha, mientras que para el periodo 2000-2008 fueron 4773 ha, lo que significa un incremento de 100 porciento (Chimborazo, 2017, p. 7-9).

La expansión de la frontera agrícola es otro de los problemas que afecta a la provincia, siendo el cultivo de caña de azúcar *Saccharum officinaruma* se cultivan alrededor de 927,05 ha, comúnmente dedicado a la obtención de panela (granulada y bloques), miel, jugos, alcohol y caña de fruta, y es de especial relevancia para la provincia por ser el principal rubro agrícola (Valle, 2015, p.1).

Otro de los cultivos es la Papa China o la Malanga, *Colocasia esculenta* ya que es un cultivo que se siembra y se desarrolla sin mayor mano de obra y se vende a los centros de acopio de la zona para que se exporte. Estos son los principales cultivos agrícolas en la zona y razón por la cual se talan los bosques, ocasionado una pérdida gradual de productividad de los suelos (Granda, 2015, p. 30).

El cultivo de la papa china, ha demostrado ser una alternativa de producción ecológica por su producción en condiciones agroclimáticas y en la Región Amazónica casi en su totalidad, Del total del cultivo el 50% se comercializa a nivel local y se exporta. El porcentaje de exportación varía entre 40 al 60%. La oferta actual del producto se ha consolidado vía Tena, en las Parroquias San José y Teniente Hugo Ortiz, promedio se comercializa unos 150 quintales cada semana durante todo el año (GADPz, 2012, p. 140-141).

De acuerdo al informe emitido por GAD Parroquial Teniente Hugo Ortíz (2015) señala que:

"De las 10.497,37 Ha. totales de la extensión de la parroquia Teniente Hugo Ortiz, según el MAE 2008, 5.902,13 Ha. Corresponden a suelo agrícolas, que además también se utilizan como pastos para alimentación de ganado y especies menores" (p.58)

2.3. Efecto de la ganadería sobre las características del suelo

Con referencia al efecto de la ganadería sobre el suelo determinan que:

La ganadería juega un papel clave en la salud futura del planeta cuya actividad usa 3.4 billones de has en praderas, también puede mantener la fertilidad del suelo, en particular los sistemas cerrados de granjas mixtas pueden renovar o reponer una fracción sustancial

de los nutrientes del suelo, y por consiguiente reducir la necesidad de aplicar fertilizantes inorgánicos (Sadeghian, 2016, p. 1).

Las propiedades físicas e hidrológicas se afectan por la deforestación y los cambios en el uso de suelo, los cuales eran favorables bajo el sistema boscoso antes de la tala. Los cambios de las propiedades del suelo se dan por el pisoteo de animales en pasturas del piedemonte causando la reducción de la porosidad total, teniendo mayores efectos sobre la macroporosidad (Sadeghian *et al*, 2016, p.78).

2.4. Degradación del suelo

Con respecto a este tema exponen que:

La degradación del suelo se refiere a la pérdida parcial o total de la productividad del suelo. Los suelos degradados mantienen un estado de salud que no pueden suministrar los bienes y servicios normales del suelo en cuestión en su ecosistema. En los suelos degradados, las tasas de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan (Meléndez, 2012, p.25).

La degradación de la tierra tiene dos grandes dimensiones. Natural, como erupciones volcánicas, inundaciones, sequías extremas, que llevan a procesos como pérdida de cobertura vegetal, cambios en la morfología del terreno, aumento de sales. Humano, acción productiva agropecuaria y forestal, la extracción y explotación de recursos a su vez se distinguen dos formas de degradación: el uso insostenible de la tierra, la aplicación de técnicas inadecuadas de manejo y uso de la tierra (MAE, 2014, p. 11).

La degradación de los suelos producido por la tala indiscriminada e introducción de la ganadería que conlleva a la erosión, pérdida de la biodiversidad de cultivos y especies autóctonas de la región, ha inducido en 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, parr 3).

Factores que inciden la degradación del suelo

Vilca & Pérez (2017), mencionan que las principales causas de la degradación son los siguientes procesos:

1. Procesos de degradación física
    - Motivados por un régimen hídrico termal adverso: erosión hídrica y eólica
    - Compactación
    - Formación de horizontes endurecidos: costra caliza, horizonte argílico

2. Procesos de degradación química

- Desequilibrio de bases
- Contaminación
- Exceso o disminución de macronutrientes y micronutrientes

3. Procesos de degradación biológica

- Pérdida del contenido de materia orgánica
- Reducción de la macro y microfauna
- Desgaste de la cubierta vegetal
- Ampliación de las interacciones perjudiciales activas en el suelo.

El mismo autor menciona que "La degradación es una forma severa de deterioro físico, químico y biológico del suelo" (p.30).

Alvarado *et al* (2011) indican que "En el Ecuador, entre los principales problemas ambientales es la degradación de la tierra ya que afecta al 50% del suelo utilizado para la agricultura" (p.3).

Así mismo en Ecuador:

> Entre 1982 y 2003 se degradaron 34.686,3 km2 de tierras, aproximadamente un 14,2% del territorio nacional. De este total corresponde un 44,1% al oriente. En el Oriente, las provincias de Napo, Pastaza y Morona Santiago suman un 36% del total. Existe diversas causas en el Oriente Ecuatoriano se debe principalmente por la expansión de pastizales en áreas de bosques húmedo tropical, con poco o ningún manejo silvopastoril (Bastidas, 2015, p. 16).

2.5. Calidad del suelo

Gregoric *et al*., (1994) señalan que "la calidad del suelo se considera como una medida de su capacidad para funcionar adecuadamente en relación con un uso específico" (p.367)

"La calidad de suelo como su capacidad para aceptar, almacenar y reciclar agua, minerales y energía para la producción de cultivos, y a la vez preservar un ambiente sano" (García *et al*., 2012, p.129)

Vallejo (2013) expone que:

> La calidad del suelo depende de un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas, por lo cual, la rápida respuesta al cambio y facilidad en su interpretación puede ser utilizada como indicadores de calidad. Dichas propiedades edáficas pueden ser empleados como mecanismos de análisis para determinar si los actuales sistemas de manejo conservan, mejoran o degradan el suelo. (p. 87)

Meléndez (2012) menciona que:

> La calidad física del suelo comprende el estudio y manejo de aquellas características físicas del suelo que afecta el crecimiento vegetal, las cuales pueden ser directos. Un suelo con buenas características físicas debe contener espacios porosos suficientes entre las partículas minerales y orgánicas y entre agregados del suelo. (p. 16-17). " Las propiedades físicas garantizan la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y almacenamiento de agua, la plasticidad y retención de nutrientes " (Caiza, 2015, p.20).

Según Cárdenas (2015) señala que:

> La producción exitosa de los cultivos depende fundamentalmente del manejo de las plantas en el campo y de las propiedades físicas y químicas del suelo que controlan el desarrollo y funcionamiento de las raíces mediante la aportación de nutrientes enriqueciendo al suelo y garantizando el buen crecimiento y producción de los cultivos. (p. 1)

2.6. Indicadores de la calidad del suelo

Según Bautista *et al*., (2004), "los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él" (p.3-6).

2.6.1 Indicadores físicos

Con respecto a este tema Vallejo (2013) indica que:

> Los indicadores físicos están relacionados con el tamaño, la disposición y el arreglo de las partículas del suelo. Son características físicas que pueden ser utilizados como indicadores de la calidad de suelo son la porosidad, la densidad aparente, la resistencia a la penetración, la capacidad de retención de agua, la conductividad hidráulica, la estabilidad y el tamaño de los agregados, la profundidad y la textura. Estos indicadores limitan el crecimiento de raíces, emergencia de plántulas, infiltración o movimiento de agua dentro del perfil del suelo, retención, transferencia y reciclaje de nutrientes, e intercambio óptimo de gases. (p. 88)

2.6.2. Indicadores químicos.

Así mismo Bautista *et al* (2004) destaca que los indicadores químicos:

> Incluyen propiedades que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para plantas y microorganismos. Las propiedades que se destacan como indicares son el pH, conductividad eléctrica, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico (cic) y los nutrientes (N total, nitratos, amonio, relación C:N, fósforo total y disponible, y potasio). (p.6)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

El trabajo de investigación se desarrolló en la comunidad Boayacu (Figura 1), la cual pertenece a la Parroquia Teniente Hugo Ortiz con una extensión de 97 km^2, perteneciente al cantón Pastaza. Geográficamente se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas: X: 835787.56, Y: 9854494.42, WGS 84 zona 17 S, con una altitud entre 823 y 1.086 m.s.n.m., su clima cálido húmedo y su temperatura oscila entre los 18º y 24º C, los ríos más importantes son: Rivadeneira, Anzu, Llandía y Posunyacu (GADPPz, 2017).

La parroquia Teniente Hugo Ortiz limita:

Norte: Con la parroquia San José del cantón Santa Clara.

Sur: Con las parroquias Fátima, Diez de Agosto y El Triunfo

Este: Con la parroquia El Triunfo.

Oeste: Con la parroquia Mera del cantón Mera.

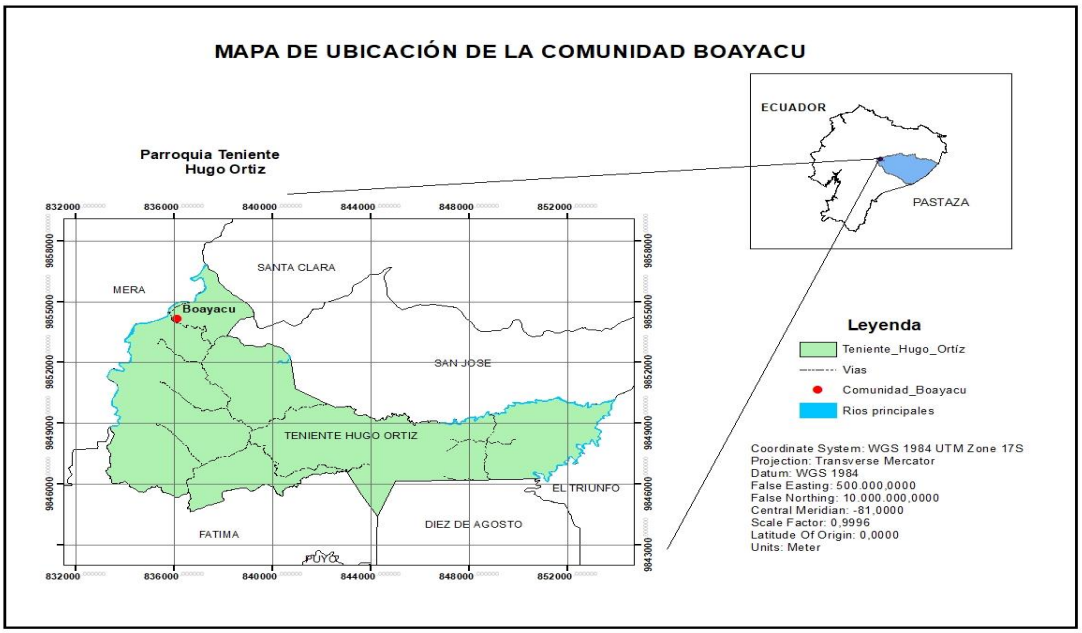


Figura 1. Mapa de ubicación de la comunidad Boayacu.
Elaborado por: Shiguango, Zambrano (2017).

3.2.Tipo de investigación

El trabajo de investigación se basa en la investigación experimental y exploratorio:

- **Investigación experimental**

Para determinar el impacto de uso de tierra en diferentes sistemas se realizaron una caracterización de las propiedades físicas y químicas tanto a nivel de campo y laboratorio, las cuales servirán como indicadores para la obtención de un índice de calidad del suelo (ICS) en función del uso de tierra relacionado.

3.3. Métodos de investigación

En la metodología se realizó una recopilación de información general y especifica de todo lo relacionado al impacto que tiene el cambio de uso de la tierra sobre los parámetros ambientales. Para determinar los índices de calidad de suelo se aplicará la prueba de correlación Speerman ($P \leq 0.05$) y un paquete estadístico SPSS versión 21 (2012), mientras para la extracción de las muestra de campo hacia el laboratorio se seguirá la metodología propuesta por Bravo *et al*, 2017 (Figura 2).

3.4. Diseño de Investigación

Evaluación de la calidad del suelo bajo diferentes usos.

Para la evaluación de la calidad de suelo se tomaron en cuenta 6 fincas con 2 usos de tierra codificados y caracterizados de la siguiente manera : a) **Chakra A** conformada por diferentes cultivos (papachina, yuca, plátano, maíz, cacao), b) **Chakra B** (papachina, cacao), c) **Ckakra C** (Papachina, Platano, Café, Caña de azúcar); d) **Ganadería A** posee pastos de (*brachiaria decumbens*) sin árboles, e) **Ganaderia B** pasto gramalote (*Axonopus Scoparius*) con árboles y f) **Ganadería C** posee dos clase de pastos (*brachiaria decumbens*, *Axonopus Scoparius)* con árboles. En cada uso de tierra seleccionado se realizó un muestreo sistemático estableciendo una transecta que cubriera toda el área seleccionado (Figura 2) y siguiendo la siguiente secuencia propuesta por Bravo *et al*. (2015).

Muestreo de campo:

a. En cada transecto se establecieron cinco puntos de muestreo (P1, P2, P3, P4 y P5) (Figura 3)**,** de manera equidistante donde se localizó una subparcela de 10 x 10 m, en la cual se recolecto cinco submuestras de suelo a dos profundidades (0-10 cm y 10-30 cm) (Figura 3); posteriormente se homogenizaron a fin de obtener muestras representativas. Dichas muestras conformaran la muestra compuesta por punto para la evaluación de parámetros químicos. Paralelamente en los mismos puntos se medió la resistencia a la penetración.

b. En la parte central de la subparcela se colocó un cuadrante (0.25 m^2), donde se tomó la muestra de biomasa (verde y hojarasca) y el conteo del número de lombrices, la toma de muestras no alteradas con un barreno tipo Uhland a dos profundidades (0-10 y 10-30 cm) para evaluación de parámetros físicos.

c. En los usos de la tierra con árboles se estableció tres parcelas temporales mediante una circunferencia con un radio de 15 a 30 m, donde se identificaron y se midieron árboles con diámetros mayores o iguales a 10 cm a la altura del pecho.

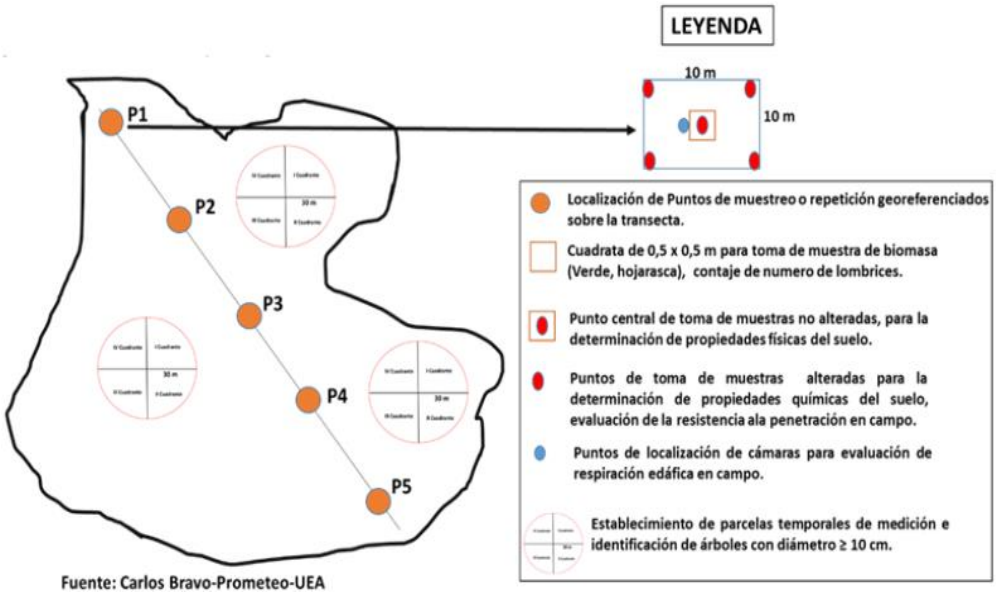


Figura 2. Esquema de muestreo sistemático para el estudio de suelo, vegetación y biodiversidad en cada uso de tierra seleccionado.

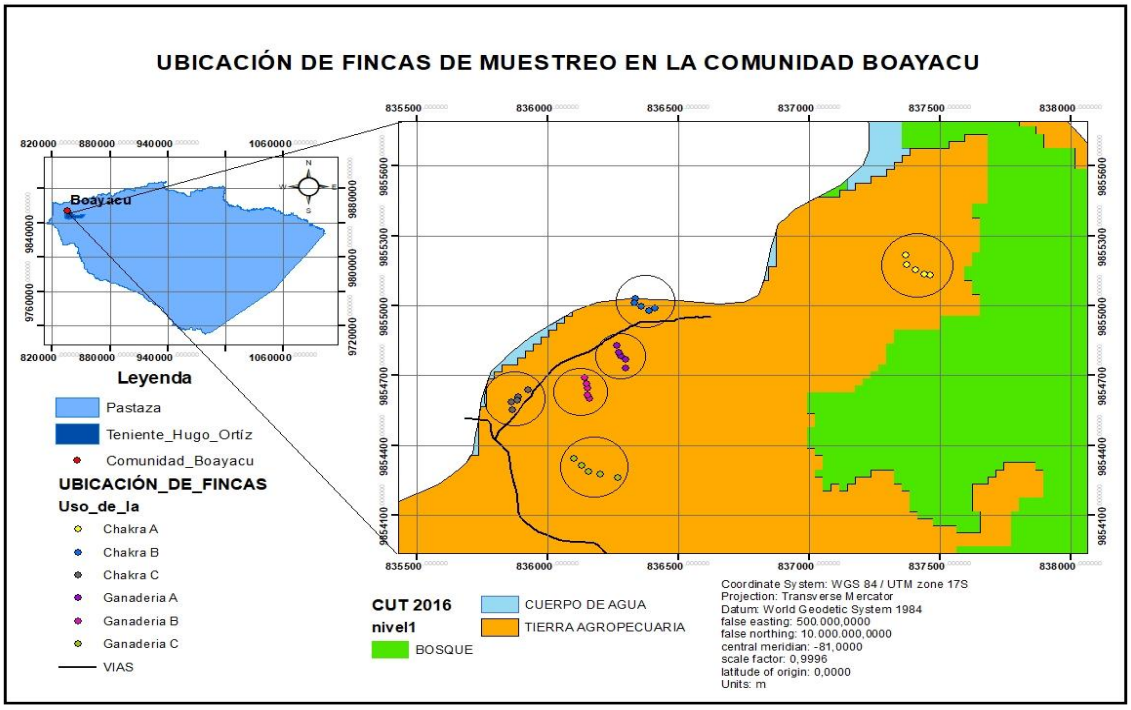


Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo en las fincas de la comunidad Boayacu.
Fuente: SIN, 2017.

3.5.Mediciones experimentales:

3.5.1. Análisis Físicos

Para la determinación de parámetros físicos del suelo se usaron muestras no alteradas con cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con un toma muestra tipo Uhland, en los cuales se medió 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 en Pla (2010), c) distribución de tamaño de poros (Pt: porosidad total), d) porosidad de aireación (Pa: poros de radio >15 µm), e) porosidad de retención usando la mesa de tensión a saturación y a un potencial mátrico de -10 kPa (Blake & Hartge, 1986).

3.5.2. Análisis Químicos

El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson & Sommer, 1982), para lo cual se realizó una oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)1 N con adición de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por el Cr fue medido por titulación usando una solución de sal de Morh 0.5 N (H_2SO_4 +$FeSO_4.7H_2O$). Para medir el pH se usó el método de potenciometría (relación suelo-agua 1:2,5), las bases cambiables (Ca, Mg, K) y contenido de fósforo fueron medidas por la metodología de Olsen modificado (Bertsh, 1995).

En las muestras de hojarascas se determinó peso fresco, luego se colocó en una estufa por un periodo aproximado de 24 horas a 105 °C para la determinación del peso seco.

3.6. 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), utilizando un conjunto de variables que incluyen parámetros físicos y químicos del suelo, usando el paquete estadístico SPSS, versión 21. Esto permitió reducir el número de variables y establecer las diferencias entre los distintos agroecosistemas, así como para seleccionar 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 para la selección de indicadores de calidad del suelo (Viana *et al.*, 2014) se aplicó la prueba de correlación Speerman ($P \leq 0.05$) para aquellas variables seleccionadas 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 1) usando la metodología propuesta por (Cantu *et al.*,2007).

Tabla 1. 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
Conductividad hidráulica saturada	(cmh-1)	0.5	120
Porosidad total (Pt)	%	55.00	95.00
Porosidad de aireación (Pa)	%	10.00	26.00
Porosidad de retención (Pr)	%	55.00	82.00
Carbono orgánico total (COT)	%	1.50	10.00
pH		4.00	6.50
Aluminio intercambiable (Al^{+3})	meq/100 ml	0.12	1.50
Acidez intercambiable	meq/100 ml	0.50	3.00
Potasio intercambiable (K^{+1})	meq/100 g de suelo	0.01	0.45
Calcio intercambiable (Ca^{+2})	meq/100 g de suelo	0.20	7.00
Magnesio intercambiable (Mg^{+2})	meq/100 g de suelo	0.12	6.00

Tomado de 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 considerara 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. Para la porosidad total (%), el mínimo se escogerá de acuerdo a la clase textural (Texturas finas) y el máximo del conjunto de datos, la porosidad de aireación (Pa) se tomó como máximo el promedio de los valores medidos en campo y el mínimo por debajo del cual se pueden presentar severos problemas de degradación (10 %) en función del grupo textural (Florentino, 1998). Para la porosidad de retención (Pr) tanto el mínimo y el máximo se seleccionó del conjunto de datos. Para el carbono orgánico total, se consideró 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) (Tabla 9). Posteriormente, los indicadores se normalizaron utilizando una escala de 0-1 que representan respectivamente, la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad, independientemente de los valores absolutos medidos para cada indicador. Se evaluarán dos escenarios posibles:

A) El primero cuando el valor máximo del indicador (Imax) corresponde a la mejor situación de calidad de suelo (Valor normalizado del indicador, Vn=1) y el cálculo es Vn= Im-Imin/Imax-Imin.

B) El segundo cuando el valor Imax corresponde a la peor situación de calidad de suelo (Vn=0) y se calcula como Vn= 1-(Im-Imin/Imax-Imin). Donde Vn= valor normalizado, Im=medida del indicador, Imax= valor máximo del indicador; Imin= valor mínimo del indicador. Finalmente, se obtuvo el índice de calidad de suelo (ICS) promediando los valores de cada indicador y categorizándolos usando una escala de transformación en cinco clases de calidad de suelo (Tabla 2), tal como ha sido sugerido por (Cantu *et al*., 2007).

Tabla 2. 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).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente capítulo se presenta los resultados de los análisis de la calidad física y química del suelo realizado en la Comunidad Boayacu, perteneciente a la Parroquia Teniente Hugo Ortiz bajo dos usos de tierra.

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

4.2. Parámetros físicos

Cuando se analizó los valores promedios de las propiedades físicas a distintas profundidades (0-10 cm y 10-30 cm) la densidad aparente (Da), conductividad hidráulica (Ksat), porosidad total (Pt), porosidad de aireación (Pa), porosidad de retención (Pr) y materia orgánica se observó que algunas variables físicas fueron afectadas significativamente $P \leq 0,05$ por el uso de tierra. (Tabla 3).

4.2.1. La densidad aparente (Da)

La densidad aparente es un indicador de procesos importantes del suelo, como son: la compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración condicionando a la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de establecimiento de las plantas y el manejo del suelo (Rubio , 2010). Para su interpretación se debe comparar con los índices críticos establecido para las diferentes clases texturales (Pla, 2010).En este contexto, Duval *et al*., (2015) señala que el rango óptimo para clases texturales finas de Da para la producción agrícola se encuentra entre 0,9 a 1,2 Mg m^{-3}. Valores de Da mayores de 1.2 Mg m^{-3} pueden impedir la elongación de la raíz o reducir la aireación del suelo.

En general, los valores de esta variable fueron bajos en ambas profundidades para todos los manejos, resultando con menor valor en el horizonte superficial (0-10 cm) e incrementándose con la profundidad independientemente del uso de tierra considerado, lo

cual indica que esta variable no representa ninguna limitación para la penetración de las raíces y el movimiento de agua y aire en el suelo (Tabla 3). Desde el punto de vista ambiental, los valores bajos obtenidos en todos los usos evaluados indican que no existen problemas de degradación física en especial de compactación, coincidiendo con los resultados obtenidos por otros investigadores en condiciones amazónicas (Bravo *et al*., 2017). Tal situación puede estar relacionada con la mayor cantidad de materia orgánica, mayor presencia de raíces que a su vez genera una condición estructural tipo granular descrita en campo. También como señalan Hernández *et al* (2017), puede estar relacionado con la gran variedad de especie, por ende la cantidad de residuos y hojarasca que se genera mejorando la macrofauna.

Tabla 3. Análisis de las propiedades físicos de calidad de suelo a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm, bajo dos usos de tierra de la Comunidad Boayacu.

Variables /Tratamiento	Densidad aparente (Mg m-^{3})	Conductividad hidráulica saturada (cm h^{-1})	Porosidad total (%)	Porosidad de aireación (%)	Porosidad de retención (%)	Materia Orgánica (%)
		Profundidad 0-10 cm				
Chakra A	0,37 a	50,02 a	89,65 a	17,58 ab	72,07 ab	7,22 a
Chakra B	0,47a	68,18 a	84,70 a	16,82 ab	67,88 ab	6,68 a
Chakra C	0,51 a	21,59 b	84,90 a	21,01 a	63,89 b	5,56 a
Ganadería A	0,43 a	13,14 c	89,85 a	11,94 b	77,91 a	6,62 a
Ganadería B	0,44 a	23,09 b	90,82 a	12,74 ab	78,08 a	6,92 a
Ganadería C	0,38 a	33,28 a	90,88 a	15,53 ab	75,36 a	7,22 a
		Profundidad 10-30 cm				
Chakra A	0,48 a	1,46 c	89,12 a	8,958 a	80,16a	3,86 b
Chakra B	0,51 a	15,05 a	83,89 a	14,42 a	69,48 a	4,00 b
Chakra C	0,57 a	10,43 a	83,66 a	11,01 a	72,66 a	4,14 ab
Ganadería A	0,54 a	3,57 b	85,98 a	10,26 a	75,73 a	3,76 b
Ganadería B	0,52 a	3,40 b	89,35 a	9,33a	80,02 a	4,04 b
Ganadería C	0,49 a	13,35 a	80,63 a	12,39 a	68,24 a	5,48 a

Las letras diferentes en las columnas representan diferencias significativas (P<0,05); **Chakra A**: Papa china-yuca-plátano-maíz - cacao F1, **Chakra B**: papa china-cacao F2, **Chakra C:** Papa china-plátano-Café-Caña F3, **Ganadería A:** Pasto *brachiaria decumbens* F4, **Ganadería B:** Pasto *Axonopus Scoparius* F5, **Ganadería C**: Pasto *brachiaria decumbens, Axonopus Scoparius* F6.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Conductividad hidráulica saturada (Ksat)

La Conductividad Hidráulica saturada ha sido relacionada con la capacidad de infiltrar y conducir el agua por los distintos medios porosos y depende de la estructura, temperatura y humedad del suelo (Chirinos & Mattiazzo, 2004). Igualmente la infiltración representa el

proceso por el cual el agua que llega a la superficie del suelo penetra en él, 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).

La conductividad hidráulica saturada (ksat) presentó en ambas profundidades diferencias significativas (P<0,05). En la profundidad 0-10 cm se presentan valores altos, los cuales disminuyen drásticamente a partir de 10-30 cm en los distintos usos de tierra. Los valores en el horizonte superficial oscilan de 13,14 cm h^{-1} Ganadería_A a 68,18 cm h^{-1} Chakra B y de 3,40 cm h^{-1} Ganadería B a 15,05 cm h^{-1} Chakra B en el segundo horizonte. Como se puede apreciar, si bien ocurrió una disminución en la mayoría de usos de suelos evaluados posee valores considerados altos, muy por encima del límite crítico de 0,5 $cm.h^{-1}$, señalado por Pla (2010), en especial, en especial algunas de la Chakras y de los sistemas ganaderos. Dicho comportamiento está relacionado con la porosidad de aireación, la condición textural y estructural que favorece la penetración y movimiento de agua en el perfil del suelo. Tales resultados coinciden con los estudios de Maldonado (2015) y de Filgueira *et al*., (2006), quienes indican que la permeabilidad está muy relacionada con la distribución de tamaño de poros que tiene el suelo a distintas profundidades en especial la predominancia de los macroporos.

4.2.3. Porosidad Total (Pt)

La porosidad total representa la suma total de macroporos y microporos que tiene como función ambiental de transportar, receptar, y almacenar agua es por ende las raíces crecen y son conducidas en búsqueda de nutrientes y agua (González *et al*.,2010).

Los análisis estadísticos de la porosidad total no mostraron diferencia significativas (P<0,05) para las dos profundidades y los diferentes usos de suelo. Para la profundidad 0-10 cm el orden encontrado fue la siguiente Ganadería C>Ganadería B>Ganadería A>Chakra C>Chakra A>Chakra B y para la profundidad 10-30 cm con el orden Ganadería B>Chakra A>Ganadería A>ChakraB>Chakra C>Ganadería C. Según Caiza (2015), la (Pt) posee mayor % en la profundidad 10-30cm (80,13%) y en la profundidad 0-10cm posee menor valor (78,94%)**.** Los valores de la porosidad total obtenidos estuvieron muy relacionados con la densidad aparente, sugiriendo que una mayor densidad significó menor porosidad total (Pt) y viceversa. La (Pt) es alta en todas las zonas estudiadas (mayor de 60 %), con una gran

fracción del volumen total representada por los poros de retención (Pr), lo cual le confiere a estos suelos una alta capacidad de retención de humedad, indistintamente del uso y no representa ninguna limitación física. 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).

4.2.4. Porosidad de aireación (Pa)

La porosidad de aireación (Tabla 3), solo presento diferencias significativas P<0,05 en la primera profundidad 0-10 cm, mostrando el siguiente orden: Chakra C> Chakra B> Chakra A Ganadería C> Ganadería B>Ganadería A. Tales resultados coinciden con el estudio realizado por Bravo *et al*., 2017 y Caiza (2015), donde el horizonte superficial presenta valores mayores (15,71 %) y van disminuyendo con la profundidad por tanto se puede reducir la capacidad de aireación y de movimiento de agua por gravedad (López *et al*., 2011; Pla, 2010)**.**

Independientemente de los usos de suelo la porosidad de aireación es mayor en la profundidad superficial (0-10 cm) y va disminuyen con la profundidad alcanzando en algunos usos de la tierra niveles por debajo del valor critico de 10% (Pla, 2010). Cuando existe un porcentaje mayor de 10% en el Pa es sinónimo de buena calidad ya que permite que exista un buen drenaje, aireación y recepción de agua para que el crecimiento de las raíces sea de manera normal (González *et al*., 2010)**.** El incremento de macroporos en la capa superficial pudiera estar asociado a la mayor actividad biológica, a la macro fauna especialmente las lombrices y los residuos que dejan las raíces de los cultivos anteriores (Bravo *et al*., 2017). Generalmente, los bioporos de canales de lombrices, insectos de suelos y raíces de cultivos son más continuos, menos tortuosos y más estables que los macroporos creados por el laboreo, resultando más efectivos para el movimiento del agua y del aire y para el crecimiento de nuevas raíces.Por otra parte, cuando el drenaje es adecuado considerando las condiciones climáticas, no existe degradación de suelos por escorrentía y el lavado de nutrientes es nula (Geissert & Ibáñez, 2015).

4.2.5. Porosidad de retención (Pr)

Los resultados de porosidad de retención cuya función es la retención de agua en el suelo, presento un comportamiento estadísticamente similar que el resto de las variables físicas. Para

la profundidad 0-10 cm el orden fue: Ganadería B>Ganadería A> Ganadería C>Chakra A>Chakra B>Chakra C y para la profundidad 10-30 cm será: Chakra A>Ganadería B>Ganadería A>Chakra C>Chakra B>Ganadería C (Tabla 4). Según Caiza (2015), su estudio presenta valores mayores para la profundidad 10-30 cm (74,45%), esto ocurre por la existencia de macroporos y microporos por tanto es un elevado porcentaje de retención de agua y el menor valor posee la profundidad de 0-10 cm (63,23%) esto se debe por la existencia de mayor cantidad macroporos. Los resultados de esta variable están relacionado con la clase textural predominantemente arcillosa que indican una alta capacidad de retención de agua para ser usado por los cultivos.

4.3.Parámetros químicos

Dentro de los parámetros químicos se han estudiado el contenido de materia orgánica (MO), pH, Acidez Intercambiable, Aluminio (Al), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg).

4.3.1. Materia Orgánica (MO)

En la figura 4 se presenta el porcentaje de Materia Orgánica (MO) que se encuentra en las dos profundidades y usos de tierra evaluados. Como se puede apreciar solo se presentaron diferencias significativas para el segundo horizonte (10-30 cm). A pesar de ello, los mayores valores fueron obtenidos en el horizonte superficial en especial los sistemas ganaderos, considerado como altos (>5 %).

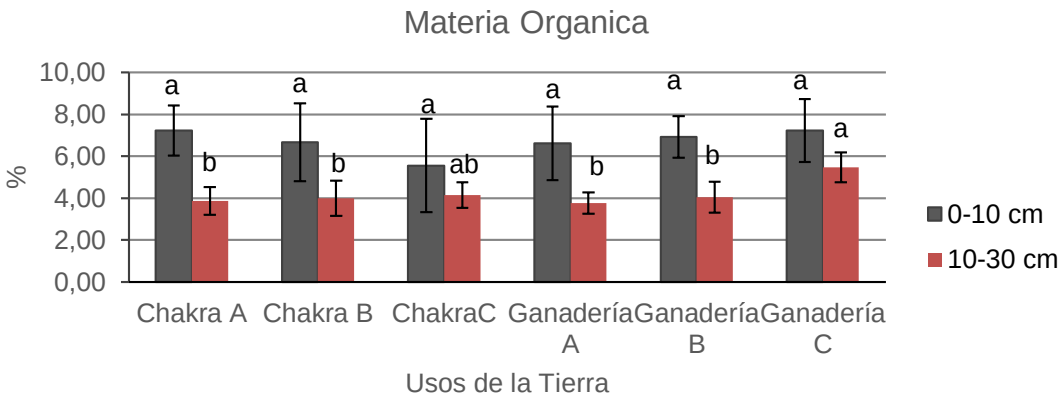
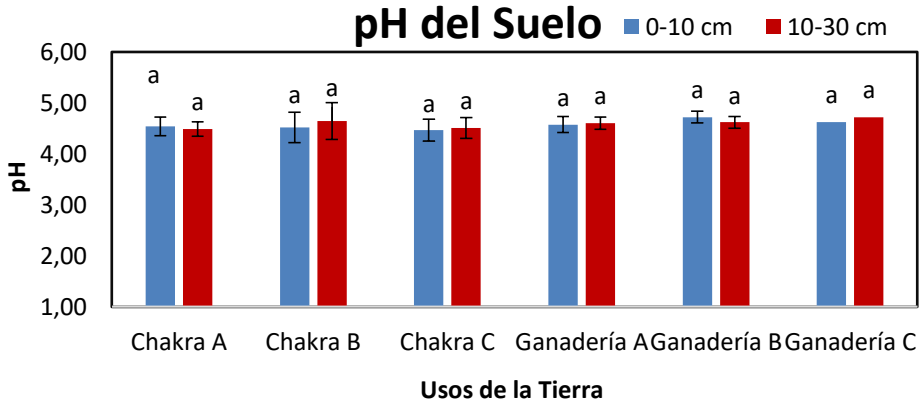


Figura 4. Distribución del contenido de materia orgánica bajo diferentes usos de la tierra.
Fuente: Autoras

Estos resultados, están asociado a los antecedentes de manejo, es decir, con el uso potencial de la región amazónica ecuatoriana (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 nutriente en especial el nitrógeno (Bravo, *et al*., 2017; Nieto y Caicedo, 2012) Es importante destacar, que el papel de la materia orgánica en suelos amazónicos tiene mayor impacto en el mejoramiento de la propiedades físicas de los suelo, lo cual ha permitido un mejoramiento de los índices estructurales relacionados con la calidad física de los suelos tales como Da, Ksat, Pa, Pr y la resistencia a la penetración (Bravo *et al*., 2017).

4.3.2. Variación del pH

En la figura 5 se muestra el pH del suelo para los usos de la tierra y las profundidades consideradas. Los valores de pH registrados en ambas profundidades oscilaron entre los rangos 4,47-4,72 (Figura 5) considerandos como suelos muy ácidos (Tabla 9).



Letras distintas en la misma profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de P<0.05

Figura 5. Valores del pH del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades en la comunidad Boayacu.
Fuente: Autoras

En la Amazonia ecuatoriana estos resultados reflejan la naturaleza de los suelos y son típicos de las regiones con altas precipitaciones produciendo lavado de cationes básicos (Ca^{++}, Mg^{++}, Na, K^{++}), prevaleciendo fuentes de acidez o cationes ácidos (Al^{++}, H^{+}) (Bravo *et al*.,2015). En la Chakra B, C y ganadería A, C en la profundidad 0-10 cm presento menor pH

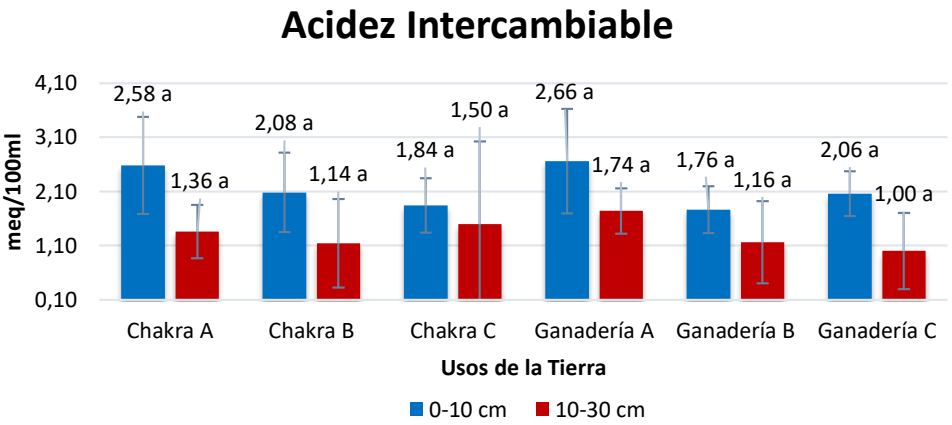
que en el capa 10-30 cm donde estos valores pueden estar relacionados con la descomposición de residuos en superficie, formación de ácidos orgánicos o a la nitrificación del $NH4^{+}$ proveniente del material fresco (Bravo *et al*., 2015).

El pH del suelo es uno de los atributos que tiene mayor influencia en el crecimiento de las plantas, ya que afecta la disponibilidad de elementos nutritivos esenciales y tóxicos, la capacidad de intercambio catiónico tiene influencia sobre la magnitud y composición de las poblaciones de los microorganismos del suelo.

4.3.3. Acidez Intercambiable (Al^{+3} +H^{+1})

La acidez intercambiable en los suelos es el resultado de la presencia de hidrógeno (H^{+1}) y Aluminio (Al^{+3}) que pueden causar una disminución en el pH. La alta concentración de Al^{+3} genera toxicidad para las plantas, además de tener un efecto negativo sobre las propiedades químicas del suelo como solubilización, disponibilidad y absorción de nutrimentos, físicas como estructura y estabilidad de agregados y biológicas como tipo de organismos presentes en el suelo, ocasionando así una reducción en el crecimiento de las raíces lo cual afecta en forma negativa el crecimiento del cultivo (Casanova, 2005).

Los valores de la acidez intercambiable (Al^{+3} +H^{+1}) no registraron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre los usos de la tierra y a los dos profundidades evaluadas. En la profundidad de 0-10 cm se mantienen promedios 1,84-2,58 meq/100ml para los usos de tierra codificados como Chakras, mientras que los sistemas ganaderos oscilaron de 1,76-2,66 meq/100ml. Para la segunda profundidad (10-30 cm) mostraron valores de 1,14-1,50 en los usos con Chakra y de 1-1,74 en los usos con ganadería (Figura 6). Los valores obtenidos son mayores a 1 meq 100 ml considerados como muy alto (Tabla 9), lo cual representa una limitación química que puede afectar la solubilización, disponibilidad y absorción de nutrimentos, presentes en el suelo, ocasionando así una reducción en el crecimiento de las raíces lo cual afecta en forma negativa al crecimiento del cultivo (Casanova, 2005). Los valores adecuados de acidez intercambiable Al+H son valores por debajo de 0.3 meq 100 ml permitiendo así el buen crecimiento de las plantas (Molina , 2002).

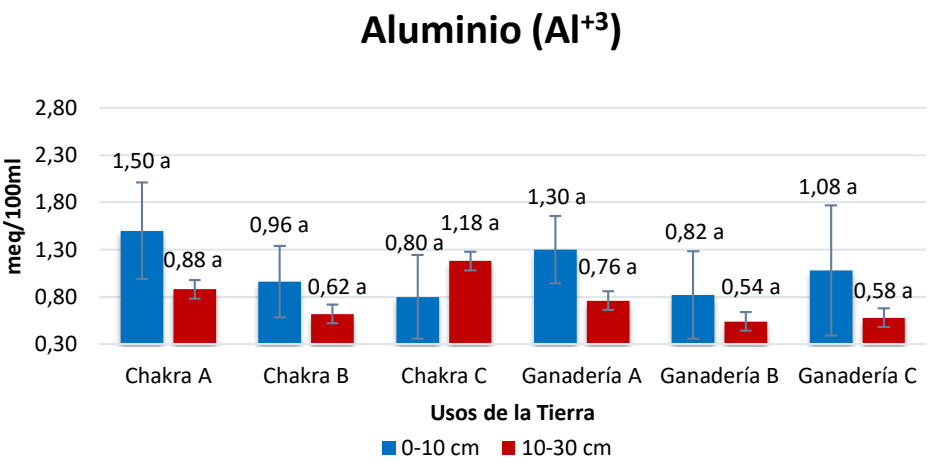


Letras distintas en la misma profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de P<0.05

Figura 6. Valores de la acidez intercambiable del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm de la comunidad Boayacu.
Fuente: Autoras.

4.3.4. Aluminio (Al^{+3})

El aluminio intercambiable representa un elemento tóxico para las plantas y constituyen el responsable de la acidez en muchos suelos tropicales (Casanova, 2005). Al respecto los análisis estadísticos de esta variable mostraron un comportamiento similar a la acidez intercambiable, no mostraron diferencias significativas para las dos profundidades y usos evaluados (Figura 7). Los datos obtenidos en la evaluación de Aluminio (Al) en los usos de tierra Chakra en la profundidad de 0-10 cm oscilaron de 0,80 a 1,50 meq/100ml mientras que los sistemas ganaderos de 0,54 a 1,30 meq/100ml rangos categorizados como medio a Tóxico (Tabla 9). En general los valores disminuyeron con la profundidad (Figura 7). Según 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 aumento en la materia orgánica.



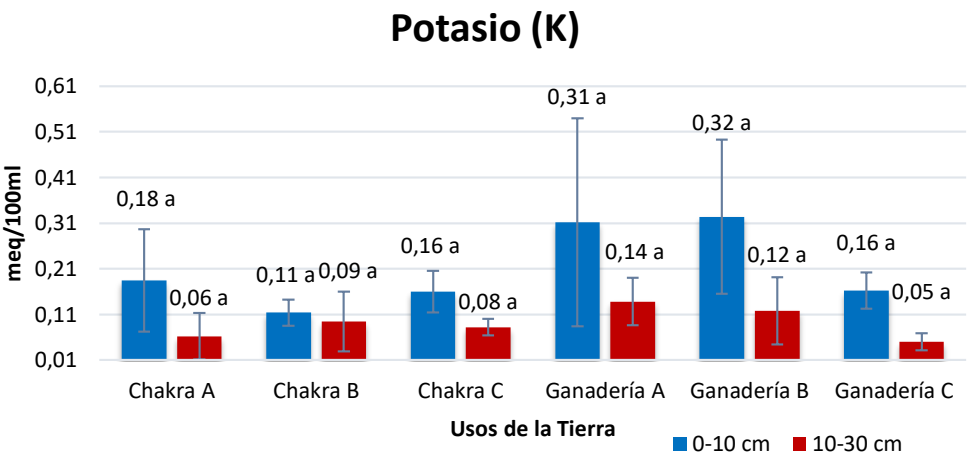
Letras distintas en la misma profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de P<0.05

Figura 7. Valores del Aluminio intercambiable (Al+3) del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm de la comunidad Boayacu.
Fuente: Autoras

4.3.5. Disponibilidad de Bases Intercambiables (Potasio (K^{+1}), Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2})

Potasio (K^{+1})

Con respecto a Potasio (K) los datos muestran que no existen diferencias significativas (P≤0.05) en las dos profundidades (Figura 8). Los valores obtenidos en la capa de 0-10 cm registraron mayor cantidad de Potasio (K) que en la profundidad 10-30 cm siendo los uso de tierra con ganadería B y A que tiene los mayores valores promedios 0,32 meq/100ml categorizado en un rango medio. No obstante, en la mayoría de los usos de tierra y los dos profundidades registran valores <0,2 meq/100ml rango categorizados como bajos (Tabla 9) (Figura 8). Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Paguay (2016), quien reporta que la mayoria de uso de tierra estudiado presenta por debajo de <0,2 meq/100ml, lo cual está relacionado con la edafogénesis de estos suelos y el lavado intenso de los cationes intercambiables

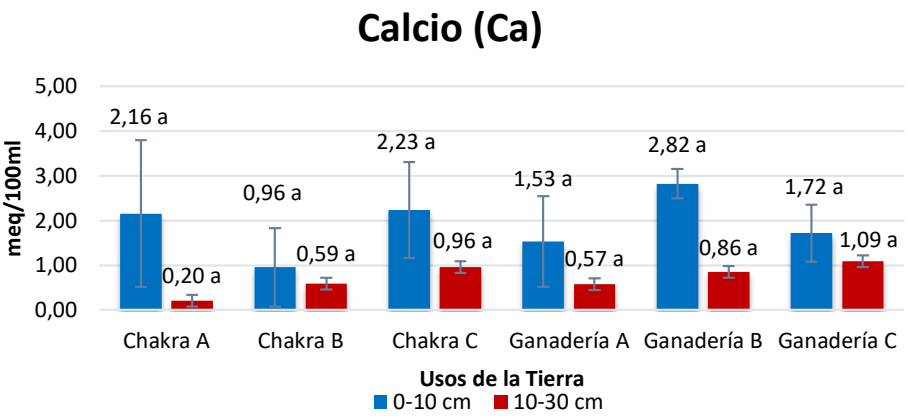


Letras distintas en la misma profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de P<0.05

Figura 8. Valores del Potasio (K) del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm de la comunidad Boayacu.
Fuente: Autoras.

Calcio (Ca^{+2})

El contenido de calcio disponible bajos distintos usos y profundidades consideradas se muestra en la Figura 9 donde se puede apreciar que no se presenta diferencias significativas (P≤0.05) .Los resultados promedios del contenido de Calcio obtenidos en los usos de tierra fueron más altos en la Chakra C (2,23 meq/100ml) y ganadería B (2,82 meq/100ml) de 0-10 cm respectivamente, mientras que en la profundidad de 10-30 cm el uso de tierra Chackra A (0,20 meq/100ml) y Ganadería A (0,57 meq/100ml) tienen menor cantidad de Calcio (Figura 9). De acuerdo al estudio realizado por Bravo *et al* (2017), menciona que a medida que aumenta la profundidad disminuye la concentración de Nutrientes como es en este caso el Calcio (Ca) independientemente del uso de la tierra.

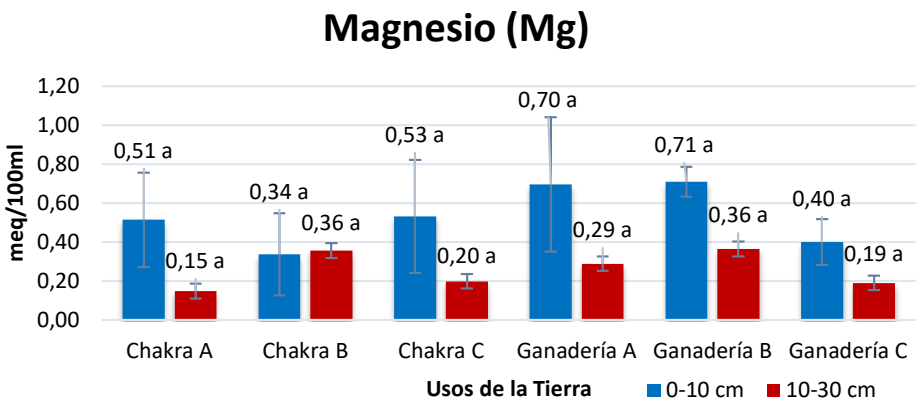


Letras distintas en la misma profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de P<0.05

Figura 9. Valores del Calcio (Ca) del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm de la comunidad Boayacu.
Fuente: Autoras.

Magnesio (Mg^{+2})

Los valores obtenidos en la presente investigación se observó que este nutriente presento un comportamiento estadístico similar al del calcio y potasio sin diferencias significativas (P≤0.05) **(**Figura 10). En la profundidad 10-30 cm y en ambos usos presenta baja cantidad de Mg y alta en la capa superficial (0-10 cm) siendo la Chakra A con menor cantidad con 0,15 meq/100ml y Ganadería A (0,70 meq/100ml) tiene mayor cantidad de Magnesio, presentando valores similares entre la Chakra B y Ganadería A (0,36 meq/100ml) en la profundidad de 10-30 cm (Figura 10). Gardi *et al*.,(2014)**,** menciona que en zonas muy húmedas los suelos se encuentran pobres en nutrientes como es el caso de magnesio debido a que están sujetas al lavado (lixiviación) reduciendo nutrientes disponibles para las plantas.



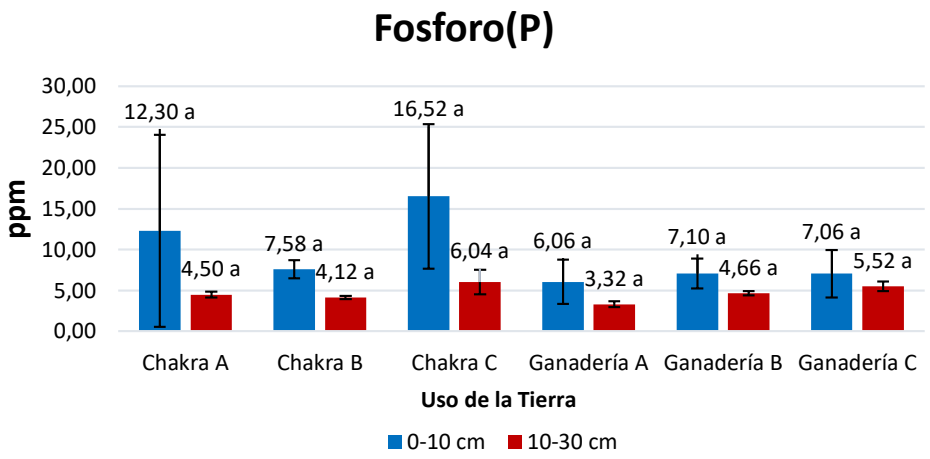
Letras distintas en la misma profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de P<0.05

Figura 10. Valores del Magnesio (Mg) del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm de la comunidad Boayacu.
Fuente: Autoras.

4.3.6. Fósforo (P)

El fósforo junto con el nitrógeno y el potasio constituye uno de los elementos de mayor requerimiento por los cultivos. Los análisis de varianza para el Fósforo (P) no mostraron diferencias significativas (P≤0.05) entre profundidades y uso de suelo (Figura 11).

El fosforo en el intervalo de 0-10 cm en ambos uso de tierra se encuentra con mayor concentración en la Chakra A (12,32 ppm) y C (16,52 ppm) Figura 11 ubicando en la tabla de interpretación (Tabla 9**)** en el rango medio. No obstante, para el resto de los usos de la tierra y en ambas profundidades el valor de este elemento está por debajo de 10 ppm categorizados como bajo; siendo el uso con Ganadería A el que registra el menor valor (3,32 ppm). En el estudio realizado por Lozano *et al*., (2010), al igual del presente trabajo presentaron mayores contenidos de P a nivel superficial y disminuyeron a mayor profundidad, lo cual los mismo autores mencionan que se debe a la descomposición de los residuos en superficie y la naturaleza poco móvil del P.



Letras distintas en la misma profundidades denotan diferencias significativas a un nivel de P<0.05

Figura 11. Valores del Fosforo (P) del suelo bajo los diferentes usos de la tierra a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm de la comunidad Boayacu.
Fuente: Autoras.

SELECCIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO MEDIANTE ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES Y MATRIZ DE CORRELACIÓN.

El porcentaje de la varianza relacionada con la calidad de suelo como se aprecia en la Tabla 4 se explica en un 71,69% con los cinco componentes seleccionado. El primer y segundo componente etiquetados como Físico-químico y químico respectivamente aportaron un 40,74% de la varianza total, mientras que en el tercer, cuarto y quinto componente en su conjunto aportan el 30, 96% , siendo mucho menor el quinto componente. Los indicadores seleccionado fuero aquellos que mostraron autovalores o cargas igual o mayores de 0.6 tal como se muestran en la Tabla 5 (Bravo *et al*., 2017).

Tabla 4. Análisis de los componentes principales en la Comunidad Boayacu.

ACP						
Varianza total explicada						
Componente	**Autovalores iniciales**			**Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción**		
	Total	**% de la varianza**	**% acumulado**	**Total**	**% de la varianza**	**% acumulado**
1	4,534	23,866	23,866	4,534	23,87	23,87
2	3,205	16,871	40,736	3,205	16,87	40,74
3	2,356	12,398	53,134	2,356	12,40	53,13
4	1,888	9,938	63,072	1,888	9,94	63,07
5	1,638	8,62	71,692	1,638	8,62	71,69

Fuente: Autoras.

En el componente 1 se seleccionaron como variables los índices estructurales (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr) cuyos contenidos promedios reflejan una adecuada condición física en la mayoría de los usos de tierras 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 humedad muy relacionado con la calidad de estos suelos, tal como ha sido señalado por Bravo et al., (2017). El componente 2 incluyo solamente la Densidad aparente y la materia orgánica del suelo ambas con una correlación inversa (Tabla 5), sugiriendo que un mayor contenido de materia orgánica disminuye los valores de densidad aparente y minimiza los problemas de compactación

Tabla 5. Análisis de la Matriz de componentes de la comunidad Boayacu.

Variables	Componentes				
	Físico y Químico	Físico y Químico	Químico	Químico	Biológico
Da, Mg m^{-3}	-,172	**-,600**	,390	-,530	,004
K_{sat}, cm h^{-1}	**-,724**	-,151	-,068	,314	,373
Pt, (%)	**,677**	,404	-,336	,198	-,090
Pa, (%)	**-,756**	,152	-,158	,342	,242
Pr, (%)	**,907**	,133	-,088	-,116	-,216
ProfHA	,295	,390	,254	-,164	,373
Textura	-,002	,375	,351	,103	-,295
Estructura	,248	-,143	,535	-,463	,242
Biomasa	,450	,455	-,387	-,106	,386
pH	,**709**	-,515	-,193	,082	-,006
Al+H, meq/100 ml	,095	,489	**,741**	,178	,060
Al^{+3}, meq/100 ml	,197	,450	**,672**	,342	,123
P, ppm	-,096	-,367	,233	**,621**	,089
K^{+1}, meq/100 ml	**,600**	-,355	,374	,063	,110
Ca^{+2}, meq/100 ml	,501	-,499	-,194	,540	,128
Mg^{+2}, meq/100 ml	**,628**	-,547	,244	,361	-,067
MO, (%)	,250	**,668**	-,052	,227	,228
Altura	,418	,162	-,311	-,224	,427
No_Lombrices	-,034	,370	-,045	,093	**-,811**

Da: Densidad aparente del suelo; **K_{sat}**: Conductividad hidráulica saturada; **Pt:** porosidad total; **Pa**: Porosidad de aireación; **Pr**: Porosidad de retención; **Al+H**: Acidez intercambiable; **Al^{+3}**: Aluminio; **P**: Fósforo disponible; **K^{+1}**: Potasio intercambiable; **Ca^{+2}**: Calcio intercambiable; **Mg^{+2}**: Magnesio intercambiable; **MO**: Materia Orgánica.

Fuente: Autoras

Tabla 6. Análisis de correlaciones de las variables físicas-químicas del suelo.

Correlaciones																	
	Da	**ksat**	**Pt**	**Pa**	**Pr**	**ProfHA**	**Textura**	**Estructura**	**Biomasa**	**pH**	**AcI**	**Al3**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**MO**
Da	1,00																
ksat	-,265*	1,00															
Pt	-,600**	-0,05	1,00														
Pa	-,442**	,708**	0,04	1,00													
Pr	-0,17	-,493**	,768**	-,609**	1,00												
ProfHA	-0,04	-0,28	0,16	-0,20	0,23	1,00											
Textura	0,07	-0,07	-0,14	-0,08	-0,07	0,09	1,00										
Estructura	,290*	-,355**	-0,05	-,365**	0,19	0,14	-0,09	1,00									
Biomasa	-,272*	-0,11	0,19	-0,05	0,18	,361*	-0,12	0,03	1,00								
pH	0,00	-0,22	0,07	-,259*	0,22	-0,08	-0,12	-0,06	0,11	1,00							
AcI	-,342**	0,20	0,07	,306*	-0,14	0,30	0,18	-,420**	-0,14	-,277*	1,00						
Al3	-,294*	0,10	-0,01	0,25	-0,17	0,31	0,23	-0,16	-0,18	-0,24	,813**	1,00					
P	-0,13	,418**	-0,12	0,25	-0,25	-0,09	-0,03	-,325*	-0,17	0,04	,293*	,292*	1,00				
K	-0,14	0,05	0,20	0,04	0,14	0,08	0,01	-,326*	0,02	,274*	,413**	0,23	0,20	1,00			
Ca	-,264*	0,15	0,08	0,18	-0,05	-0,07	-0,16	-,424**	0,04	,374**	0,22	0,10	,567**	,551**	1,00		
Mg	-0,24	0,06	0,20	0,07	0,12	-0,03	-0,12	-,358**	-0,06	,390**	,377**	0,17	,420**	,758**	,777**	1,00	
MO	-,604**	0,23	,257*	,362**	-0,03	0,31	0,03	-,431**	,309*	-0,09	,466**	,327*	0,17	0,25	,455**	,292*	1
* La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).																	
** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).																	

Fuente: Autoras

Los análisis de correlación (Tabla 6) sirvieron para confirmar la selección de los indicadores de calidad física y química señalando un mayor grado de asociación entre la Da y la Pt, Pa, Al+H y MO; mientras que la correlación entre las variables químicas mostraron mayores asociaciones entre pH, acidez intercambiable, Aluminio y las bases cambiables (K^{+1}, Ca^{+2}, y Mg^{+2}). Algunos estudios han señalado relaciones significativas entre las fracciones orgánicas con las propiedades físicas estudiadas, dentro de las fracciones orgánicas separadas por tamaño de partícula, el CO fue la que presentó el mayor número de asociaciones con las propiedades físicas. Al igual que el COT y el CO fue significativamente relacionado con PT y DA, a su vez, también se observaron relaciones. Mientras que en el estudio realizado por (Sepúlveda, 2009) indica que el análisis de correlación fueron más significativos entre Da y Resistencia mecánica del suelo ($R=0.69$; $p\leq0.01$). Al mismo tiempo, la Da se correlacionó significativamente ($p\leq0.05$) con los siguientes factores de variabilidad: consistencia del suelo en seco y en húmedo, adhesividad y plasticidad.

4.4. OBTENCIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO

A partir de los indicadores seleccionados se procedió a calcular los índices de calidad.

4.4.1. Índice de calidad física del suelo

En la Tabla 7 se muestra el valor normalizado de cada una de las variables físicas seleccionadas, para los distintos usos de la tierra y las profundidades consideradas. Se puede apreciar que la Da, la Pr, Pa y la MO son las que mayor aporte hace al Índice Calidad Física del suelo (ICFS). Se puede observar que para el horizonte superficial (0-10 cm) los índices en su mayoría fueron categorizados de alta calidad (AC) con excepción de la Chakra C que su calidad fue moderada.

Tabla 7. Índice de calidad física del suelo bajo diferentes usos de la tierra.

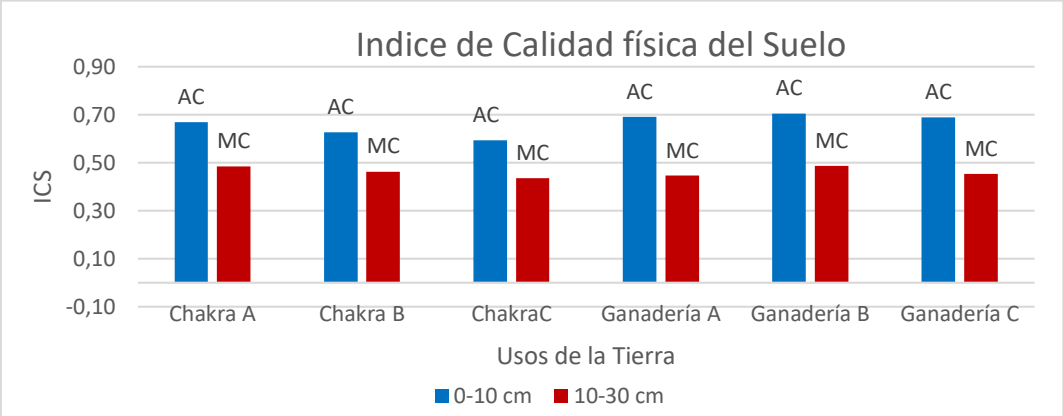
		Da	Ksat	Pt	Pa	Pr	MO	ICFS	Clase
		Profundidad de 0-10 cm							
1	Chakra A	0,89	0,41	0,87	0,53	0,63	0,67	0,67	AC
2	Chakra B	0,79	0,57	0,74	0,57	0,48	0,61	0,63	AC
3	ChakraC	0,75	0,94	0,75	0,31	0,33	0,48	0,59	MC
4	Ganadería A	0,83	0,11	0,87	0,88	0,85	0,60	0,69	AC
5	Ganadería B	0,82	0,19	0,90	0,83	0,86	0,64	0,70	AC
6	Ganadería C	0,88	0,27	0,90	0,65	0,75	0,67	0,69	AC
		Profundidad de 10-30 cm							
		Da	Ksat	Pt	Pa	Pr	Mo	ICFS	Clase
1	Chakra A	0,78	0,01	0,85	0,05	0,93	0,28	0,48	MC
2	Chakra B	0,74	0,12	0,72	0,36	0,54	0,29	0,46	MC
3	ChakraC	0,68	0,08	0,72	0,17	0,65	0,31	0,43	MC
4	Ganadería A	0,71	0,03	0,77	0,13	0,77	0,27	0,44	MC
5	Ganadería B	0,73	0,02	0,86	0,07	0,93	0,30	0,49	MC
6	Ganadería C	0,77	0,11	0,64	0,24	0,49	0,47	0,45	MC

AC: Alta Calidad; **MC**:Moderada Calidad; **Da**: densidad aparente; **Ksat:** conductividad hidráulica saturada; **Pt:** porosidad total; Pa: Porosidad de aireación; **Pr**:Porosidad de retención**; MO**: materia orgánica

Fuente: Autoras.

El orden obtenido fue el siguiente: Ganadería B (0,70)> Ganadería C-A (0,69>Chakra A (0,67) Chakra B (0,63)>Chakra C (0,59) (Figura 12). Para la segunda profundidad independientemente del uso de tierra se observó una disminución resultando en todos los casos en una Moderada Calidad (MC). En dicha profundidad la secuencia obtenida fue Ganadería B (0,49)>Chakra A (0,48)>Chakra B (0,46)>Ganadería C (0,45)>Ganadería A (0,44)>Chakra C (0,43) (Figura 12). El índice de calidad del suelo (ICS) de estudio realizado por Bravo *et al*., (2015) para distintos usos oscilo de 0.79>0,41>0,35>0,20, para el Bosque, sabana, eucalipto y Pinar respectivamente los cuales los ubica en las clases de alta calidad (Bosque), moderada calidad (sabana) y de baja calidad (Eucalipto y Pino). Mientras que Becker *et al*., (2007) el índice de calidad del suelo para su estudio fue de (0,47) obteniendo una clase de moderada cuyo valor del ICS está fuertemente influenciado por C orgánico. Los cambios de calidad del suelo entre una y otra profundidad están determinados por el descenso de la materia orgánica que a su vez disminuyen los valores de algunos índices estructurales. En base a ello como ha sido señalado por algunos investigadores un cambio de uso en condiciones amazónicas, necesariamente debería estar orientados a usos análogos o parecidos

a los bosque o sistemas agroforestales (Bravo *et al*., 2017; Nieto y Caicedo, 2012) que aporten continuamente residuos al suelo.



Letras están relacionadas con la categorización del Índice de calidad de suelos **(Tabla 2): MAC:** Muy alta calidad; **AC**: Alta calidad; **MO**: Moderada calidad; **BC**: Baja calidad; **MBC**: Muy baja calidad.

Figura 12. Índice de calidad física del suelo de la profundidad 0-10 cm y 10-30cm, bajo dos usos de tierra de la Comunidad Boayacu.
Fuente: Autoras.

4.4.2. Índice de calidad química del suelo

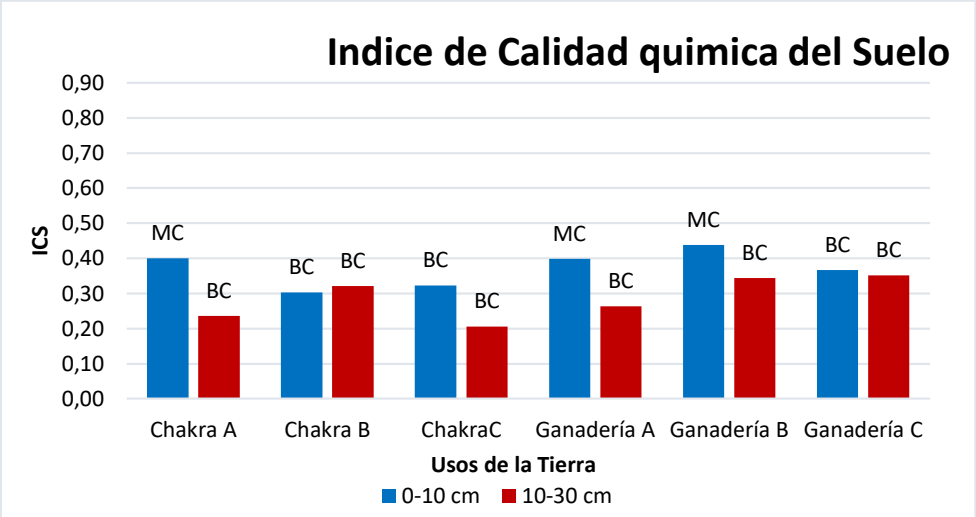
En la Tabla 8 se muestra el valor normalizado de cada una de las variables químicas seleccionadas, para los distintos usos de la tierra y las profundidades consideradas. Se puede apreciar que la MO es la variable que contribuye en mayor proporción a mejorar ligeramente la calidad química del suelo (ICQS). Para el horizonte superficial el ICQS presentó un rango que osciló de 0,30 a 0,44 categorizados como clase de Baja a Moderada calidad, mientras que para el segundo horizonte (10-30 cm) la calidad disminuye para todos los usos de la tierra clasificando como de Baja calidad (BC).

Tabla 8. Índice de calidad química del suelo (ICQS).

		pH	Acidez $Al^{+3}+H^{+1}$	Aluminio (Al^{+3})	Potasio (K^{+1})	Calcio (Ca^{+2})	Magnesio (Mg^{+2})	Materia Orgánica (MO)	ICQS	C
Profundidad de 0-10 cm										
1	Chakra A	0,22	0,17	0,99	0,40	0,29	0,07	0,67	0,40	MC
2	Chakra B	0,21	0,37	0,55	0,24	0,11	0,04	0,61	0,30	BC
3	Chakra C	0,19	0,46	0,42	0,34	0,30	0,07	0,48	0,32	BC
4	Ganadería A	0,23	0,14	0,83	0,69	0,20	0,10	0,60	0,40	MC
5	Ganadería B	0,29	0,50	0,43	0,71	0,39	0,10	0,64	0,44	MC
6	Ganadería C	0,25	0,38	0,65	0,35	0,23	0,05	0,67	0,37	BC
Profundidad de 10-30 cm										
1	Chakra A	0,20	0,14	0,52	0,12	0,00	0,00	0,28	0,18	BC
2	Chakra B	0,26	0,36	0,73	0,19	0,06	0,04	0,29	0,28	BC
3	Chakra C	0,20	0,20	0,27	0,16	0,11	0,01	0,31	0,18	BC
4	Ganadería A	0,24	0,01	0,62	0,29	0,06	0,03	0,27	0,22	BC
5	Ganadería B	0,25	0,34	0,80	0,25	0,10	0,04	0,30	0,30	BC
6	Ganadería C	0,29	0,50	0,77	0,09	0,13	0,01	0,47	0,32	BC

Letras están relacionadas con la categorización del Índice de calidad de suelos **(Tabla 2): MAC:** Muy alta calidad; **AC**: Alta calidad; **MO**: Moderada calidad; **BC**: Baja calidad; **MBC**: Muy baja calidad.
Fuente: Autoras.

El índice de calidad del suelo (ICQS) en la profundidad de 0-10 cm oscilo de 0,44>0,40>0,40>0,37>0,32>30, para Ganadería B, Chakra A, Ganadería A, Ganadería C, Chakra C y Chakra B respectivamente; ubicando a la Ganadería B, Chakra A, Ganadería A, en la clase Moderada y baja calidad a la Ganadería C, Chakra C y Chakra B (Tabla 8). Para la segunda profundidad la secuencia obtenida fue la siguiente:0,32>0,30>0,28>0,22>0,18>0,18 , para Ganadería C, Ganadería B, Chakra B, Ganadería A, Chakra A y Chakra C respectivamente los cuales se encuentran en la clase de baja ya que se encuentran en los rangos de 0,18-0,32 (Tabla 2). Mientras aumenta la profundidad disminuye el índice de calidad de suelo (ICQS) debido fundamentalmente a la disminución de la materia orgánica y la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes cuyos valores promedios en todos los usos son muy bajos, coincidiendo estos resultados con oros estudios realizados en la zona y donde se destaca que las variables quimicas en la región Amazonica por su naturaleza poseen baja fertilidad debido a los materiales parentales y las condiciones climáticas de la zonas con alta precipitación que hace que ocurra el lavado de las bases intercambiables (Bravo *et al*., 2017).



Letras están relacionadas con la categorización del Índice de calidad de suelos **(Tabla 2): MAC:** Muy alta calidad; **AC**: Alta calidad; **MC**: Moderada calidad; **BC**: Baja calidad; **MBC**: Muy baja calidad.

Figura 13. Índice de calidad química del suelo de la profundidad 0-10 cm y 10-30cm, bajo dos usos de tierra de la Comunidad Boayacu.

Fuente: Autoras.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los valores obtenidos de propiedades físicas (Da, Ksat, Pt, Pr) evaluadas en los usos de Chakra y Ganadería están fuertemente influenciado por el contenido y variación de la materia orgánica y muestran un adecuado funcionamiento físico que se refleja en los bajos valores de Da, alta porosidad y conductividad hidráulica saturada señalando un rango adecuado aireación e infiltración, retención de humedad y que no existen problemas de degradación como la compactación.

- En el caso de las propiedades químicas los resultados en su mayoría reflejan suelos caracterizados por una baja fertilidad, pH acido, alta presencia de aluminio intercambiable, baja disponibilidad de nutrientes por lo que se concluye que la calidad química están influenciados por la génesis o el material parental.

- El índice de calidad del suelo (ICS) para los parámetros físicos en la profundidad 0-10 cm presenta una alta calidad independientemente del uso de tierra presentando una similitud en Ganadería C-A (0,69), pero varía para la profundidad de 10-30 cm presentando una moderada calidad en los dos usos de tierra sin similitud alguna.

- El índice de calidad del suelo (ICS) para los parámetros químicos varían para la profundidad de 0-10 cm para la Chakra A, Chakra C y Ganadería C presenta una baja calidad mientras que para la Chakra A, Ganadería A, Ganadería B, posee moderada calidad y existe una variación en la profundidad de 10-30 cm presentando una baja calidad en todos los usos de tierra.

Recomendaciones

- Realizar una evaluación integral de la calidad del suelo por lo que se recomienda incluir variables o indicadores biológicos que pueden medir impacto tempranos derivados del cambio de uso de la tierra.
- Incluir en las evaluaciones un uso de referencia que podría ser el Bosque
- Se realice monitoreo de esas zonas de estudio para que se puede determinar el impacto en la calidad del suelo en los diferentes usos de tierra en el tiempo.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, S., Jarramillo, R., Valverde, F., & Parra, R. (2011). *Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maiz bajo labranza de conservación para la Provincia de Bolívar.*

Bastidas, M. (2015). *Mecanismos de incentivo para la restauración de paisajes degradados.*

Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *redalyc.org*, 1-11.

Becker, A., Cantú, M., Beda, J., & Schiavo, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto*.

Bertsh, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. *Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo*, 157.

Blake, J., & Hartge, L. (1986). Bulk density. In C.A. Klute (de). *Methods of soil analysis, Part 1. Agronomy, 9*, 349-378.

Bonilla, A. (2015). *Generación de infromacion geopedologica y el uso del suelos en la Parroquia Shell, cantón Mera.* Ambato, Ecuador.

Bravo , C., Ramires, E., Canchica, H., & Gonzales, I. (2015). Evaluación de la calidad del suelo mediante el uso de Indices e indicadores bajo diferentes usos de la tierra en la cuenca de la Mariposa, Venezuela. *Suelos*.

Bravo, C., & Lozano, Z. (2014). Obtenido de Evaluación de calidad de suelo y salud de los cultivos.

Bravo, C., Benítez, D., Durazno, G., Torres, V., Ramírez, A., Armijo, H., . . . Vinueza, R. (2015). *Diagnóstico ambiental de unidades de producción agropecuaria en tres pisos altitudinales de la provincia de Napo, Ecuador.* Puyo-Ecuador.

Bravo, C., Diócledes , B., Vargas , J., Alemán, R., Torres, B., & Marín, H. (2015). Caracterización socio-ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana: Caso Pastaza y Napo. *Amazónica Ciencia y Tecnología, 4*(1), 3-31.

Bravo, C., Marín , H., Marrero, P., Ruiz, M., Torres, B., Navarrete, H., . . . Changoluisa, D. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidadesde producción de la provincia de Napo, Amazonia Ecuatoriana. *Bioagro*, 23-36.

Bravo, C., Marín , H., Torres, B., Alemán, R., Torres , R., Navarrete, H., & Changoluisa, D. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *REDVET, 18*(11), 1-16.

Bravo, C., Torres, B., Aleman, R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., . . . Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografia de la Universidad Complutense*.

Buestán, L. (2013). *Evaluación de tres distancias y dos sistemas de siembra del pasto maralfalfa (Pennisetum sp) en el área del centro de investigación postgrado y conservación amazónica.*

Caiza, D. (2015). Obtenido de Estudio de la degradación fisíca del suelo y plan de manejo ambiental para la finca Luis Cevallos.

Cantu, 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.

Cárdenas, I. (2015). *Fertilización foliar complementaria con tres bioestimulantes a tres dosis en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.*

Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo.*

Castillo, M. (Diciembre de 2015). *Estudio de impacto ambiental para el mejoramiento, ampliación e implementación de los sistemas de alcantarillados sanitario y pluvial de a ciudad de Puyo.* Obtenido de https://maepastaza.files.wordpress.com/2016/04/esia-puyo-vfinal-conpaginado.pdf

Chimborazo, C. (2017). *Los componentes e indicadores para la gestión y evaluación de la sustentabilidad en proyectos ganaderos en la parroquia 10 de Agost, cantón Pastaza, Provincia Pastaza.*

Chirinos, & Mattiazzo. (2004). Variación de la conductividad hidráulica en suelos saturados en función de la concentración de sodio presente en residuo agroindustrial. *Scielo*.

Cuenca, D. (2014). *Impacto de la ganadería sobre las características físicas- químicas del suelo predio Los Altares.*

Duval, E., Galantini , J., Martinez, J., Wall, L., & Lopez , F. (2015). Evaluación de la calidad física de los suelos de la región pampeana: efecto de las prácticas de manejo. *Ciencias Agronómicas*, 33-34.

Filgueira, R., Soracco, C., Sarli , G., & Fournier, L. (2006). Estimacion de propiedades hidráulicas de suelos por mediciones a campo y el uso de modelos de flujo Estacionario y transitorio. *Ciencias de Suelos*.

Florentino, A. (1998). Guía para la valuación d 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.

GAD Parroquial Teniente Hugo Ortíz. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural "Teniente Hugo Ortiz".*

GADPPz. (2017). Obtenido de Reseña historica de la Parroquia Teniente Hugo Ortiz: http://www.pastaza.gob.ec/pastaza/tnte-hugo-ortiz

GADPz. (2012). *Plan de desarrollo de la provincia de Pastaza al año 2025.*

García, Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso manera de evaluar este recurso. *Scielo*, *35*(2), 125-138.

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., . . . Vargas, R. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. (pág. 176). L-2995 Luxembourg. Obtenido de Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.

Geissert , D., & Ibáñez, A. (2015). Calidad y ambiente físico-químico de los suelos. *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz*.

GeoEcuador. (2008). *El Estado del suelo.*

González, L., González, G., Sánchez, I., López, A., & Valenzuela, M. (2010). Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. *Terra Latinoamericana*, 369-377.

Granda, M. (2015). *Análisis Socio-Ambiental en doce parroquias amazónicas de Ecuador y su relación con actividades de conservación de bosques nativos.* Quito-Ecuador.

Gregoric, Carter, Angers, Monrea, & Ellerta. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Soil Sci*, *74*, 367-385.

Hernández, A., Vera , L., Nevada, C., Guzmán, Á., Vivar, M., Zambrano, T., . . . López, G. (2017). Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra, en las partes media y baja de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales, 38*(1), 50-56.

INIAP. (2012). *Niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelos.*

Loaiza, J. (2010). El recurso suelo. *Suelos ecuatoriales, 41*(1), 6-18.

López , V., Espíndola, F., & Calles, J. (2013). AMAZONÍA ECUATORIANA BAJO PRESION. *Ecociencia*.

López, A., González, G., Cadena, M., & González, J. (2011). Efecto de la labranza sobre la porosidad de un suelo arcilloso de pastizal estimada mediante análisis de imagen. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 33-44.

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

Lozano, Z., Romero, H., & Bravo, C. (2010). Influencia de los cultivos de cobertura y el pastoreo sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana. *Agrocienia*, 135-146.

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

MAE. (2014). *Gestión integrada para la lucha contra la desertificación, degradación de la tierra y adaptación al cambio climático.*

MAGAP. (2015). *La política agropecuaria Ecuatoriana.*

Maldonado, L. (2015). *Caracterización del suelo en un sistema de producción ganadera y bosque primario adyacente en el cantón Arajuno.* Puyo- Ecuador.

Mariño, O. (2002). *Alternativas para solucionar las deficiencias del sistema de comercialización de los productos agropecuarios en la provincia de Pastaza.* Quito.

Martín, & Pérez. (2009). Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. *Scielo, 30*(1).

MCPEC. (2011). *Agendas para la transformación productiva territorial: Provincia de Pataza.*

Meléndez, G. (2012). *Evaluación de las propiedades físicas de un suelo cultivado con caña de azucar (Saccharum officinarum) bajo la aplicación de biosólidos.*

Molina , E. (2002). *Análisis de suelos y su interpretación.* Obtenido de Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

Nelson, D., & Sommer, L. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *9*(2), 539-579.

Nieto, C., & Caicedo, C. (2012). *Análisis sobre el desarrollo agropecuario en la Amazonía Ecuatoriana.* Quito-Ecuador: INIAP-EECA.

Paguay, D. (2016). *Influencia de los Sistemas agroforestales y monocultivo de Cacao sobre la calidad de suelo, en el cantón Arosemena Tola.* Puyo-Ecuador.

Pijal, A. (2015). *Efecto de estructuras conservacionistas en la recuperación de suelos degradados en la cuenca media del río Mira.* Ibarra, Ecuador.

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.

RAISG. (2015). *Deforestación Amazonia* .

Rubio , A. (Julio de 2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales.*

Sadeghian , S., Rivera , J., & Gómez , M. (2016). Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*, 77-94.

Sadeghian, S. (2016). *Impacto de la ganaderia sobre el suelo,Alternativas sostenibles de manejo.*

Sarandón, S., & Flores, C. (2014). *La insustentabilidad del modelo de agricultura actual.*

Sepúlveda, R. (2009). La realción entre la desnsidad aparente y resitencia mecanica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia*, 231-240.

Valle, S. (2015). *Particularidades bioecológicas de Mahanarva andigena (Jacobi) como base para el manejo con Metarhizium anisopliae (Metschnikoff) Sorokin en la caña de azúcar Saccharum spp. híbrido en Pastaza, Ecuador.* Bayamo.

Vallejo, V. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Scielo*, 83-99.

Viana , R., Ferraz, J., Neves, A., Vieira, G., & Pereira, B. (2014). Soil quality indicators for different restoration stages on Amazon rainforest. *Soil & Tillage Research*, 1-7.

Vilca, G., & Pérez, E. (2017). *Recuperación de suelos degradados en las parcelas agrícolas de la comunidad Rancho Chico, sector Cochapamba, Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura.* Ibarra-Ecuador. Obtenido de Tesis.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Tabla 9. Niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelos.

	Muy Acido	**Ácido**	**Mediana. Ácido**	**Ligerame. Ácido**	**Práctic am. Neutro**	**Ligeram. Alcalino**	**Medianam. Alcalino**	**Alcalino**	**Alcalino**
pH	0.0- <5.00	5-5.5	>5.5-6	>6-6.5	>6.5-7.5	>7.5-8	>8-8.5	>8.5	7.00
Nutriente		**Unidad**		**Bajo**	**Medio**	**Alto**	**Toxico**		
P		ppm		<10	10-20	>20			
K		meq/100ml		<0.2	0.2-0.38	>0.38			
Ca		meq/100ml		<2	2-5	>5			
Mg		meq/100ml		<0.5	0.5-1.5	>1.5			
M.O		%		<3.	3-5	>5			
Nutriente		**Unidad**		**Bajo**	**Medio**	**Toxico**			
Al+H		meq/100ml		<0.50	0.5-1.5	>1.5			
Al		meq/100ml		<0.30	0.3-1.00	>1.00			

Fuente: (INIAP 2012).

Imagen 1. Usos de tierra Chakra y Ganadería de la Comunidad Boayacu.



Chakra A: Papachina, Maíz



Chakra C: Papachina, Caña de azúcar, Café.

	
Ganaderia A: (*brachiaria decumbens* con árboles)	**Ganaderia B**: (*Axonopus Scoparius* con árboles)

Imagen 2. Toma de biomasa	**Imagen 3.** Conteo del número de lombrices.
	

Imagen 4. Toma de muestras no alteradas para evaluación de parámetros físicos.	**Imagen 5.** Toma de muestras de suelo en las parcelas en cada uso de tierra.
	

Imagen 6. Determinación de textura, estructura.	**Imagen 7.** Determinación del color del suelo.
	

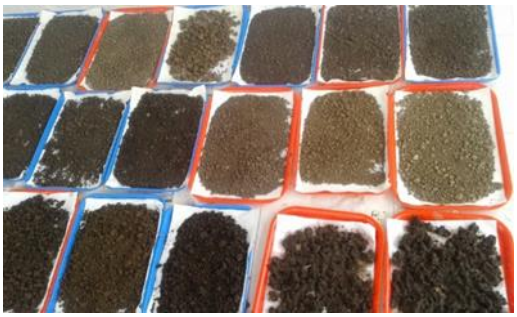
Imagen 8. Secado del suelo	**Imagen 9.** Pesado y colocación de hojarasca en la estufa a 104 °C.
	 

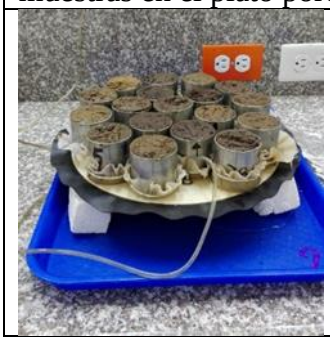
Imagen 10. Preparación de muestras en el laboratorio**.**	**Imagen 11.** Colocación de muestras a saturación 24 horas	**Imagen 12.** Filtración de agua en las muestras de suelo.
		
Imagen 13. Saturación de muestras en el plato poroso.	**Imagen 14.** Pesado de muestra secas.	**Imagen 15:** Medición de diámetro y altura del cilindro.
		

Imagen 16: Pesado de suelo.	**Imagen 17:**Agitación de muestras	**Imagen 18:** Filtrado de muestras de suelo.
		
Imagen 19: Adición de 3 gotas de rojo metilo por muestra	**Imagen 20:** Adición de 3 gotas de fenolftaleina por muestra	**Imagen 21: T**itulación para la determinación de acidez y aluminio intercambiable.
		

Imagen 22: Peso de 2.5 g de suelo.	**Imagen 23:** Agitacion de las muestras	**Imagen 24:** Filtracion de las muestras.
		
Imagen 25: Toma de 1 ml del filtrado de Olsen	**Imagen 26:** Adición de 20 ml de agua destilada y 4 ml La_2O_3 1%	**Imagen 27:** Toma de 1 ml del filtrado de Olsen para determinación de fósforo.
		
Imagen 28: Lectura de Ca, K y Mg en la espectrofotómetro de absorción atómica.	**Imagen 29:** Lectura para la obtención de Fósforo.	
