

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**



**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN LA  
UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL.**

**TITULO DEL PROYECTO:**

**“PRESENCIA DE METALES PESADOS (CADMIO Y MERCURIO) BAJO  
DISTINTOS USOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD BOAYACU  
PERTENECIENTE A LA PARROQUIA TENIENTE HUGO ORTIZ”**

**AUTORES:**

**JONATHAN PAÚL CUEVA CRUZ  
NALDO ANDERSON URQUIZO ROJAS**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

**Dr. CARLOS ALFREDO BRAVO MEDINA, PhD**

**PUYO – ECUADOR**

**2020**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, Cueva Cruz Jonathan Paúl con la cédula de identidad 1721133062 y Urquiza Rojas Naldo Anderson con la cédula de identidad 1600501231, declaramos antes las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido de proyecto de investigación **“presencia de metales pesados (cadmio y mercurio) bajo distintos usos del suelo en la comunidad Boayacu perteneciente a la parroquia Teniente Hugo Ortiz”**, en absolutamente original, autentico y personal.

En tal virtud y en segundo establecido por la ley de la propiedad intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente certifico libremente que los criterios y opiniones constante en el proyecto de investigación son exclusiva responsabilidad de los autores.



Jonathan Paúl Cueva Cruz

1721133062

Autor



Naldo Anderson Urquiza Rojas

1600501231

Autor

## **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Certifico que el siguiente trabajo fue realizado por el **Sr. Jonathan Paúl Cueva Cruz** y la **Sr. Naldo Anderson Urquizo Rojas**, egresados de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Estatal Amazónica, bajo mi supervisión en calidad de director del proyecto de titulación: **“PRESENCIA DE METALES PESADOS (CADMIO Y MERCURIO) BAJO DISTINTOS USOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD BOAYACU PERTENECIENTE A LA PARROQUIA TENIENTE HUGO ORTIZ”**, previo a la obtención del título de Ingenieros Ambientales.



**Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina, PhD.**

1757015373

**Director del Proyecto**



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND



Oficio No. 76-SAU-UEA-2020

Puyo, 29 de enero de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a los egresados CUEVA CRUZ JONATHAN PAÚL con C.I. 1721133062; y URQUIZO ROJAS NALDO ANDERSON con C.I. 1600501231, con el Tema: **“PRESENCIA DE METALES PESADOS (CADMIO Y MERCURIO) BAJO DISTINTOS USOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD BOAYACU PERTENECIENTE A LA PARROQUIA TENIENTE HUGO ORTIZ”**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director del proyecto Dr. Bravo Medina Carlos Alfredo, PhD, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 5%, Informe generado con fecha 29 de enero de 2020 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.

**ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .**

## **CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: **“PRESENCIA DE METALES PESADOS (CADMIO Y MERCURIO) BAJO DISTINTOS USOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD BOAYACU PERTENECIENTE A LA PARROQUIA TENIENTE HUGO ORTIZ”**, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.



Dr. Luis Bravo

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



MSc. Edwin Basantes

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



MSc. Fernando Cofre

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## DEDICATORIA

*A Dios, primeramente, por derramar sus bendiciones sobre mí y darme la fortaleza para poder culminar con satisfacción mi carrera universitaria. A mis padres, quienes durante este trayecto han sido mi fuente de inspiración y apoyo incondicional para alcanzar las metas anheladas, de manera muy especial a mi señora madre por todos sus consejos y valores impartidos para formarme como hijo, persona y profesional, a pesar de las circunstancias y las limitaciones me ha brindado lo mejor día a día. A mi abuelita que en paz descansa por todos sus sabios consejos que nunca se olvidaran. A mis hermanos por brindarme su apoyo y confianza. A mis compañeros y amigos con quienes compartí muchos días de estudio y también de aventuras, apoyándonos entre nosotros para que juntos logremos nuestros sueños.*

*Jonathan Paúl Cueva Cruz*

## AGRADECIMIENTO

*Al haber culminado con gran esfuerzo y perseverancia mi trabajo de investigación quiero agradecer primeramente a mi Dios y a mí abuelita que en paz descanse, por las bendiciones derramadas sobre mí, por brindarme salud y vida para finalizar con éxito mis estudios universitarios. También agradecer:*

*A mis padres, quienes me han brindado todo su apoyo y con sacrificio han entregado lo mejor durante todo mi trayecto estudiantil.*

*A Sandra S. quien me ha brindado su amistad, aprecio y apoyo incondicional en cada momento, una mujer para admirar y en quien confiar, a Mario P. por la confianza y la amistad brindada durante nuestra carrera universitaria, a mi compañero de tesis por demostrar que la unión hace la fuerza y con ello poder culminar con satisfacción nuestro proyecto de titulación para alcanzar el grado de Ingenieros Ambientales.*

*Al Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina PhD, por haber sido el mentalizador, focalizador y fuente de apoyo incondicional quien nos supo brindar su confianza; y que con gran acogida y gratitud nos dio a conocer y facilitar toda la información necesaria para la elaboración del proyecto final.*

*A mis profesores que en cada uno de los semestres me han compartido sus conocimientos, vivencias, y me han preparado para la vida profesional.*

*Jonathan Paúl Cueva Cruz*

## DEDICATORIA

*Primeramente, a Dios, quien me dio la vida y permitió estar hoy aquí, derramando todas sus bendiciones sobre mí, el permitirme día a día ser una mejor persona ante la sociedad y personalmente ante mí mismo. A mi familia, padre y madre quienes, con sus consejos, experiencias, anécdotas, supieron forjarme como hijo, ser humano, profesionalmente y sobre todo como persona, brindándome ese apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida, a pesar de las adversidades, circunstancias y limitaciones que se presentaron en los momentos menos indicados supieron mantenerse y brindarme el mejor día a día. A mi hermano por haberme permitido compartir y convivir el diario vivir de mi vida, en el ámbito académico el compartir sus experiencias, para con ello poder sobresalir en mi carrera universitaria. A mis compañeros y amigos con quienes compartí muchos momentos gratos dentro y fuera de un aula, el diario compartir, grandes aventuras, etc., apoyándonos entre nosotros para que juntos logremos nuestros sueños, no solo llegando a ser unos simples amigos sino formando parte de una familia.*

*Naldo Anderson Urquizo Rojas*

## AGRADECIMIENTO

*Al finalizar una etapa más de mi vida, a nivel profesional quiero agradecer en primer lugar a Dios por brindarme salud, perseverancia, dedicación y sobre todo al derramar su bendición a mi familia y sobre todo en mí para así finalizar mis estudios universitarios. También agradecer:*

*A mi padre y madre, quienes supieron brindarme su apoyo incondicional y con sacrificio y perseverancia han entregado todo lo mejor de sí, en mi vida personal y durante mi trayecto profesional.*

*Al Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina PhD, por haber sido el mentalizador, focalizador y fuente de apoyo incondicional quien nos supo brindar su confianza y a la vez siendo partícipe del mismo, que con gran acogida y gratitud nos dio a conocer y facilitar toda la información necesaria para la elaboración del proyecto final.*

*A mis profesores que semestre a semestre nos brindan el conocimiento y apoyo necesario a cada uno de nosotros como estudiantes, que nos supieron guiar por el mejor camino y formar parte de una universidad de excelencia.*

*A Génesis F. y Hamilton A. con quienes compartí momentos gratos dentro y fuera de un aula, vivencias, convivencias, experiencias, anécdotas, en fin; quienes con sus amistad y consejos en los momentos más difíciles supieron estar ahí, como solía decir “si uno de los tres está mal o se cae, todos estaremos mal y estaremos ahí para levantarnos juntos” “TRIPODE”.*

*Naldo Anderson Urquizo Rojas*

## Resumen

Los metales pesados, están presentes en concentraciones relativamente bajas en la corteza terrestre, los suelos y las plantas, sin embargo, son los contaminantes más peligrosos, debido a que no son biodegradables y pueden ser absorbidos por las plantas en mayor o menor proporción, dependiendo de las propiedades del suelo. Dadas las condiciones naturales se presenta una gran variedad de metales, formando parte de los minerales o provenientes de rocas y pueden encontrarse en forma de óxidos, hidróxidos o aglomeraciones con otros elementos. El estudio se realizó en la Provincia de Pastaza en la región amazónica de Ecuador, en diferentes usos, con el objetivo de establecer las relaciones de las propiedades físico-químicas del suelo y la disponibilidad de cadmio y mercurio bajo distintos usos del suelo. Para la evaluación del recurso suelo se realizó un esquema de muestreo sistemático para cada uso de la tierra seleccionados tanto de chacra como de sistemas ganaderos, en los cuales se determinaron algunas propiedades físicas, químicas y la disponibilidad de cadmio y mercurio en el suelo. Los resultados obtenidos muestran en forma general diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los distintos usos de la tierra para la mayoría de las propiedades evaluadas. Sin embargo, independientemente de los usos de la tierra los suelos presentan adecuadas condiciones de aireación relacionadas con su porosidad y densidad aparente, con suelos ácidos, alto contenido de materia orgánica, baja fertilidad. Los usos del suelo con chacra mostraron los mayores valores de cadmio con rangos de 1 a  $1.30 \text{ mg.kg}^{-1}$ , en comparación con los sistemas ganaderos que oscilaron entre  $0.71$  y  $0.75 \text{ mg.kg}^{-1}$ , mostrando relaciones moderadas entre el Cd y la MO ( $r = -0.51$ ) y la disponibilidad de P ( $r = 0.40$ ). Los usos del suelo con chacra mostraron los mayores valores de mercurio (Hg) con valores promedios de  $0.71$  a  $0.81 \text{ mg.kg}^{-1}$ , en comparación con los sistemas ganaderos que oscilaron entre  $0.37$  y  $0.71 \text{ mg.kg}^{-1}$  y el Bosque ( $0.58 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Para el Horizonte superficial mostrando relaciones moderadas entre el Hg y disponibilidad de P ( $r = 0.49$ ) para el horizonte superficial y entre Hg - MO ( $r = -0.44$ ), Hg y Zn ( $r = 0.34$ ) en la capa de 10-30 cm.

**Palabras claves:** metales pesados, propiedades físicas, propiedades químicas, usos del suelo.

## **Abstract**

Heavy metals are present in relatively low concentrations in the earth's crust, soils and plants, however, they are the most dangerous pollutants because they are not biodegradable and can be absorbed by plants to a greater or lesser extent, depending on soil properties. Given the natural conditions, a great variety of metals are present, forming part of the minerals or coming from rocks and can be found in the form of oxides, hydroxides or agglomerations with other elements. The study was carried out in Pastaza Province in the Amazon region of Ecuador, in different uses, with the objective of establishing the relationships between the physical-chemical properties of the soil and the availability of cadmium and mercury under different soil uses. For the evaluation of the soil resource, a systematic sampling scheme was carried out for each selected land use, both on farms and in livestock systems, in which some physical and chemical properties and the availability of cadmium and mercury in the soil were determined. The results obtained generally show significant differences ( $p \leq 0.05$ ) between the different land uses for most of the properties evaluated. However, regardless of the land uses, the soils present adequate aeration conditions related to their porosity and apparent density, with acid soils, high organic matter content, low fertility. Farmland uses showed the highest cadmium values with ranges from 1 to 1.30 mg.kg<sup>-1</sup>, compared to livestock systems that ranged from 0.71 to 0.75 mg.kg<sup>-1</sup>, showing moderate relationships between Cd and MO ( $r = -0.51$ ) and P availability ( $r = 0.40$ ). The land uses with farm showed the highest values of mercury (Hg) with average values of 0.71 to 0.81 mg.kg<sup>-1</sup>, compared to the cattle systems that oscillated between 0.37 and 0.71 mg.kg<sup>-1</sup> and the Forest (0.58 mg.kg<sup>-1</sup>). For the superficial horizon showing moderate relations between Hg and P availability ( $r = 0.49$ ) for the superficial horizon and between Hg - MO ( $r = -0.44$ ), Hg and Zn ( $r = 0.34$ ) in the layer of 10-30 cm.

**Keywords:** heavy metals, physical properties, chemical properties, land use.

# Índice

<b>CAPÍTULO I</b> .....	14
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	14
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	17
1.2 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.3 FORMULACIÓN DEL PROYECTO.....	19
1.4 HIPÓTESIS.....	19
1.5 OBJETIVOS.....	19
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.5.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	19
<b>CAPÍTULO II</b> .....	20
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	20
2.1 ANTECEDENTES.....	20
2.2 EL RECURSO SUELO Y SUS DISTINTAS FUNCIONES.....	21
2.2.1 SUELO.....	21
2.2.2 CLASIFICACIÓN DEL SUELO DE PASTAZA SEGÚN SU CALIDAD.....	21
2.2.3 CONTAMINACIÓN DEL SUELO.....	22
2.2.4 CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS.....	23
<b>2.2.5 CADMIO</b> .....	23
<b>2.2.6 MERCURIO</b> .....	25
<b>2.3 FACTORES QUE AFECTAN A LA DISPONIBILIDAD DE LOS METALES</b> .....	27
<b>2.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO</b> .....	27
2.3.1.1 TEXTURA DEL SUELO.....	27
2.3.1.2 ESTRUCTURA DEL SUELO.....	29
2.3.1.3 CONSISTENCIA DEL SUELO.....	29
2.3.1.4 DRENAJE DE LOS SUELOS.....	30
<b>2.4 PROPIEDADES QUÍMICAS</b> .....	30
2.4.1 REACCIÓN DEL SUELO (pH).....	30
2.4.2 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC).....	31
2.4.3 MATERIA ORGÁNICA (MO).....	31
<b>2.5 DISTINTOS USOS DEL SUELO</b> .....	31
<b>CAPÍTULO III</b> .....	33
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	33
3.1 LOCALIZACIÓN.....	33
<b>3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	34

<b>3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	34
3.3.1 ANÁLISIS FÍSICOS .....	35
3.3.2 ANÁLISIS QUÍMICOS .....	35
3.3.3 DETERMINACIÓN DE METALES (CADMIO Y MERCURIO) .....	36
3.3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS .....	36
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	37
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	37
<b>4.1 EVALUCIÓN PARÁMETROS FÍSICOS</b> .....	37
4.1.1 DENSIDAD APARENTE (DA) Y CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA ( $K_{SAT}$ ).....	37
<b>4.1.2 POROSIDAD DEL SUELO</b> .....	39
4.1.2.1 POROSIDAD TOTAL (Pt) DEL SUELO .....	39
4.1.2.2 POROSIDAD DE AIREACIÓN (Pa) DEL SUELO .....	40
4.1.2.3 POROSIDAD DE RETENCIÓN (Pr) DEL SUELO.....	41
<b>4.2 CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS</b> .....	42
4.2.1 pH, ACIDEZ INTERCAMBIABLE (ACL), ALUMINIO INTERCAMBIABLE ( $AL^3$ ) .....	42
4.2.2 CARBONO ORGÁNICO TOTAL Y FÓSFORO.....	45
4.2.3 BASES INTERCAMBIABLES DEL SUELO.....	47
4.2.4 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (Cd, Hg) EN DIFERENTES USOS DEL SUELO.....	50
<b>4.3 RELACIONES DE PROPIEDADES DEL SUELO Y CONTENIDO DE METALES PESADOS EN DIFERENTES USOS DEL SUELO</b> .....	52
<b>CAPÍTULO V</b> .....	60
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	60
5.1 CONCLUSIONES .....	60
5.2 RECOMENDACIONES .....	60
<b>ANEXOS</b> .....	61
Bibliografía .....	64

## TABLA DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1.</b> Texturas del suelo .....	29
<b>Figura 2.</b> Localización del área de estudio y punto de muestreo en cada uso de suelo seleccionado.....	33
<b>Figura 3.</b> Modelo de muestreo aplicado en campo para extracción de suelo.....	34
<b>Figura 4.</b> Distribución de la densidad aparente (A) profundidad 0-10cm y 10-30cm bajo distintos usos de suelo. ....	38
<b>Figura 5.</b> Distribución de conductividad hidráulica saturada (B) de profundidad 0-10cm y 10-30cm bajo distintos usos de suelo. ....	39
<b>Figura 6.</b> Distribución de la porosidad total (A); en distintas profundidades (0-10cm) (10- 30cm) bajo distintos usos de suelo. ....	40
<b>Figura 7.</b> Distribución de porosidad de aireación (B); en distintas profundidades (0-10cm) (10-30cm) bajo distintos usos de suelo.....	41
<b>Figura 8.</b> Distribución de la porosidad de retención (C); en distintas profundidades (0- 10cm) (10-30cm) bajo distintos usos de suelo. ....	42
<b>Figura 9.</b> Distribución del pH (A), en profundidades (0-10cm), (10-30cm) en diferentes usos. ....	43
<b>Figura 10.</b> Distribución de la acidez intercambiable (B), en profundidades (0-10cm), (10- 30cm) en diferentes usos. ....	44
<b>Figura 11.</b> Distribución del Aluminio intercambiable (C) en profundidades (0-10cm), (10- 30cm) en diferentes usos. ....	45
<b>Figura 12.</b> Distribución de Carbono Orgánico Total (COT), A); en profundidades de (0- 10cm) (10-30cm) en distintos usos del suelo. ....	46
<b>Figura 13.</b> Distribución de Fósforo (P), (B); en profundidades de (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos del suelo. ....	47

<b>Figura 14.</b> Distribución de las bases intercambiables del suelo A); profundidad (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos.....	48
<b>Figura 15.</b> Distribución de las bases intercambiables del suelo B) Calcio (Ca); profundidad (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos.....	49
<b>Figura 16.</b> Distribución de las bases intercambiables del suelo C) Magnesio (Mg); profundidad (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos. ....	50
<b>Figura 17.</b> Distribución de metales pesados A) Cadmio (Cd); en profundidades de (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos del suelo. ....	51
<b>Figura 18.</b> Distribución de metales pesados) Mercurio (Hg); en profundidades de (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos del suelo.....	52
<b>Figura 19.</b> Correlación entre la porosidad de retención (Pr) y porosidad de aireación (Pa), profundidad 0-10cm. ....	54
<b>Figura 20.</b> Correlación entre el Cadmio (Cd) y el Carbono Orgánico Total (COT), profundidad 0-10cm .....	54
<b>Figura 21.</b> Correlación del Cadmio (Cd) y el Fósforo (P), profundidad 0-10cm.....	55
<b>Figura 22.</b> Correlación del Mercurio (Hg) y el Fósforo (P), profundidad 0-10cm .....	55
<b>Figura 23.</b> Correlación de la porosidad total (Pt) y la densidad Aparente (Da), profundidad (10-30cm). ....	57
<b>Figura 24.</b> Correlación de la porosidad total (Pt) y la Porosidad de retención (Pr); profundidad (10-30cm).....	57
<b>Figura 25.</b> Correlación del Aluminio Intercambiable ( $Al^{+3}$ ) con la acides Intercambiable (Al+H) (Acl); profundidad (10-30cm). ....	58
<b>Figura 26.</b> Correlación del Magnesio (Mg) y el Potasio (K), profundidad de (10-30cm). ....	58
<b>Figura 27.</b> Correlación del Magnesio (Mg) y Calcio (Ca); profundidad (10-30cm).....	59
<b>Figura 28.</b> Correlación del Cinc (Zn) y el cobre (Cu); profundidad de (10-30cm).....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tamaños de las texturas del suelo. ....	28
<b>Tabla 2.</b> Clases texturales del suelo. ....	28
<b>Tabla 3 .</b> Análisis de correlaciones de las variables Físicas, Químicas y Metales pesados del suelo en profundidad de 0-10cm. ....	53
<b>Tabla 4.</b> Análisis de correlaciones de las variables Físicas, Químicas y Metales Pesados del suelo; profundidad 10-30. ....	56
<b>Tabla 5.</b> Indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo. ....	61
<b>Tabla 6.</b> Tasa de deforestación en la Amazonia Ecuatoriana. ....	62
<b>Tabla 7.</b> Criterio de remediación (Valores máximos permisibles).....	62
<b>Tabla 8.</b> Criterios de calidad del suelo .....	63

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El suelo se forma por la interacción de los sistemas atmósfera, hidrósfera y biósfera sobre la superficie de la geósfera, ocupando la interfase entre la geósfera y los demás sistemas, en la llamada zona Crítica conocida como la parte más dinámica de la tierra. El suelo es un componente ambiental que por su origen, formación y evolución no puede ser aislado del entorno que lo rodea, representando, en la mayoría de ecosistemas terrestres, el medio físico-químico en el que se desarrolla la vida. Es frágil, de difícil y larga recuperación, y de extensión limitada, por ello, un uso inadecuado del mismo puede contribuir a la degradación de este recurso natural no renovable a corto plazo (Brantley, Goldhaber, & Ragnarsdottir, 2007).

En años recientes diversos autores han escrito acerca de la calidad del suelo, poniendo particular atención en la identificación de las características de los suelos que reflejen de mejor forma los cambios en su calidad, así como las diferentes formas de medición y aplicación de ellas como indicadores (Gil-Store *et al.*, 20005).

Desde una perspectiva ecológica, este concepto refleja la capacidad específica que tiene un suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema, para sostener o mejorar la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat (USDA-NRSC-SQL, 2001).

Según (Cifuentes 1989) en 1962, el 58% de la superficie del País se encontraba cubierto con bosques naturales, es decir, un estimado de 15.642 has. actualmente la cifra es inferior a 11.473.000 has, lo que representa una pérdida de bosque en el de orden de las 4.169.000 has, con un promedio anual de 160.346 has. La tasa de deforestación anual en el Ecuador está en el orden del 2.3% anual, aunque los datos varían según el tipo de análisis en un rango que va 0.5 al 2.4 % anual, lo que correspondería entre 60.000 y 340.000 has, respectivamente. En Ecuador los resultados de la deforestación por provincias en la Región Amazónica En relación a la disminución de la tasa de deforestación para el segundo periodo de análisis 2000 – 2008; por provincias se encontró una disminución de la tasa en ellas, con excepción de Morona Santiago, Napo, Pastaza y Zamora Chinchipe.

En la actualidad se viene dando una problemática dentro de la Provincia de Pastaza, Cantón Pastaza que da lugar a cambios dentro de la composición de los suelos por parte de la mano

del hombre, el avance de la frontera agrícola, la ganadería etc. Son factores que afectan la calidad tanto física, química como biológica del suelo. Además de la presencia de agentes contaminantes que, debido a la actividad del hombre modifican las condiciones del ambiente, se encuentran algunos metales pesados como: Cd, Hg, Cr, Ni y Pb, que tienen importancia por no presentar ningún tipo de degradación química o biológica y porque se pueden bioacumular en diversas formas inorgánicas o como compuestos orgánicos y permanecer en los organismos por largos períodos (PDOT, 2009).

Se acepta de forma generalizada que la distribución, movilidad, disponibilidad biológica y toxicidad de los elementos químicos no es función de la concentración total de los mismos, sino que dependen de la forma química en la que se encuentren (Carusso *et al.*, 2003). El sistema suelo-planta se considera un sistema abierto, que se encuentra sujeto a aportes, tales como contaminantes, fertilizantes y pesticidas, y también a pérdidas, mediante lixiviación, erosión o volatilización. La incorporación de los metales pesados por las plantas se produce fundamentalmente desde el suelo, a través de las raíces, y está influenciada por varios factores entre los que destacan el tipo de suelo, la temperatura, pH, aireación, condiciones Redox y fertilización, la especie vegetal, el momento del desarrollo y el sistema radicular, entre otros. Aparte de la absorción que tiene lugar por medio de las raíces, las plantas también pueden incorporar cantidades significativas de algunos elementos a través de la absorción foliar. Una vez que los iones metálicos han sido absorbidos, pueden moverse por toda la planta. Este movimiento depende del tipo de metal, del órgano de la planta y de su edad y en general, la proporción en que los elementos son movilizados en el interior de las plantas disminuye conforme al siguiente orden: Cd > B > Zn > Cu > Pb (Patra. & Scharma., 2000).

Cuando un contaminante se incorpora al suelo puede desencadenarse una serie de procesos físicos, químicos o biológicos que condicionan los efectos que éste puede causar no sólo sobre el sistema suelo sino también sobre el resto de compartimentos ambientales y, sobre la cadena trófica. Para valorar el impacto ambiental de la contaminación en el sistema suelo-planta se deben conocer las características del contaminante, del medio receptor y su entorno, los modelos que rigen el comportamiento del contaminante y su transferencia a las plantas. Una vez incorporado el contaminante, éste puede verse influenciado por procesos tales como transformación, retención y transporte, para lo cual es necesario conocer las especies químicas de los elementos para comprender las reacciones químicas y bioquímicas en las

que intervienen y, por tanto, obtener información relativa al carácter esencial y tóxico de los elementos químicos (AEMA-PNUMA, 2002).

La concentración de metales pesados en los suelos agrícolas es generalmente baja; en los suelos las mayores concentraciones se deben fundamentalmente a la contaminación provocada por el hombre, esto incluye la pérdida de la fertilidad, la salinización, la contaminación por agroquímicos, la erosión debida a la eliminación de la cubierta vegetal por el sobrepastoreo o el movimiento constante del suelo, el gran uso de insumos externos y el mal manejo de las prácticas agrícolas han ocasionado que el suelo se sature deteriorándose y perdiendo su diversidad. Esto da lugar a un suelo contaminado cuando el nivel de concentraciones supera el nivel permisible de la legislación ambiental del Ecuador visto en el libro Tulsma calidad del suelo donde consideran a catorce elementos como metales pesados que están de manera biológica en el suelo, en las cuales en algunas sustancias consideradas metales pesados forman parte de la cadena trófica de las plántulas presentes en el suelo (Serrato et al., 2010).

El riesgo ecosistémico es cada vez más notorio aparte de que el análisis de los suelos proporciona una información muy limitada de la concentración, su procedencia y destino de la misma, también depende de las reacciones químicas de la misma en su medio, por lo general interactúan agua y suelo, en particular estas reacciones determinan su biodisponibilidad y solubilidad, en algunas ocasiones pueden ocurrir momentáneamente, en horas o incluso pueden durar años (GONZÁLEZ-FLORES *et al.*, 2011).

El uso excesivo de agroquímicos favorece al alto riesgo y a la vulnerabilidad del suelo destruyendo su capacidad de resiliencia; una vez en el suelo el metal pesado su probabilidad de riesgo de que produzca daño al ambiente es casi pronosticada por efectos adversos o sucesos de calidad de suelo, contaminación de vertientes o cuerpos de agua que posibilitan un riesgo tanto a recursos naturales o ecosistemas completos como también a la salud humana (Cardona Gutiérrez et al., 2013).

Bajo este contexto se plantea el desarrollo de este trabajo y en el marco de desarrollo del proyecto de investigación titulado Gestión de riesgo socioambiental de comunidades localizadas en la cuenca alta del Río Napo, región Amazónica ecuatoriana frente al cambio climático global.

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

La región Amazónica Ecuatoriana es un área de gran riqueza natural y cultural, provista de 130802 km<sup>2</sup>; del cual 29520 km<sup>2</sup> corresponde a la provincia de Pastaza; y 97 km<sup>2</sup> corresponde a la parroquia Teniente Hugo Ortiz. En ella confluyen zonas con alta biodiversidad en el mundo, como en el caso de los parques nacionales y áreas protegidas, reservas de la biosfera, bosque protector, etc.; también hay áreas de mucha importancia de origen comunal ancestrales; reservas que no dependieron su origen a incidencia social, institucional o político, estos espacios de vida y territorios ancestrales de pueblos y nacionalidades indígenas de la Amazonía (GADMPz, 2012).

La economía de la provincia se basa principalmente en la producción agrícola; en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz la economía es generada por la productividad de naranjilla, papa china y caña, criaderos de tilapia, además existen grandes extensiones de pastos que no han sido manejados técnicamente logrando mantener una carga animal de 1.33 UBA/ha desarrollada principalmente por colonos. La creación de grandes pastizales destinados a la ganadería, ha dado lugar en los últimos años a la deforestación de importantes superficies de selva virgen (PDOT, 2009).

En los últimos años se ha reportado un progresivo aumento en los niveles de cadmio en algunos suelos agrícolas como consecuencia de una prolongada fertilización fosfatada, y se ha llamado la atención sobre la posibilidad de mayores incrementos en otros suelos debido al uso agrícola de lodos residuales, metales como el mercurio, cadmio y plomo que no son esenciales para la vida. De estos metales, el cadmio es un contaminante reciente; es utilizado en numerosas industrias, se encuentra en la naturaleza ligado al zinc con quien presenta fuertes analogías químicas. En los sistemas biológicos puede competir con el zinc, el cobre y el calcio por los sitios de unión de estos elementos en las macromoléculas. El nivel promedio de cadmio en suelos ha sido ubicado entre 0.07 y 1.1 mg.kg<sup>-1</sup>, con un nivel base natural que no excedería de 0.5 mg. kg<sup>-1</sup> (Kabata-Pendías & Pendías, 2002).

La presencia de mercurio en el ambiente tiene implicaciones importantes por los efectos tóxicos que produce en los seres vivos, ya que es un metal pesado que se acumula en los tejidos blandos y provoca enfermedades irreversibles e incluso la muerte. El mercurio, en concentraciones que normalmente se dan en el ambiente, no es tóxico para las plantas. Sin embargo, concentraciones altas inhiben su desarrollo celular y afectan la permeabilidad.

Algunas plantas (papas, zanahorias, plantas acuáticas y hongos) pueden absorber mercurio (Salazar., Burgos., & Bautista., 2015).

El motivo de esta investigación es la determinación de niveles fondo de metales pesados y elementos traza; esto es fundamental, no solo para determinar el estado actual del ambiente, sino también para desarrollar una norma de calidad coherente a la realidad geográfica, dado el constante cambio de usos del suelo que alteran la calidad del mismo.

## **1.2 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

La agricultura ha contribuido a la degradación del suelo de diversas maneras. Esto incluye la pérdida de la fertilidad, la salinización, la contaminación por agroquímicos, la erosión debida a la eliminación de la cubierta vegetal por el sobrepastoreo o el movimiento constante del suelo. Todos estos tipos de degradación causan que la capacidad productiva del suelo disminuya, se reduzca, por consecuencia el rendimiento agrícola. Bajo estas condiciones, el productor requiere emplear cada vez más fertilizante para mantener los mismos rendimientos. Países en África y Latinoamérica son los que muestran los niveles más altos de degradación del suelo (Sánchez., 2007).

La degradación del suelo se produce también debido a la compactación por maquinaria agrícola y a la reducción del contenido de materia orgánica, lo cual afecta a la estructura y a la composición del suelo. El uso de plaguicidas altera indirectamente la estructura del suelo a través de su impacto en la edafofauna. Los plaguicidas, herbicidas y funguicidas tienen un efecto directo en la biodiversidad, tanto de vertebrados como de invertebrados. Finalmente, todo esto contribuye a incrementar la tasa de erosión del suelo. Las adiciones de materia orgánica, de abonos verdes o los sistemas pecuarios con leguminosas han demostrado ser procedimientos eficientes para la conservación del suelo. La reducción de la labranza ha demostrado tener igualmente un efecto positivo en la conservación del recurso (Pérez, Szott, & Swisher, 1996).

La expansión agrícola ha conllevado a uno de los principales problemas ambientales, dentro de la comunidad Boayacu, el uso excesivo de fertilizantes, la mala práctica del monocultivo, la ganadería ha contribuido a la acumulación de metales pesados dentro del suelo y principalmente en la cadena alimentaria de especies animales y vegetales. El cadmio y el mercurio son metales pesados de origen natural y antropogénicos que conllevan a afectar la salud humana, absorber en grandes cantidades afectan al sistema inmunológico, respiratorio,

circulatorio, etc., incluso causando la muerte de cualquier ser vivo. Su fácil desplazamiento y rápida retención por parte de las plantas hacen de esto uno de los principales problemas ambientales de estudios a desarrollarse a futuro.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROYECTO**

¿Cómo el cambio de uso de la tierra de bosque a sistemas agrícolas y ganaderos afecta la biodisponibilidad de los metales pesados?

### **1.4 HIPÓTESIS**

El uso del suelo enfocado a sistemas agrícolas y ganaderos en la comunidad Boayacu propiciará una mayor concentración de metales pesados (Cd y Hg) y sus sales solubles en comparación con el bosque.

### **1.5 OBJETIVOS**

#### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

- Comparar la presencia de metales pesados (Cd y Hg) y su relación con las propiedades del suelo en distintos usos de la tierra amazónica en la comunidad Boayacu perteneciente a la parroquia teniente Hugo Ortiz.

#### **1.5.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS**

- Determinar los parámetros físicos y químicos (densidad aparente, porosidad del suelo, carbono orgánico total, etc.) para los distintos usos de la tierra seleccionado como factor asociado a la disponibilidad de metales pesados.
- Determinar la concentración de metales Cd y Hg para distintos usos de la tierra.
- Establecer las relaciones entre las propiedades del suelo y el contenido de metales pesados para los distintos usos de la tierra.

## **CAPÍTULO II.**

### **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

La contaminación del suelo es un tema alarmante. Ha sido identificada como la tercera amenaza más importante a las funciones del suelo en Europa y Eurasia, cuarta en África del Norte, quinta en Asia, séptima en Pacífico del Noroeste, octava en Norteamérica y novena en el África Sub-Sahariana y Latinoamérica. La presencia de ciertos contaminantes también puede producir desequilibrios en los ciclos de nutrientes y la acidificación del suelo, dos aspectos importantes en muchas partes del mundo, tal como han sido identificados en el Informe del Estado Mundial de los Recursos del Suelo (FAO & ITPS., 2015).

El caso del Ecuador estos ejercicios son particularmente complejos ya que, a pesar de los esfuerzos evidentes por preservar muestras representativas de la riqueza biológica del país, el Ecuador ha sufrido una gran pérdida y fragmentación de hábitats y extinciones locales debido a cambios en el uso del suelo. Como es el caso de la provincia de Pastaza donde se mantenía un proceso de deforestación a tala raza, debido a generación de un importante ingreso económico por la venta de madera fina (caoba, guayacán, cedro, etc.). Esta actividad fue iniciada con mayor intensidad a partir de la apertura y mejoramiento de la vía Puyo – Tena, donde empresas madereras transnacionales como “Arboriente” aprovechando el acceso de carreteras hacia los asentamientos de los colonos, extrayendo madera para comercializar a muy bajos precios, mismos que para generar atractivos ingresos han arrasado grandes extensiones de bosques primarios (PDOT, 2009).

Otro fenómeno que afectó gravemente a los bosques amazónicos de la parroquia Teniente Hugo Ortiz, es la aplicación de contaminantes por parte ser humano como: pesticidas, fungicidas, etc. Los daños causados al ambiente son irreversibles, por el proceso de erosión acelerado que se dio a estos suelos, la sedimentación de suelos en zonas planas-cóncavas, y por ende la pérdida de biodiversidad. Actualmente, la actividad forestal de la zona se ha reducido por que los bosques nativos han desaparecido, la mínima explotación realizada es con el pigue que se lo utiliza para elaborar cajas de embalaje (Tomate de carne, tomate de árbol, guayaba, etc.) y paletas de madera utilizadas como soporte para transporte de cargas pesadas (palets). En la Parroquia Teniente Hugo Ortiz, la extensión de bosques, según el

(MAE, 2008) corresponde a 4.582,70 Ha, no obstante, estos bosques, no cuentan con un cuidado especial.

## **2.2 EL RECURSO SUELO Y SUS DISTINTAS FUNCIONES**

### **2.2.1 SUELO**

El suelo es un recurso natural, necesario para el desarrollo sostenible de los seres vivos, este compuesto por una fase sólida, líquida y gaseosa, siendo el producto de la influencia del tiempo y combinado con el clima, la topografía, y la relación de organismos como: flora, fauna y el ser humano, materiales parentales como: rocas y minerales originarios constituyéndose como un componente esencial del ecosistema (FAO, 2018).

Cubre la mayor parte de la extensión terrestre, cuya capa tiene un espesor que puede cambiar en centímetros y dos o tres metros, esto nos puede parecer insignificante con el gran tamaño que tiene nuestro planeta, sin embargo, en esos centímetros, los reinos vegetales y animales se encuentran con el mundo mineral y establecen con la una relación dinámica. Los vegetales obtienen del suelo el agua y los nutrientes esenciales y de aquellos dependen la vida de los animales. Los residuos vegetales y animales retornan al suelo, donde son descompuestos por la numerosa población microbiana que allí vive. La vida es esencial para el suelo y el suelo para la vida. La tonalidad del suelo indica la potencialidad y productividad asociándolo con la materia orgánica en la que se pueden ver condiciones de fertilidad o condiciones restrictivas que impiden el desarrollo normal de ciertos cultivos, tales como la salinización o la saturación de agua (Pérez, 2014).

La calidad del suelo no siempre nos dice la salud del suelo. La calidad del suelo dependerá del propósito específico que se le dé dentro de un periodo amplio de tiempo. Las propiedades del suelo, tales como, materia orgánica, diversidad de organismos y productos microbianos dentro de una partícula es lo que se llama salud del suelo (Cruz., 2007).

### **2.2.2 CLASIFICACIÓN DEL SUELO DE PASTAZA SEGÚN SU CALIDAD**

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

- **Inceptisoles:** Suelos caracterizados por un incipiente desarrollo lo que da lugar a formación de horizontes alterados, son considerados pocos maduros en su evolución.

Cubren la mayor parte de la provincia con 2.285.294 ha. (78.61 %). El uso de estos suelos es variado y diverso, debido a las características y pendientes; siendo apropiados para actividades forestales, agroforestales y cultivos con medidas de protección.

- **Entisoles:** Son suelos que tienen muy poca o ninguna evidencia de formación o desarrollo de horizontes pedogénicos. Diversas son las razones por las cuales no se han formado horizontes en muchos de ellos. El desarrollo ha sido muy corto, otros se encuentran sobre fuertes pendientes en donde, la erosión no permite el desarrollo del suelo. Cubren 9.723 hectáreas (0.33 %). El uso es muy restringido por lo que es recomendable para actividades de protección y mantenimiento de cobertura vegetal.
- **Histosoles:** Corresponden a suelos compuestos principalmente por materia orgánica desarrollados en zonas pantanosas y meándricas. Presentan elementos vegetales descompuestos, en donde el pH es fuerte a ligeramente ácido. Cubren 8.087 hectáreas (0.28 %). El uso de estos suelos es muy restringido.
- **Oxisoles:** Son suelos con grado avanzado de intemperización, en donde predominan los procesos de transformación y pérdida por lavado, existe concentración de hierro y aluminio; son de baja fertilidad, baja retención de humedad y alta permeabilidad. Alcanzan 603.687 hectáreas (20.77 %). El uso de estos suelos es muy restringido, aconsejándose mantener la cobertura vegetal y dedicarlos a protección y conservación.

### 2.2.3 CONTAMINACIÓN DEL SUELO

La Ley 10/1998, de 21 de abril de residuos, define como “SUELO CONTAMINADO todo aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso de origen humano, en concentraciones tales que provoque un riesgo para el ambiente y la salud humana, según los estándares determinados por el gobierno” (Sabroso & Pastor, 2004).

Según el (TULSMA, 2015) “es todo aquel cuyas características físicas, químicas y biológicas naturales, han sido alteradas debido a actividades antropogénicas y representa un riesgo para la salud humana o el ambiente”.

## **2.2.4 CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS**

Los metales pesados son componentes que se encuentran de forma natural en la corteza Terrestre, constantemente vivimos con metales pesados, ya sea en los alimentos que consumimos, a través del agua o del aire que respiramos. El riesgo de los metales pesados está en que éstos, cuando se bioacumulan en nuestro organismo pueden ser dañinos para la salud afectando negativamente a nuestros órganos (riñones, hígado, pulmones, sistema nervioso central y periférico) por qué no se pueden eliminar, estos también son perjudiciales para el medio ambiente en general, animales y ciertas plantas. El aumento de metales pesados por las actividades industriales ha desequilibrado y contaminado gravemente los ecosistemas naturales en especial a los cuerpos de agua. A lo largo del tiempo la exposición a metales pesados está vinculada con distintos tipos de enfermedades, cánceres, problemas de formación y desarrollo de fetos y niños, artritis, enfermedades cardiovasculares, dolencias renales, entre otros (Ecoagricultor, 2017).

Los elementos contaminantes son los residuos de las actividades realizadas por el ser humano. La contaminación aumenta, a medida que la gente se multiplica y el espacio disponible para cada persona se hace más pequeño, de manera que la contaminación aumenta cada año dependiendo de lo que desecha cada persona en el mundo. La contaminación puede resultar difícil de clasificar en los ecosistemas terrestres y acuáticos o cualquier tipo de fenómeno natural. Los métodos de clasificación más empleados son los realizados según el medio como son: aire, agua, suelo, etc. Y según el elemento contaminante tenemos el plomo, cadmio, mercurio, dióxido de carbono entre otros (Atilo, 2007).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha publicado recientes investigaciones que han clasificado al mercurio como “una de las diez sustancias químicas que plantean mayor preocupación para la salud pública” se calcula que ha afectado a más de un millón y medio de personas en la región. Este material estaría poniendo en riesgo la vida. Esto debido a que la contaminación del agua y la intoxicación de las plantas y animales lo intensificaría (OMS, 2017).

## **2.2.5 CADMIO**

Su presencia natural o antropogénica en agua y suelo es motivo de preocupación. El cadmio es un elemento del Grupo II-B de la Tabla Periódica, situado entre el Zn y el Hg, y por lo tanto con características similares a éstos. Su número atómico es 48 y por su configuración

electrónica terminal  $4d^{10} 5s^2$ , su ion monoatómico más estable es el  $Cd^{2+}$ . En la naturaleza se le encuentra asociado al cinc, cobre y plomo. Presenta gran afinidad por el azufre, de allí que su compuesto natural más común es el CdS. Los contenidos de Cd suelen ser del orden de 0.1 a 4.67 ug/g; este elemento es poco soluble en disoluciones que contengan fosfatos y carbonatos y por lo tanto su lixiviación en los suelos calcáreos es muy limitada y como consecuencia se acumula en los horizontes superficiales, pudiendo ser absorbido por las plantas en mayor o menor proporción, dependiendo de las propiedades del suelo. (Estañ, 1984).

Se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuro de Cd, frecuentemente con impureza, en minerales de zinc y Pb, en estado elemental es insoluble al agua, así como sus carbonatos e hidróxidos, en tanto que sus cloruros, nitratos y sulfuros son bastante solubles. Es especialmente peligroso ya que pueden cambiarse sinérgicamente con otras sustancias tóxicas (Jerome *et al.*, 1991).

No existe evidencia de que sea biológicamente esencial o benéfico, se le atribuyen efectos carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos, se lo considera tóxico para toda forma de vida, incluyendo microorganismos, plantas, animales y el hombre, debido a que puede desplazar al zinc de algunos de sus sitios activos y competir con el calcio en ciertos sistemas biológicos. En el pasado, un uso comercial importante del cadmio fue como cubierta electrodepositada sobre hierro o acero para protegerlos contra la corrosión, la segunda aplicación es en baterías de níquel-cadmio y la tercera como reactivo químico y pigmento (Baran, 1995).

El cadmio es un metal pesado que provoca serios daños a la salud humana, es un metal pesado no esencial para las plantas, cuya presencia puede deberse al uso de fertilizantes fosfatados y como subproducto de la explotación de zinc y cobre (Martínez *et al.*, 2013); puede ser absorbido y acumulado en raíces, tallos, hojas, frutos y semillas cuya concentración depende de la edad y especie. Afecta el crecimiento, la fotosíntesis y reduce las concentraciones de nitratos, generando desequilibrios en el metabolismo del cloroplasto y clorosis.

El primer indicio de toxicidad por cadmio, se detectó a finales de los años 70 a raíz de un problema aparecido localmente en Jadun, una ciudad de Japón donde hubo una

contaminación elevada con cadmio. Este metal pasó a la cadena alimenticia, sobre todo acumulado en arroz (alimento básico de la población) (INIAP-PROMSA, 2003).

En Cuenca-Ecuador se tiene reportes que Hewitt y Candy, citados por Sánchez-Camazano et al (1994), encontraron suelos con contenidos de 0.20 – 0.27 mg.kg<sup>-1</sup> de Cd; Carrera (1994), se reportó, en fincas cacaoteras de Santa Rosa en la provincia del Oro y Naranjal en la provincia del Guayas, almendras de cacao con cantidades mayores a 1 mg.kg<sup>-1</sup> de Cd. Así mismo, Carrillo (2003) observó en suelos del Litoral Ecuatoriano cantidades de Cd en forma total y biodisponible, mayores a las permitidas por el Codex Alimentarius.

En Ecuador, a pesar de que existen leyes que regulan la concentración de elementos metálicos en los cuerpos de agua, en el suelo y en los organismos, el aumento de las concentraciones ambientales de metales pesados producto de la actividad antropogénica se ha convertido en un problema. Los metales pesados son los contaminantes más peligrosos, debido a que no son biodegradables y a su potencial de bioacumulación en los organismos vivos (Orozco *et al.*, 2003).

Esta situación se hace compleja dado a la naturaleza de los metales como componentes de la tierra, y a que muchos de estos elementos son esenciales para que los organismos realicen sus funciones vitales, por lo que estos han desarrollado mecanismos bioquímicos que permiten su captura, manejo y almacenamiento. Metales como el mercurio, cadmio y plomo no son esenciales para la vida. De estos metales, el cadmio es un contaminante reciente; es utilizado en numerosas industrias, se encuentra en la naturaleza ligado al zinc con quien presenta fuertes analogías química (Norberg, 2009).

### **2.2.6 MERCURIO**

El mercurio es el único elemento metálico líquido a temperatura ambiente. Posee brillo parecido a la plata y a 25 °C tiene una densidad de 13.456 g/ml. A 20 °C la presión de vapor es de 0.00212 mm Hg, de tal forma que un recipiente abierto con mercurio metálico y expuesto en un ambiente cerrado, desprende vapor suficiente para saturar la atmósfera y exceder el límite máximo seguro de exposición ocupacional; puede provocar efectos tóxicos sobre la salud, es un metal pesado que se acumula en los tejidos blandos y provoca enfermedades irreversibles e incluso la muerte, además de generar serios problemas ambientales. El mercurio, en concentraciones que normalmente se dan en el ambiente, no es tóxico para las plantas. Sin embargo, concentraciones altas inhiben su desarrollo celular y

afectan la permeabilidad. Algunas plantas (papas, zanahorias, plantas acuáticas y hongos) pueden absorber mercurio (Benavides., Morales., & Navia., 2016).

El Hg metálico es un líquido inodoro, de color blanco-plateado brillante. Al calentarlo se transforma en un gas inodoro e incoloro, se combina con otros elementos por ejemplo cloro, azufre u oxígeno para formar compuestos de Hg inorgánicos o “sales”, las que son generalmente polvos o cristales blancos. El Hg también se combina con carbono para formar compuestos de Hg orgánicos. El más común, metilmercurio, es producido principalmente por organismos microscópicos en el suelo y en el agua. Mientras mayor es la cantidad de Hg en el medio ambiente, mayor es la cantidad de metilmercurio que estos organismos producen (Martínez, 2004).

La contaminación por metales pesados se encuentra entre los impactos más graves que puede experimentar el suelo por su lenta y difícil restauración. Dentro de los metales pesados uno de los que más problemas acarrea es el mercurio, el cual es considerado un contaminante a escala global (López-Tejedor *et al.*, 2010), debido a su transporte a larga distancia en la atmósfera, su persistencia en el medio ambiente, y su capacidad de acumularse en los organismos alcanzando concentraciones superiores a las del medio (bioacumulación) y transferirse al hombre a través de la cadena alimentaria (biomagnificación), causando efectos negativos y significativos sobre la salud humana y el ambiente (OMS, 2017).

El mercurio se ha conocido y utilizado durante más de veinte siglos, aunque su consumo hasta fines del siglo XV había sido escaso y casi exclusivamente como bermellón [cinabrio (HgS) finamente molido y mezclado con aceites de origen animal o vegetal] para la fabricación de pinturas y en medicina. Quien dio el primer impulso para el gran consumo de mercurio fue el español Bartolomé Medina, al poner a punto en 1557 el método del “beneficio del patio” para la amalgamación en frío de los minerales de plata. A nivel mundial, el mercurio disponible proviene de las emisiones volcánicas y los gases liberados del subsuelo, siendo éstos los principales aportes naturales de mercurio gaseoso. El mercurio así liberado se deposita y se liga a los suelos en particular cuando son ricos en aluminio y hierro (suelos ferralíticos), acumulándose a lo largo del tiempo (De Olivera *et al.*, 2001).

La concentración de metales pesados en los suelos agrícolas es generalmente baja; en los suelos las mayores concentraciones se deben fundamentalmente a la contaminación provocada por el hombre. Las fuentes de liberación del mercurio al medio ambiente son tanto

naturales como antropogénicas. Especial interés tienen, entre estas últimas, las prácticas agrícolas, como la fertilización. De hecho, se estima que el 95% de los alimentos se produce directa o indirectamente en los suelos (FAO., 2015). El Hg es un metal que está presente en forma natural en el ambiente y que tiene varias formas químicas. El ser humano extrae el mercurio (principalmente a partir de los yacimientos de cinabrio) para emplearlo en varias actividades industriales. Existen actividades antrópicas que aceleran la emisión de mercurio hacia la atmósfera (combustión de residuos y fósiles), el agua y el suelo (explotación minera y uso de pesticidas). La erosión natural o antrópica de los suelos ferralíticos permiten la movilización de las partículas del mercurio ligado a los sedimentos.

El mercurio es un metal sumamente móvil de tal forma que la contaminación por este elemento resulta un problema mundial. Se han encontrado altas concentraciones de mercurio en corales en zonas prístinas de Panamá, y se sugiere que la presencia de este metal en estos organismos se debe a su transporte desde las áreas de alta minería y tala de árboles (Guzmán & Garcia, 2002).

La principal fuente de contaminación por mercurio en la Amazonía es la minería de oro artesanal y de pequeña escala, el oro extraído de manera artesanal es de 15% el mercurio es usado para purificar el oro, esta actividad es la responsable del 71% de todas las emisiones de mercurio al año. La Amazonía es considerada como uno de los lugares con mayor biodiversidad del planeta, pero no es ajena a la contaminación y a una de las peores, la del mercurio, la cual tiene en grave peligro la sostenibilidad alimentaria de varias comunidades indígenas y urbanas, sin contar con el daño incalculable a la fauna y flora del lugar (World Wildlife Found., 2018).

## **2.3 FACTORES QUE AFECTAN A LA DISPONIBILIDAD DE LOS METALES**

Para conocer el comportamiento de los metales pesados en los suelos deben considerarse los siguientes factores.

### **2.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO**

#### **2.3.1.1 TEXTURA DEL SUELO**

Se refiere a la proporción relativa de los separados del suelo (arena, limo y arcilla) encontrada en una muestra de suelo (material con un diámetro menor de 2 mm). Es una

característica muy importante porque es relativamente estable, cambia muy poco con el tiempo e influye en el uso de suelo (NG, 1972). Influye principalmente en:

- a.- Movimiento de agua y aire
- b.- Manejo (preparación de suelo, retención de agua, frecuencia de irrigación)
- c- Fertilización (contenido de Aluminio intercambiable y bases)
- d.- Determinar la génesis del suelo (horizonte argílico)

**Tabla 1.** *Tamaños de las texturas del suelo.*

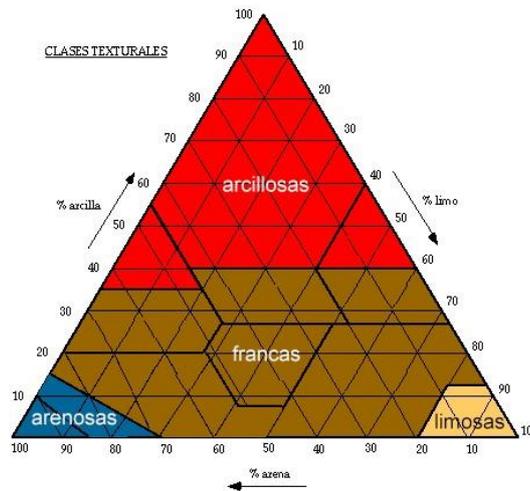
Textura del suelo	
	Tamaño
Arena muy gruesa	1.00 - 2.00 mm
Arena gruesa	0.50 - 1.00 mm
Arena media	0.25 - 0.50 mm
Arena fina	0.10 - 0.25 mm
Arena muy fina	0.05 - 0.10 mm
Limo	0.002-0.05 mm
Arcilla	< 0.002 mm

Fuente: (Sánchez, 2007)

**Tabla 2.** *Clases texturales del suelo.*

Clase textural		
Arena	Arena franca	Franco arcillo limoso
Limo	Franco arenoso	Franco arcillo arenoso
Arcilla	Franco arcilloso	Arcillo limoso
Franco	Franco limoso	Arcillo arenoso

**Fuentes:** (Sánchez, 2007)



**Figura 1.** Texturas del suelo

**Fuente:** Sánchez (2017)

### 2.3.1.2 ESTRUCTURA DEL SUELO

Es la combinación o arreglo de las partículas del suelo en unidades secundarias, llamadas agregados. Es una característica muy importante, porque es relativamente inestable, puede cambiar e influye en el uso del suelo, principalmente en:

- a.- Movimiento del agua y el aire
- b.- Manejo (preparación del suelo, retención de agua, frecuencia de irrigación).
- c- Distribución de las raíces
- d.- Se usa en la clasificación del suelo.

### 2.3.1.3 CONSISTENCIA DEL SUELO

Se refiere a las fuerzas físicas de cohesión y adhesión que actúan dentro del suelo a distintas humedades. Es muy importante porque determina la cantidad de humedad del suelo que permite su preparación sin dañarlo. Un suelo seco puede ser: blando, suave, duro, muy duro o cementado. Un suelo húmedo puede ser: muy friable, viable, poco friable. Y un suelo muy húmedo (por encima de la capacidad de campo) puede ser con relación a la plasticidad: poco plástico, plástico y muy plástico, y en cuanto a la pegajosidad: poco pegajoso, pegajoso y

muy pegajoso (BEUER, GARDNER, & GARDNER, 1972), estas características están controladas por los siguientes factores:

- Cantidad de arcilla
- Tipo de arcilla
- Naturaleza de los cationes intercambiables
- Contenido de la materia orgánica.

#### **2.3.1.4 DRENAJE DE LOS SUELOS**

Su importancia radica en la preparación del suelo, en la germinación y el desarrollo de los cultivos. Al preparar suelos encharcados se rompe la estructura, causa encharcamiento y formación de costras.

El drenaje es de dos tipos:

**a. Drenaje externo:** Remueve las aguas en forma de flujo sobre la superficie del suelo. La erosión está asociada con la escorrentía.

**b. Drenaje interno:** Es la propiedad del suelo que permite el movimiento del exceso de agua a través del perfil del suelo. Es determinado por la textura, la estructura, la permeabilidad, las capas impermeables en el subsuelo, la altura del nivel freático y el clima. Determinación del drenaje del suelo:

- Posición topográfica: Escorrentía es función de la pendiente
- Moteado o gley: Condición anaeróbica, fluctuación del nivel freático
- Ausencia visible del nivel freático
- Textura del suelo
- Presencia de capas impermeables "Pans"

### **2.4 PROPIEDADES QUÍMICAS**

#### **2.4.1 REACCIÓN DEL SUELO (pH)**

El efecto dañino de la alta acidez o bajo pH es debido a efectos secundarios, con excepción de casos extremos, ya que las raíces de las plantas son heridas en una solución ácida de pH3

(Russell, 1969). Los efectos secundarios de la alta acidez en los suelos son los bajos contenidos disponibles de calcio, fosfatos y molibdatos, y el exceso de aluminio, manganeso y hierro soluble; además, puede afectar la resistencia o susceptibilidad de las plantas a una enfermedad y restringe la población microbial.

#### **2.4.2 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)**

La capacidad de intercambio catiónico son las cargas eléctricas negativas de los coloides de suelo formados por la materia orgánica y las arcillas. La CIC es sumamente importante porque determina la capacidad de taponización del suelo y la retención de los cationes (cargas eléctricas positivas), reduciendo la lixiviación de ellos.

#### **2.4.3 MATERIA ORGÁNICA (MO)**

Cualquier residuo vegetal o animal es materia orgánica, y su descomposición lo transforma en materiales importantes en la composición del suelo y en la producción de plantas. Mejora condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos.

### **2.5 DISTINTOS USOS DEL SUELO**

**Áreas Urbanas:** comprende suelos urbanizables de ocupación variable y de lote diferenciado, detallado en las cabeceras parroquiales y centros poblados.

**Áreas destinadas a servicios ambientales y de reserva:** dentro de esta se encuentra la Zona 3, en donde no es factible la urbanización, la proyección de vías, ni la deforestación de alto impacto, y se regirá bajo los Planes de vida de las 6 nacionalidades indígenas, conforme a sus formas de ocupación y sus costumbres.

**Áreas de actividad minera:** destinadas a la explotación minera con estudios de impacto ambiental, sujetas a ser explotadas de conformidad con la ley. En esta se encuentran las de explotación de materiales pétreos, de metales preciosos, entre otros.

**Áreas productivas agroecológicas:** son destinadas a la agricultura con sistemas silvopastoriles, con lotes mínimos de 50.000 metros cuadrados; forman parte de las áreas rurales y se considera que puede ser objeto de división a partir de su lote mínimo. Conforme a las distancias de poblamiento se ubicarán nuevos polos de desarrollo.

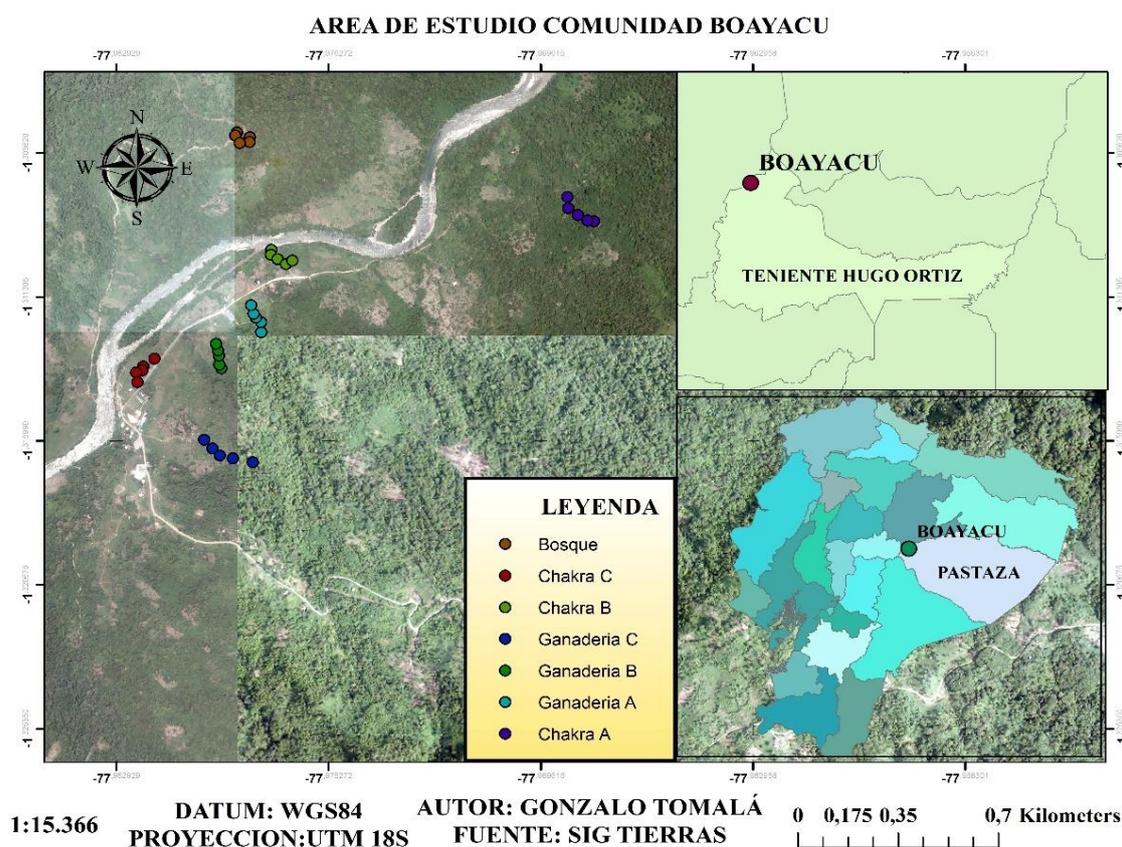
**Áreas de Pie de monte:** reguladas como áreas de protección municipal ECO1, ubicada en la parroquia Puyo y Fátima, son reservas de recursos naturales en donde se concentra la recarga hídrica, por lo que debe ser controlada por el Gobierno Municipal, en coordinación de los GAD's parroquiales y el ministerio del Ambiente (PDOT, 2009).

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se ubicó en fincas pertenecientes a productores de la comunidad Boayacu con coordenadas UTM zona 18 X= 168046.0245 Y= 9854430.605 (Figura 2). Se encuentra localizada aproximadamente a 11 Km de la parroquia a la cual pertenece, la parroquia Teniente Hugo Ortiz. Limita al norte con la parroquia San José perteneciente al cantón de Santa Clara, al sur con las Parroquias Fátima; 10 de agosto y el Triunfo, al este con la Parroquia el Triunfo; y al oeste con el cantón de Mera. Cuanta con una extensión aproximada de 97 km<sup>2</sup> y sus principales ríos son: Rivadeneira, Anzu, Llandia y Posunyacu. Su clima oscila entre 18° y 24° C.



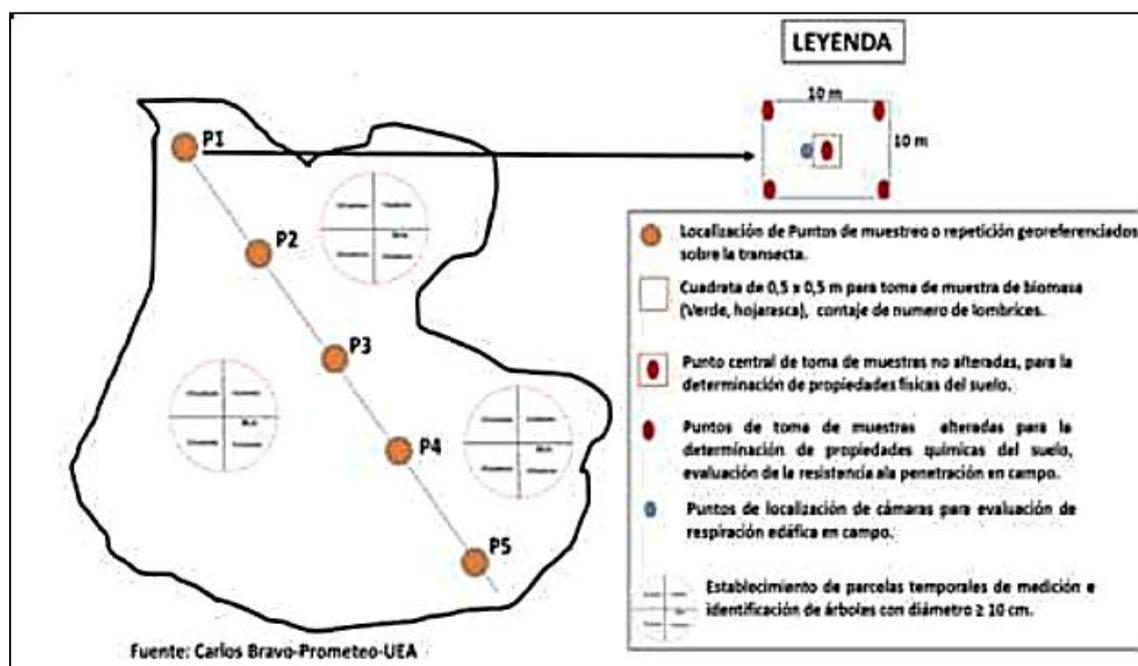
*Figura 2. Localización del área de estudio y punto de muestreo en cada uso de suelo seleccionado*

## 3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se llevó a cabo es de tipo experimental, ya que comprendió una fase de campo y otra de laboratorio en el cual se aplicaron metodologías tanto para la caracterización de variables fisicoquímicas y análisis de metales pesados.

## 3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

La metodología que fue aplicada en el campo de la investigación de acuerdo a la sistematización de los datos a obtenerse, fueron evaluados mediante métodos cualitativos y cuantitativos, para posterior medición del área de estudio y muestreo aleatorio de las propiedades físico-químicas del suelo y la disponibilidad de cadmio y mercurio bajo distintos usos del suelo.



*Figura 3. Modelo de muestreo aplicado en campo para extracción de suelo*

Para la evaluación de recurso suelo se realizó un esquema de muestreo sistemático (Figura 3) y se utilizó 7 diferentes usos de tierra codificados y caracterizados de la siguiente manera: a) **Chacra A** conformada por diferentes cultivos (papachina, yuca, plátano, maíz, cacao), b) **Chacra B** (papachina, cacao), c) **Chacra C** (Papachina, Platano, Café, Caña de azúcar); d) **Ganadería A** posee pastos de (*brachiaria decumbens*) con árboles, e) **Ganadería B** pasto gramalote (*Axonopus Scoparius*) con árboles y f) **Ganadería C** posee dos clase de pastos (*brachiaria decumbens*, *Axonopus Scoparius*) g) **Bosque**. En cada uso de tierra seleccionado

se realizó un muestreo sistemático estableciendo un transecto que cubrió toda el área seleccionada (Figura 3) y siguiendo la siguiente secuencia propuesta por (Bravo *et al.*, 2015).

- a. Selección del uso de la tierra representativo en cada una de las zonas (previo trabajo en oficina con las herramientas SIG).
- b. Establecimiento de un transecto que cubrió toda la variabilidad topográfica, vegetación y suelo en cada uso de tierra seleccionado.
- c. Localización sobre el transecto de cinco puntos de muestreo, de manera equidistante y en función del tamaño de la parcela.
- d. Establecimiento de una subparcela de 10 x 10 m en cada punto de muestreo (P1, P2, P3, P4 y P5), en la cual se recolecto cinco submuestras de suelo a dos profundidades (0-10 cm y 10-30 cm) (Figura 3). Dichas muestras conformaron la muestra compuesta por punto y se usó para la evaluación de parámetros químicos. Paralelamente en los mismos puntos se midió la resistencia a la penetración.
- e. En la parte central de la subparcela se recolectaron las muestras no alteradas a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) para evaluación de parámetros físicos.

### 3.3.1 ANÁLISIS FÍSICOS

Para la determinación de parámetros físicos del suelo se usaron muestras no alteradas con cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con un toma muestra tipo Uhland, en los cuales se midió las siguientes variables: **a)** densidad aparente ( $D_a$ ) usando el método del cilindro (Klute, 1986); **b)** conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) mediante el método de carga variable, siguiendo el método descritos en Pla (2010), **c)** distribución de tamaño de poros ( $P_t$ : porosidad total), **d)** porosidad de aireación ( $P_a$ : poros de radio  $>15 \mu m$ ), **e)** porosidad de retención usando la mesa de tensión a saturación y a un potencial métrico de -10 kPa (Klute, 1986).

### 3.3.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson & Sommers, 1996), para lo cual se realizó una oxidación con dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ )<sup>1</sup> N con adición de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_{4(c)}$ ) y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por el Cr fue medida por titulación

usando una solución de sal de Morh 0.5 N ( $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). El nitrógeno total se midió por el método de kjeldahl. El pH fue medido por potenciometría (relación suelo-agua 1:2,5), las bases cambiables (Ca, Mg, K) y contenido de fósforo fueron medidos por la metodología de Olsen modificado (Bertsch, 1995).

### **3.3.3 DETERMINACIÓN DE METALES (CADMIO Y MERCURIO)**

Se usaron 0.5 g de suelo pasado por un tamiz < 1 mm para la digestión de la muestra en un equipo de Microondas ETHOS ONE MILESTONE, según Método EPA 3051, usando  $\text{HNO}_3$  como reactivo extrac tante. Para la determinación de cadmio y mercurio se realizó un proceso de filtración de las muestras de suelo con una solución Olsen, posteriormente se preparó las concentraciones de la curva usando concentraciones de 0 ppm, 25 ppm, 50ppm, 75 ppm, 100 ppm.

Una vez que se obtenga la muestra digerida y el instrumento preparado, se realizó el análisis y se registró la lectura de la absorbancia o concentración usando un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) - Atomización por llama para Cadmio y generación de vapores fríos para Mercurio, para la determinación por la técnica de espectrofotometría según el método 3111b del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA AWWA WEF, 21 Edición, 2005; (Association et al., 1915).

### **3.3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

Para el análisis estadístico se procedió como primer paso a evaluar la normalidad de los datos mediante la prueba de Will-Shapiro. Paralelamente se determinó los estadísticos descriptivos incluida la media, la desviación estándar, el coeficiente de variación (CV) y el rango para cada conjunto de datos de los parámetros evaluados. Se realizó un análisis de varianza para evaluar las diferencias entre los usos de suelos en función de las dos profundidades y la comparación de medias de las propiedades físico químicas del suelo y presencia de cadmio y mercurio mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Igualmente se estableció el grado de asociación entre las propiedades físico-químicas y la disponibilidad de cadmio y mercurio en cada uso de suelo usando el coeficiente de correlación de Pearson. Todos los procedimientos estadísticos se realizaron utilizando programa IBM SPSS Statistics, versión 21 con un nivel de significación del 95% ( $p < 0,05$ ).

## **CAPÍTULO IV**

### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente capítulo se presentará los resultados de los estudios realizados tanto para los parámetros físicos, químicos, el análisis de metales pesados y su relación con las propiedades físico-químicas del suelo.

#### **4.1 EVALUACIÓN PARÁMETROS FÍSICOS**

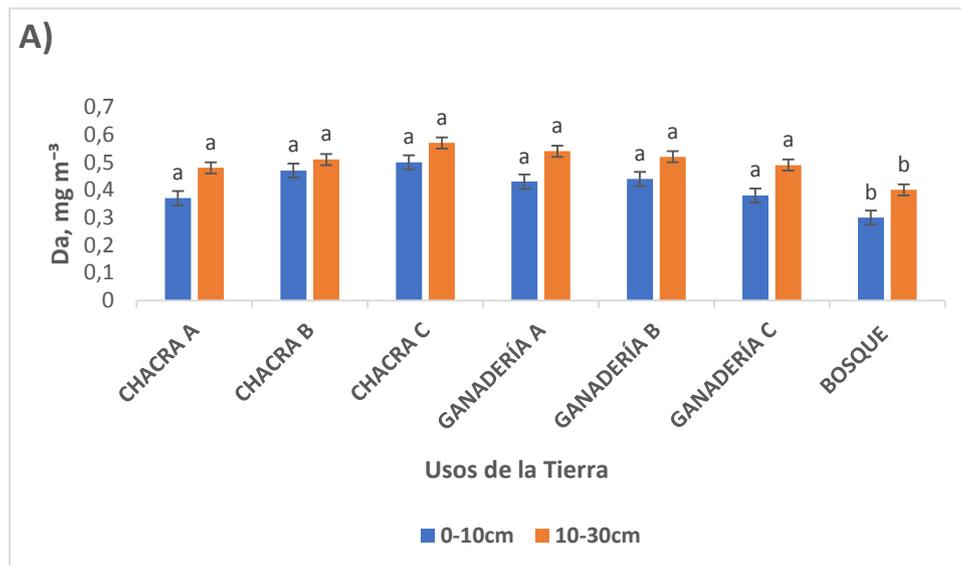
En la evaluación de los parámetros físicos en diferentes profundidades (0-10cm) y (10-30cm) se tiene: densidad aparente ( $D_a$ ), conductividad saturada ( $K_{sat}$ ), porosidad total ( $P_t$ ), porosidad aireación ( $P_a$ ) y la Porosidad de retención ( $P_r$ ), fueron las variables las cuales dieron una significancia  $p \leq 0.05$ .

##### **4.1.1 DENSIDAD APARENTE (DA) Y CONDUCTIVIDAD**

##### **HIDRÁULICA ( $K_{SAT}$ )**

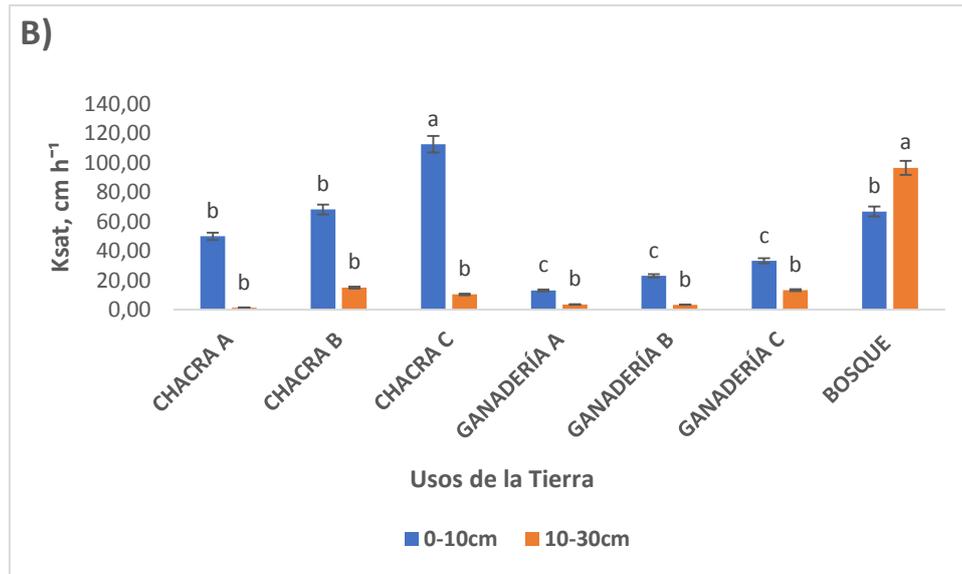
Los resultados de la  $D_a$  y  $K_{sat}$  se pueden apreciar en la (Figura 4). La densidad aparente para la capa superficial presentó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) agrupando los usos en dos grupos, el primero representado por los usos de suelo con cultivos y ganadería con rango que oscilaron de 0.37 a 0.50  $mg.m^{-3}$  y el segundo grupo representado por el uso con bosque con una densidad promedio de 0.30  $mg.m^{-3}$ . Para la segunda profundidad presento un comportamiento similar con menor densidad en el bosque (0.40  $mg.m^{-3}$ ). Independientemente del uso de la tierra la densidad aparente se incrementó con la profundidad. La  $D_a$  es una variable de gran significado agrícola debido al efecto que tiene sobre el crecimiento de las raíces de las plantas y los procesos de degradación (Bravo et al., 2015). Algunos autores señalan que su interpretación de realizarse en función de la textura del suelo estableciendo algunos límites críticos que para suelos de texturas finas como el arcilloso es de 1.2  $mg.m^{-3}$  a partir del cual se consideran que los suelos están compactados (Bravo et al., 2017 ;Pla, 2010). Otros señalan que los niveles óptimos de densidad aparente para cultivos oscilan entre 0.9 a 1.2  $mg.m^{-3}$  (Duval et al., 2015). Al comparar los resultados obtenidos en ambas profundidades y para todos los usos con el valor crítico, se puede señalar que la densidad aparente es baja y no presenta problema de compactación ni limitaciones para el crecimiento y desarrollo de raíces (Murillo et al., 2014). Resultados similares han

sido reportados para esta zona señalando que la menor  $D_a$  está relacionada con los altos valores de materia orgánica (Bravo et al., 2017).



**Figura 4.** Distribución de la densidad aparente (A) profundidad 0-10cm y 10-30cm bajo distintos usos de suelo.

Con respecto a la conductividad hidráulica saturada ( $k_{sat}$ ) (Figura 5) los resultados mostraron diferencias significativas en ambas profundidades ( $p \leq 0,05$ ). Para la capa superficial los mayores se obtuvieron con los usos con chacras y bosque oscilando de 50.02 a 112.59  $\text{cm h}^{-1}$ , mientras que en los usos ganaderos variaron de 13.14 a 33.28  $\text{cm h}^{-1}$ . En general, la  $K_{sat}$  disminuyó con la profundidad con excepción del bosque donde se incrementó. Para esta variable se ha señalado que la penetración del agua se puede limitar cuando se registran valores inferiores a 0.5  $\text{cm h}^{-1}$  (Pla, 2010). Si bien, existieron diferencia entre los distintos usos, en todos los casos el agua de lluvia puede penetra fácilmente y con mayor velocidad en el Bosque y las chacras. Los resulta de esta variable están estrechamente relacionados con la distribución de tamaño de poros (porosidad de aireación) y los bajos valores de densidad aparente, tal como ha sido reportado por varios investigadores (Bravo et al., 2017; Pla, 2010). Los estudios de infiltración son de gran interés por su aplicabilidad tanto en valoraciones medioambientales como en proyectos de transformación de secano a regadío, además son también de gran utilidad para valorar la degradación de los suelos por uso ganadero (Sepúlveda, 2015).

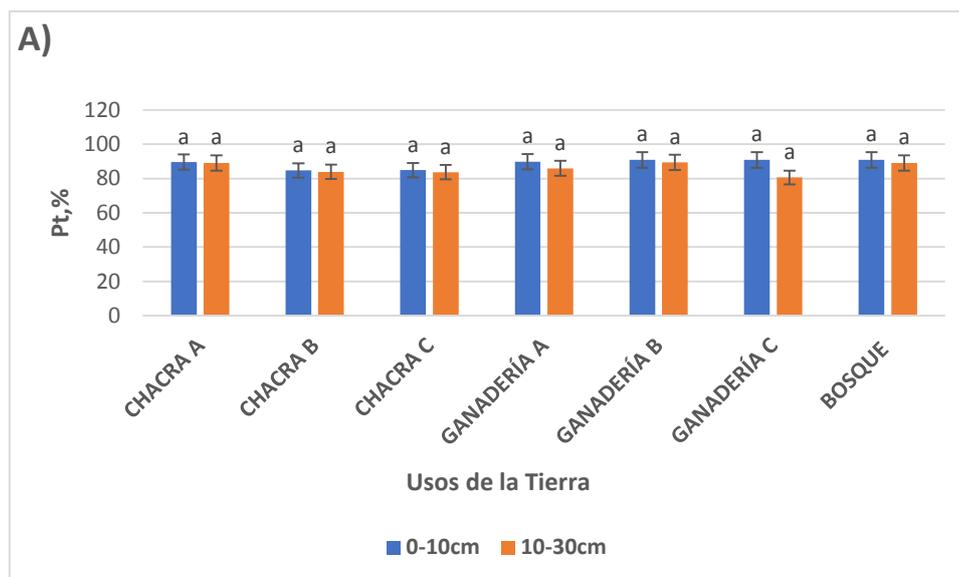


**Figura 5.** Distribución de conductividad hidráulica saturada (B) de profundidad 0-10cm y 10-30cm bajo distintos usos de suelo.

## 4.1.2 POROSIDAD DEL SUELO

### 4.1.2.1 POROSIDAD TOTAL (Pt) DEL SUELO

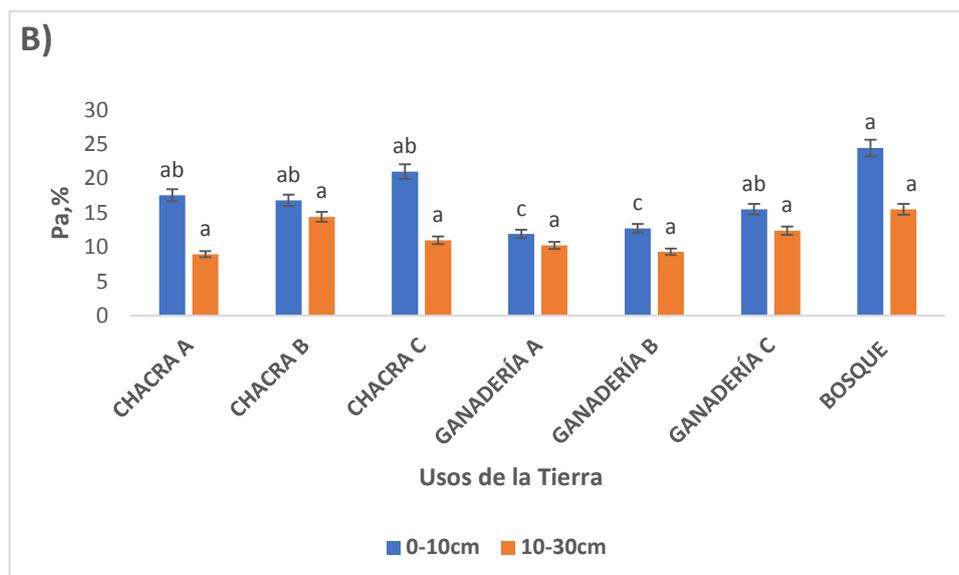
Los resultados porosidad total del suelo se pueden apreciar en la Figura 6. La Pt en su primera profundidad no presento diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) agrupándolas en un solo grupo en el cual se encontraron todos los usos del suelo que oscilaron entre 84.70 a 90.89 %. Para la segunda profundidad se obtuvieron valores similares con excepción del uso ganadería C que disminuyo con un 10% del valor obtenido en la capa superficial del suelo. según estudios realizados mencionan que para la porosidad total mantenga una buena retención de agua y una buena entrada de aire al suelo debe de ser por encima del 85% (Cruz-Crespo et al., 2013) los valores de la porosidad total obtenidos estuvieron muy relacionados con la densidad aparente, sugiriendo que una mayor densidad significó menor porosidad total (Pt) (Bravo et al., 2015).



**Figura 6.** Distribución de la porosidad total (A); en distintas profundidades (0-10cm) (10-30cm) bajo distintos usos de suelo.

#### 4.1.2.2 POROSIDAD DE AIREACIÓN (Pa) DEL SUELO

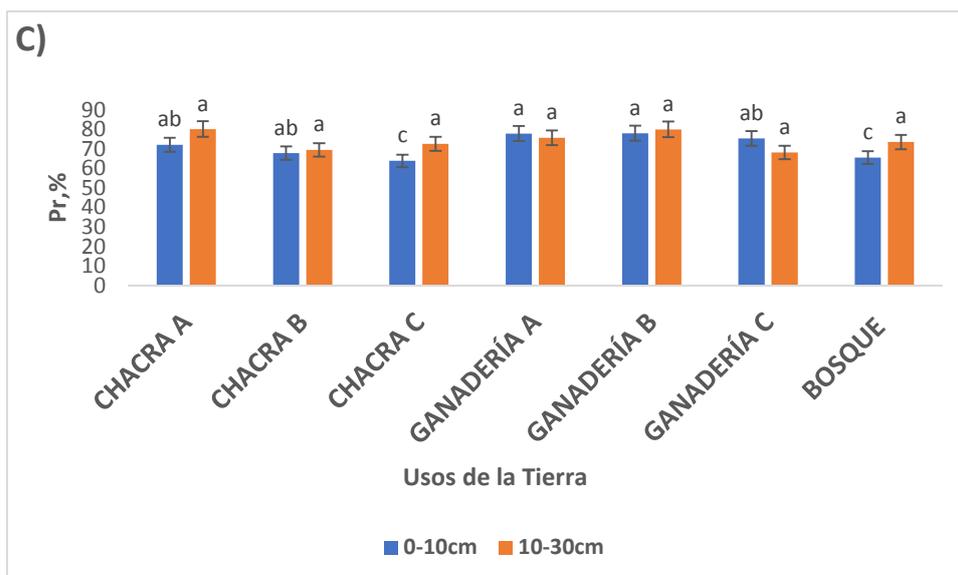
La porosidad de aireación se encuentra en la Figura 7) en la cual nos muestra que existe diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) solo en la capa superficial del suelo agrupándolos en tres grupos, siendo el uso suelo de bosque con mayor Pa con una porosidad promedio de 24.46%; el segundo grupo se encuentran los usos de chacra y ganadería C con valores que oscilan de 15.53 a 21.01% , en el tercer grupo se encuentran los usos de ganadería restantes A y B los cuales tienen una porosidad promedio de 11.94 y 12.94% respectivamente. Con respecto a la segunda profundidad del suelo no tuvo significancia ( $p \leq 0.05$ ), sin embargo, se observó una disminución en la mayoría de los usos que en algunos casos presento valores por debajo del 10 %, lo cual pudiera afectar la aireación y el movimiento de agua en el suelo (Benavides, Morales, & Navia, 2016). Estos resultados coinciden con otros estudios que señalan que a mayor profundidad menor porosidad de aireación se encuentra debido a la compactación del suelo y esto puede influir en el flujo de aire en el suelo (Bravo et al., 2017).



**Figura 7.** Distribución de porosidad de aireación (B); en distintas profundidades (0-10cm) (10-30cm) bajo distintos usos de suelo.

#### 4.1.2.3 POROSIDAD DE RETENCIÓN (Pr) DEL SUELO

La porosidad de retención (Figura 8) presento diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) solo en la capa superficial del suelo agrupándoles en 3 grupos siendo el de mayor significancia ( $p \leq 0.05$ ) el uso de suelo de la ganadería A y B con un Pr promedio de 77.92 y 78.09% respectivamente, en el segundo grupo se encuentran la chacra A, chacra B y ganadería C con valores que oscilaron entre 67.88 a 75.35% y por última categoría quedo el uso de suelo de la chacra C y bosque con valor promedio de 63.90 y 65.52 respectivamente según estudios realizados sobre la degradación física del suelo la capacidad de retener el agua en el suelo se da a mayor profundidad debido a que hay mayor cantidad de macro poros en el suelo y también se da al tipo de suelo en el que se encuentra el cultivo (Caiza, 2015).



**Figura 8.** Distribución de la porosidad de retención (C); en distintas profundidades (0-10cm) (10-30cm) bajo distintos usos de suelo.

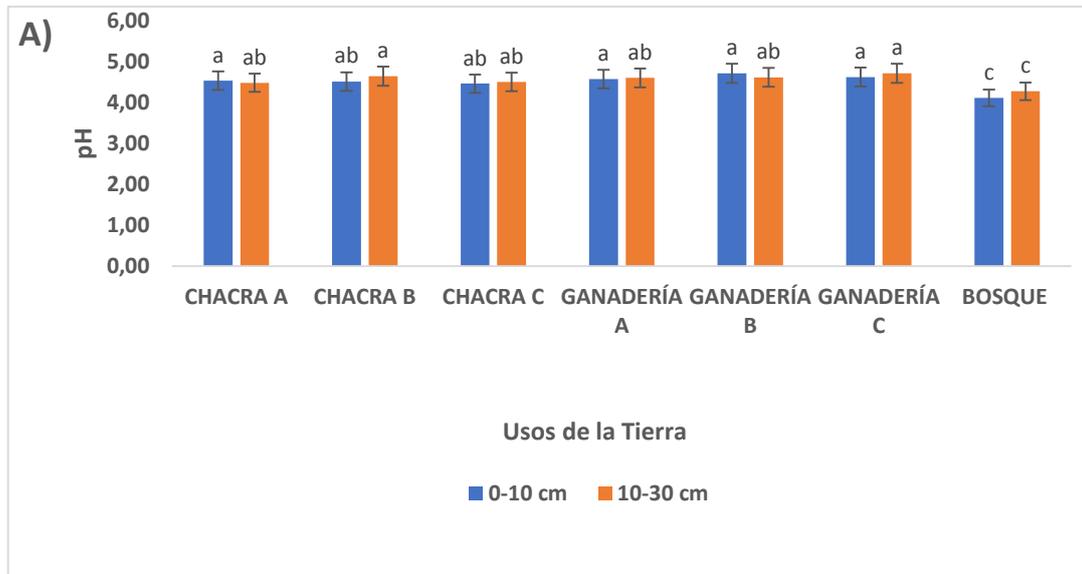
## 4.2 CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS

Dentro de los parámetros químicos se realizó el estudio de pH, Acidez intercambiable (Acl), aluminio intercambiable ( $Al^3$ ), carbono orgánico total (COT), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).

### 4.2.1 pH, ACIDEZ INTERCAMBIABLE (ACL), ALUMINIO INTERCAMBIABLE ( $Al^3$ )

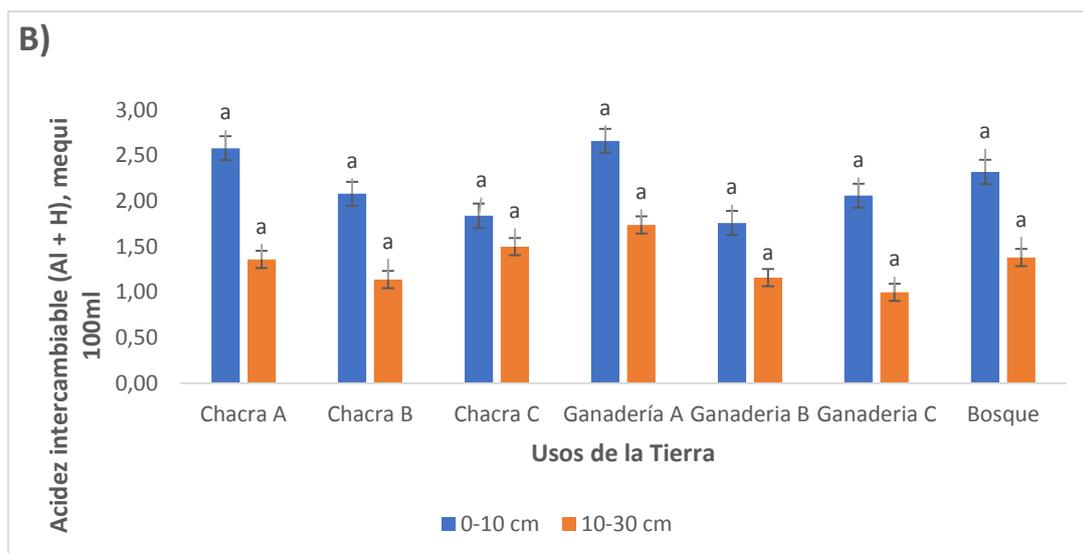
En la Figura 9) se muestran los resultados obtenidos para el pH del suelo en diferentes usos, los cuales mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las dos profundidades dividiéndolas en tres grupos. Para la capa superficial del suelo en el primer grupo lo constituyen la Chacra A con un valor promedio 4.54, y el uso con ganadería que osciló en valores 4.58 a 4.72; en el segundo grupo se encuentran los usos de chacra B y C con valores de 4.54 y 4.52 respectivamente y en el último grupo se encuentra el uso de suelo bosque con un valor promedio de 4.12. En la segunda profundidad de estudio se evidenciaron resultados similares en niveles de significancia ( $p \leq 0.05$ ) agrupándoles en tres grupos siendo el primer grupo chacra B y ganadería C, el segundo grupo estarían las chacras A y C, ganadería A y B y como último el uso de suelo bosque. En las dos profundidades de estudio que el suelo tiene un pH ácido por lo que están en un rango menor de 5.5 por debajo del cual se afectan una serie de funciones y procesos en el suelo principalmente la disponibilidad de la mayoría de

los nutrientes (Casanova, 2005). Tales resultados están muy relacionados con las características de la zona marcada por unas las altas precipitaciones produciendo lavados de las bases intercambiables y permitiendo que los sitios de intercambio sean ocupados por el aluminio intercambiable o los cationes ácido (Bravo et al., 2015).



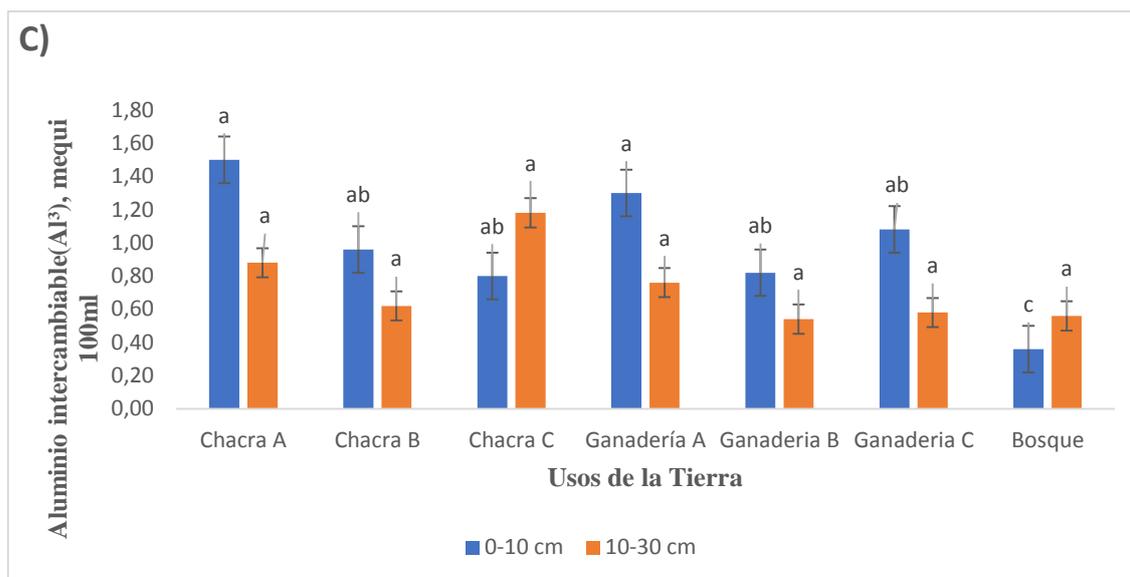
**Figura 9.** Distribución del pH (A), en profundidades (0-10cm), (10-30cm) en diferentes usos.

Para la acidez intercambiable no se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en ninguno de las profundidades de estudio como se puede apreciar en la (Figura 10). Se encontró mayor acidez intercambiable en la capa superficial del suelo y a medida que aumento la profundidad disminuyo. Según el nivel toxico de acidez intercambiable en el suelo no deben de ser  $>1.5$  (Bravo *et al.*, 2015). Estudio nos revelan que si la Acl sobrepasa el nivel permisible trae consigo variaciones en el pH del suelo a causa del aluminio ( $Al^{+3}$ ) y el hidrogeno ( $h^{+1}$ ) presentes en el mismo, otros estudios mencionan que pueden traer complicaciones en la solubilización de nutrientes hacia la planta afectando en el desarrollo de las raíces lo cual afecta de manera negativa al bosque o al cultivo presente (Salazar et al., 2015).



**Figura 10.** Distribución de la acidez intercambiable (B), en profundidades (0-10cm), (10-30cm) en diferentes usos.

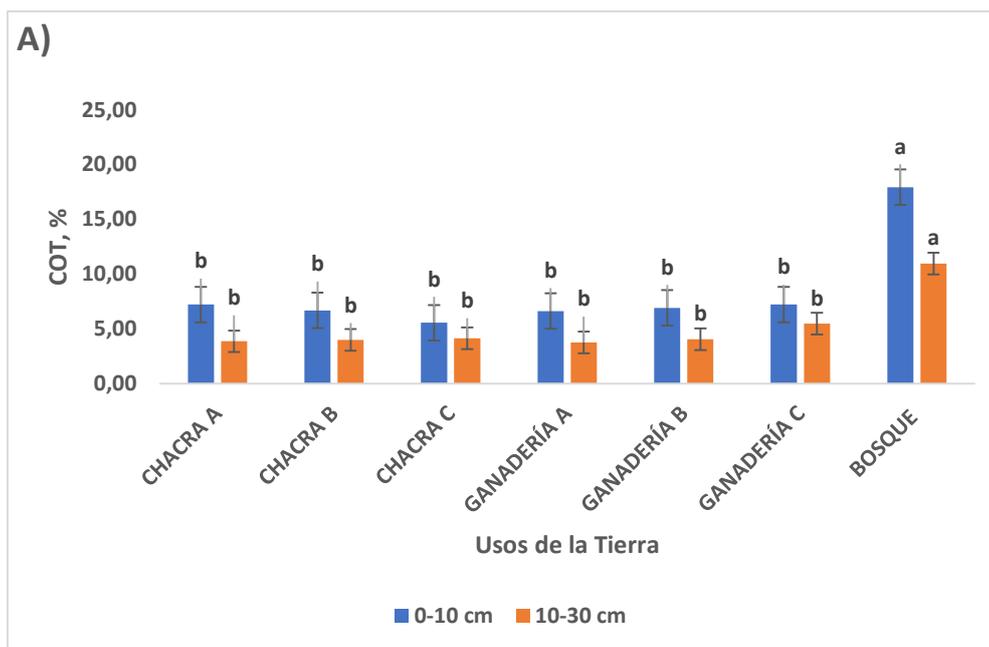
Las variaciones del aluminio intercambiable se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la capa superficial del suelo en tres grupos como se puede observar en la (Figura 11) en el primer grupo se encuentran la chacra A y ganadería A, en el segundo grupo se encuentran cuatro usos de suelo las dos restantes de chacras y las dos restantes de ganadería las cuales oscilaron en valores de 0.80 a 1.30 meq 100mL y como último grupo se encuentra el bosque con un valor promedio de 0.36 meq 100mL. En la segunda profundidad no se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en los usos del suelo de estudio. Según (Bravo et al.,2015). Los niveles que están de 0.5 a 1.5 meq 100mL están en un rango categorizado como moderadamente tóxico por lo cual los sistemas ganaderos se encuentran en este rango. Según (Lozada *et al.*, 2014). Estos niveles tóxicos pueden traer complicaciones en las plantas, no ocurre lo mismo para hongos ya que forman micorrizas que auspician la absorción de nutrientes. Según (Toledo et al., 2013). El aluminio intercambiable es toxico si sobrepasan a 0.58 meq 100mL.



**Figura 11.** Distribución del Aluminio intercambiable (C) en profundidades (0-10cm), (10-30cm) en diferentes usos.

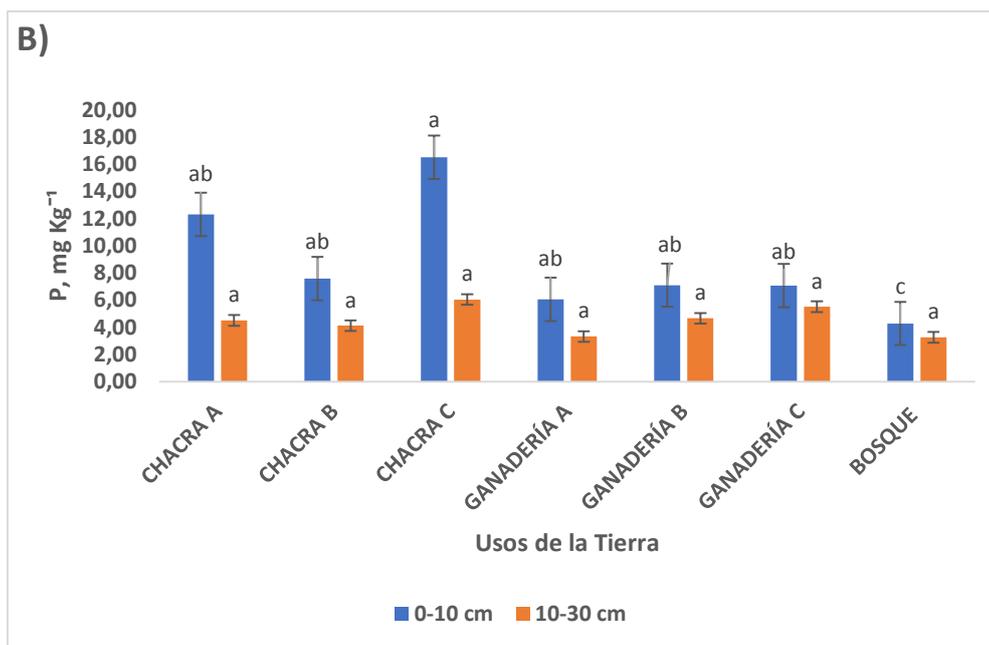
#### 4.2.2 CARBONO ORGÁNICO TOTAL Y FÓSFORO

En el Carbono Orgánico Total (COT) (Figura 12) presentó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las dos profundidades, las cuales se ordenaron en dos grupos. El primero estuvo representado por el uso de suelo con bosque con un valor promedio de 17.94% el siguiente grupo estuvo compuesto por el resto de los usos suelo, mostrando valores en los usos de chacra de 5.56 a 7.22 %, mientras que los usos ganaderos mostraron rangos que variaron de 6.62 a 7.22%. En la profundidad de 10-30cm se obtuvieron valores similares a la de la capa superficial del suelo con una disminución en sus valores de COT. El carbono orgánico total se considera como una fuente principal de nutrientes principalmente Nitrógeno y carbono del suelo. Se ha señalado que valores superiores a 5 % se pueden considerar altos (Dager et al., 2017). Por tanto, en ambas profundidades superan este valor, especialmente el Bosque.



**Figura 12.** Distribución de Carbono Orgánico Total (COT), A); en profundidades de (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos del suelo.

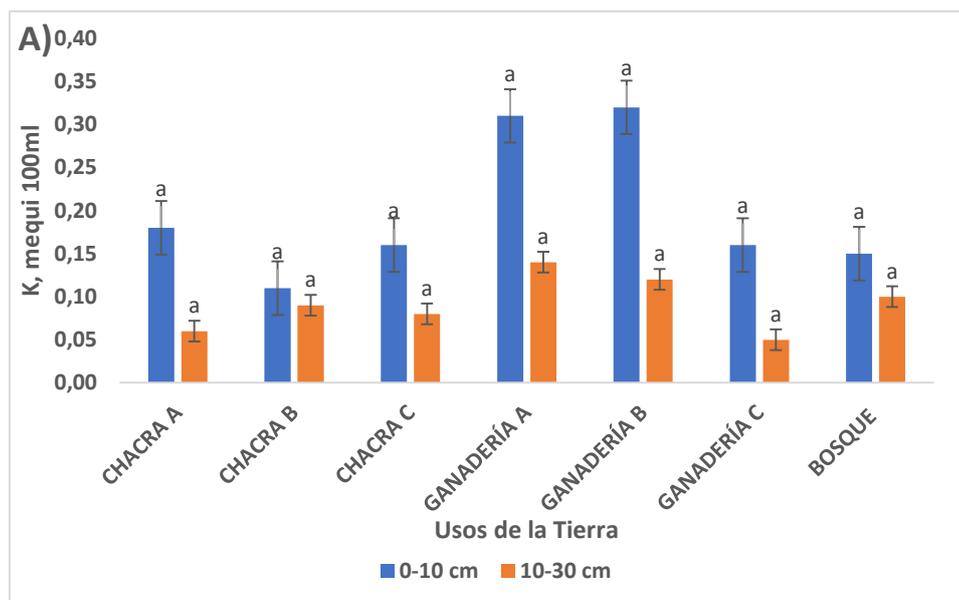
El fósforo (P) representado en la (Figura 13) presentó un nivel de significancia ( $p \leq 0.05$ ) en la capa superficial del suelo agrupándolos en tres grupos, el primero siendo la chacra C con un resultado promedio de  $16.52 \text{ mg.Kg}^{-1}$ , el segundo grupo formado por las chacras restantes y el uso ganadería con valores promedios de  $6.06 \text{ mg kg}^{-1}$  a  $7.10 \text{ mg kg}^{-3}$ , y el último grupo el uso de suelo bosque con un valor promedio de  $4.28 \text{ mg k}^{-1}$ . En la segunda profundidad no presento diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), estos resultados confirman los estudios en la amazonia realizadas por Bravo *et al.* (2015) en el cual mencionan que a medida que aumenta la profundidad se va perdiendo el contenido de suelo en el fosforo. El fósforo (P) como macronutriente esencial para las plantas, en casi todos los usos mostro contenidos de bajos a moderados ( $< 10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) lo cual constituye un elemento limitante para el crecimiento de los cultivos. Para condiciones amazónicas se ha señalado que dicho elemento representa una fuerte limitación, lo cual se agrava por la alta predominancia de hierro y aluminio en la fracción de intercambio ya que se pueden formar compuestos insolubles como fosfatos de aluminio (P-Al) y de hierro (P-Fe), que las plantas no pueden aprovechar (Bravo *et al.*, 2017). En término prácticos significa que la fertilización fosfórica debe ser lo más cuidadosa posible considerando el tipo de fuente y el momento de aplicación de manera que pueda ser aprovechado por las pasturas en los sistemas ganaderos y los cultivos en sistemas agroforestales (Bravo *et al.*, 2015).



**Figura 13.** Distribución de Fósforo (P), (B); en profundidades de (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos del suelo.

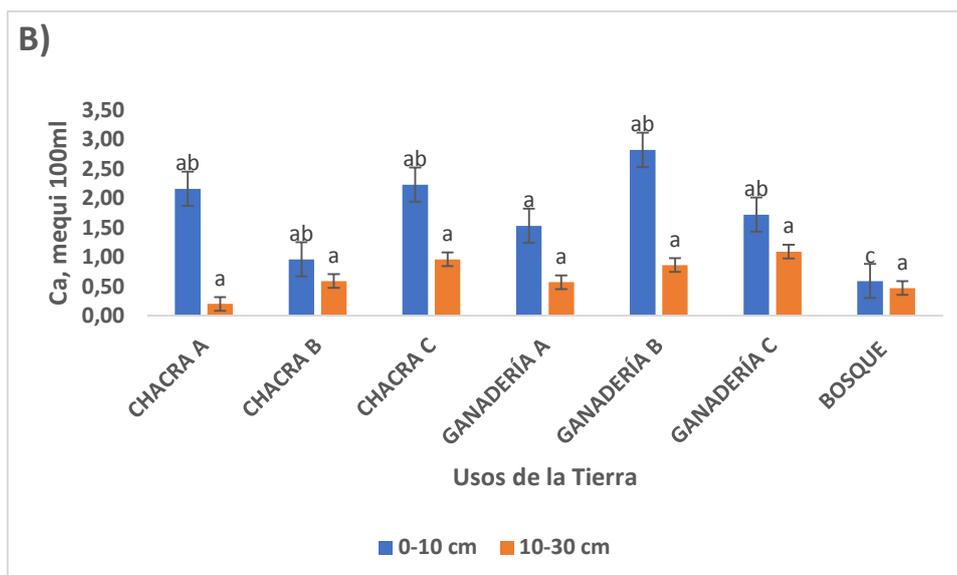
### 4.2.3 BASES INTERCAMBIABLES DEL SUELO

El potasio (K) (Figura 14) no presentó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en ninguna de las profundidades de los casos de estudio, se puede observar a simple vista que en la capa superficial del suelo se encuentra mayor contenido de  $K^{+1}$  que en las profundidades de (10-30cm) siendo la ganadería B la que mayor concentración de Potasio se encontró con un valor promedio de 0.32 meq 100mL. Según Bravo *et al.*, (2015) los valores obtenidos en el caso de estudio pertenecen a un nivel medio ya que se encuentra en valores que oscilan dentro del 0.2 a 0.38 meq 100mL. Los valores coinciden con los expuestos por (Becerra-Sanabria *et al.*, 2016) el cual menciona a mayor profundidad la concentración de potasio disminuye.



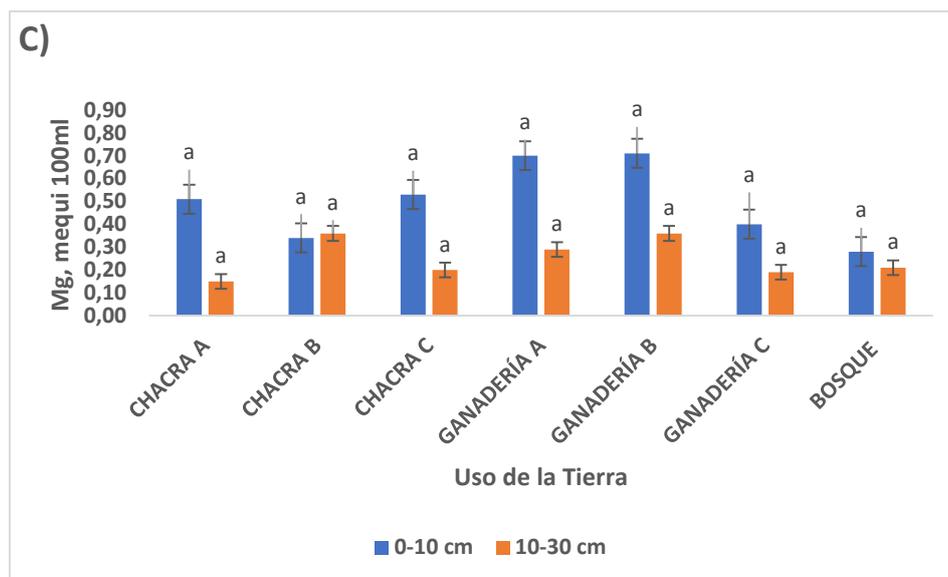
**Figura 14.** Distribución de las bases intercambiables del suelo A); profundidad (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos.

Con respecto al calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) (Figura 15) se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), por la cual se dividieron en tres grupos. El primero siendo ganadería A con un valor promedio de 1.53 meq 100mL el segundo grupo está formado por el uso suelo de chacras y el restante de usos de ganadería siendo el uso de chacras su valores con una oscilación de 0.96 a 2.23 meq 100mL y el uso ganadería los valores oscilaron entre 1.72 a 2.82, siendo el bosque el último grupo con un valor promedio de 0.59 meq 100mL; en la segunda profundidad no hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) por lo cual al calcio se lo considera como otro nutriente para la planta, sus niveles de concentración según Bravo et al., (2015) son bajos cuando son  $<2$  meq 100mL medio cuando están en un rango de 2.5 meq 100 mL y altos cuando superan los 5 meq 100 mL. En el resultado obtenido en el estudio se obtuvieron valores bajos de calcio (Cánepa et al., 2015) señalan que el calcio en grandes cantidades puede reducir la absorción de otros micronutrientes del suelo como el fósforo y el magnesio provocando la deficiencia de estos elementos, en el suelo, poniendo en consideración la profundidad de (10-30cm) los valores de calcio en el suelo disminuyeron debido a que mayor profundidad el nutriente en el suelo se va perdiendo (Salazar et al., 2015).



**Figura 15.** Distribución de las bases intercambiables del suelo B) Calcio (Ca); profundidad (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos.

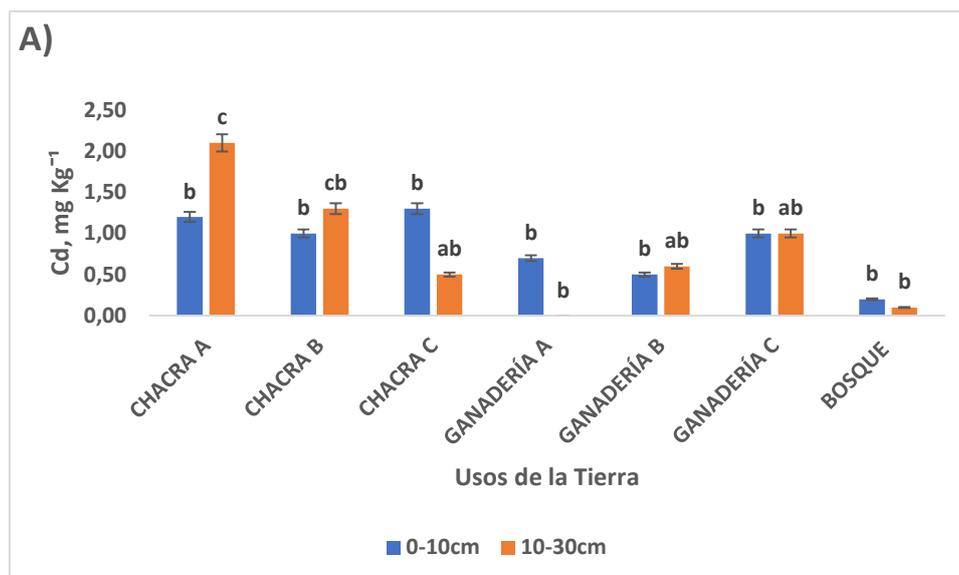
El magnesio (Figura 16) es un elemento que influye significativamente en el uso del agua en un sistema suelo/cultivo de una manera en que mejora la condición de almacenamiento de agua y la interacción con la planta (Goujard & Bayón, 2014). En los resultados obtenidos no se tuvo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la capa superficial del suelo ni en la segunda profundidad de estudio, el valor de concentración más grande de magnesio se da en la ganadería B 0.71 meq 100mL en la segunda profundidad se observó una disminución del nutriente magnesio esto se debe a que mayor profundidad el contenido de magnesio disminuye (Sadeghian, 2016). Según Bravo *et al.*, (2015) los niveles de concentración alto del magnesio son cuando superan  $>1.5$  meq 100mL.



**Figura 16.** Distribución de las bases intercambiables del suelo C) Magnesio (Mg); profundidad (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos.

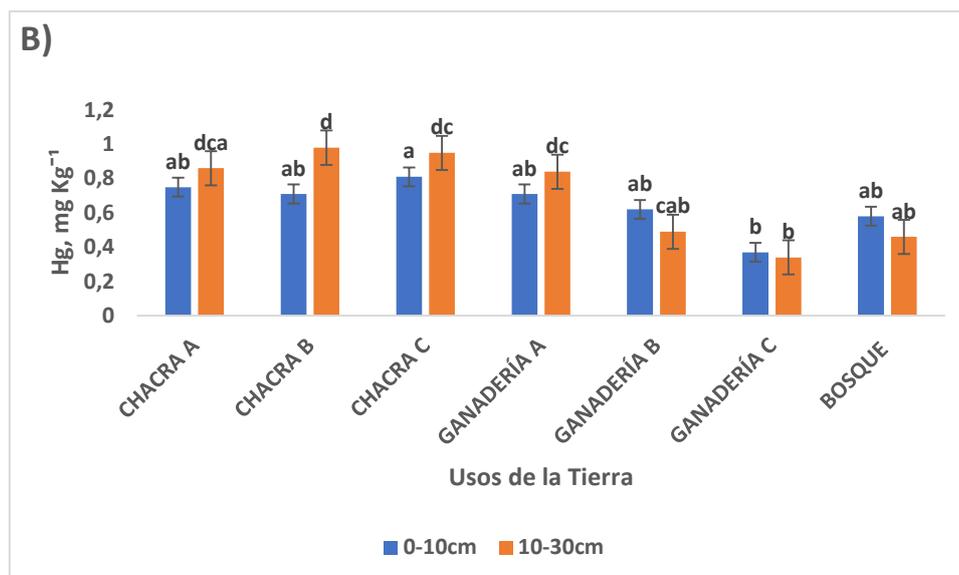
#### 4.2.4 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (Cd, Hg) EN DIFERENTES USOS DEL SUELO

Según resultados obtenidos (Figura 17) tuvo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la capa superficial del suelo, ubicándolo en tres grupos, el primero con los niveles más altos en concentración se encuentran los usos de la chacra A y chacra C con valores promedio de 1.2 y 1.3  $\text{mg.kg}^{-1}$  respectivamente, el segundo grupo constituido por chacra B, ganadería A y ganadería C con valores promedio de 1.0; 0.7; 1.0  $\text{mg.kg}^{-1}$  respectivamente. El tercer grupo está formado por el uso de suelo con bosque con un valor promedio de 0.2  $\text{mg.kg}^{-1}$ . Considerando la segunda profundidad de estudio (10-30cm) se obtuvo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con similitud en una agrupación de tres, pero con una disminución en su concentración. El primer grupo constituido por chacra C con un valor promedio de 0.5  $\text{mg.kg}^{-1}$ ; en el segundo grupo se encuentra la ganadería A con un valor promedio de 0,0  $\text{mg.kg}^{-1}$ , y en el tercer grupo se encontraron el resto de los usos de suelo oscilando en sus valores 2.10 a 0.10  $\text{mg.kg}^{-1}$ . Verificando la legislación permisible ecuatoriana de la normativa 097A la cual tiene un límite permisible de cadmio con un valor de 2  $\text{mg.kg}^{-1}$  (Lipianin & Alexey, 2016), lo cual indica que en los diferentes usos existe un grado de contaminación por metal pesado.



**Figura 17.** Distribución de metales pesados A) Cadmio (Cd); en profundidades de (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos del suelo.

Los resultados obtenidos del Mercurio se encuentra en la (figura 18) en el cual representa que en la capa superficial no se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), siendo el de mayor concentración la chacra C con un valor promedio de  $0.81 \text{ mg Kg}^{-1}$ ; si bien en la segunda profundidad de estudio se encontraron diferencias significativas agrupándolas en tres grupos siendo el primero la chacra B el que tiene mayor concentración con un valor promedio  $0.98 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ; en el segundo grupo se ubican usos de ganadería B y A, bosque y chacra A las cuales oscilaron en un valor promedio  $0.49$  a  $0.86 \text{ mg.Kg}^{-1}$ , en el último grupo se encuentra la chacra C y ganadería C con valores promedio de  $0.95$  y  $0.34 \text{ mg.Kg}^{-1}$  respectivamente. En estudios realizados el Mercurio se encuentra de manera natural y antropogénico en el suelo en una concentración acorde al límite aceptable para uso agrícola; su concentración aumenta cuando el pH del suelo disminuye y viceversa (Pisuña & Manuel, 2015), según legislación permisible ecuatoriana de la normativa 097a el valor crítico para el Mercurio es de  $0.8 \text{ mg kg}^{-1}$  (Lipianin & Alexey, 2016), lo cual indica que en los diferentes usos existe un grado de contaminación por metal pesado.



**Figura 18.** Distribución de metales pesados) Mercurio (Hg); en profundidades de (0-10cm) (10-30cm) en distintos usos del suelo.

### 4.3 RELACIONES DE PROPIEDADES DEL SUELO Y CONTENIDO DE METALES PESADOS EN DIFERENTES USOS DEL SUELO

En el siguiente capítulo se representarán las tablas de correlación del índice de Pearson en las cuales se representarán las correlaciones de mayor significancia como se puede observar en la Tabla 2 que está realizada a una profundidad de estudio de (0-10cm) y la Tabla 3 que está en referencia con la profundidad de (10-30cm)

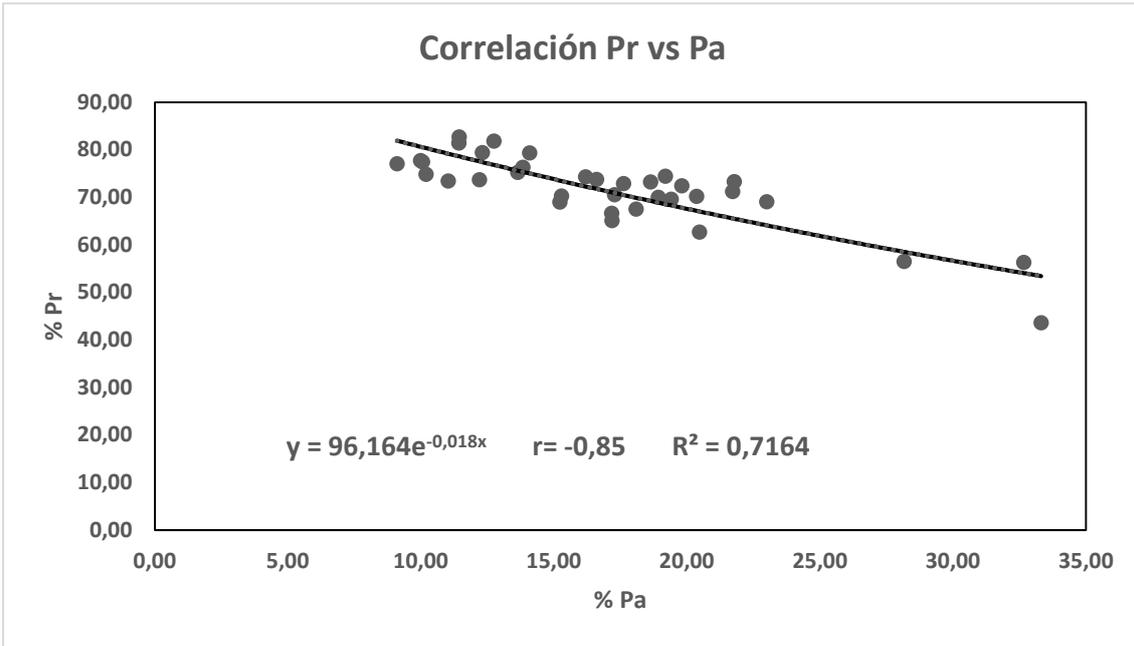
PROYECTO DE INVESTIGACION

Tabla 3 . Análisis de correlaciones de las variables Físicas, Químicas y Metales pesados del suelo en profundidad de 0-10cm.

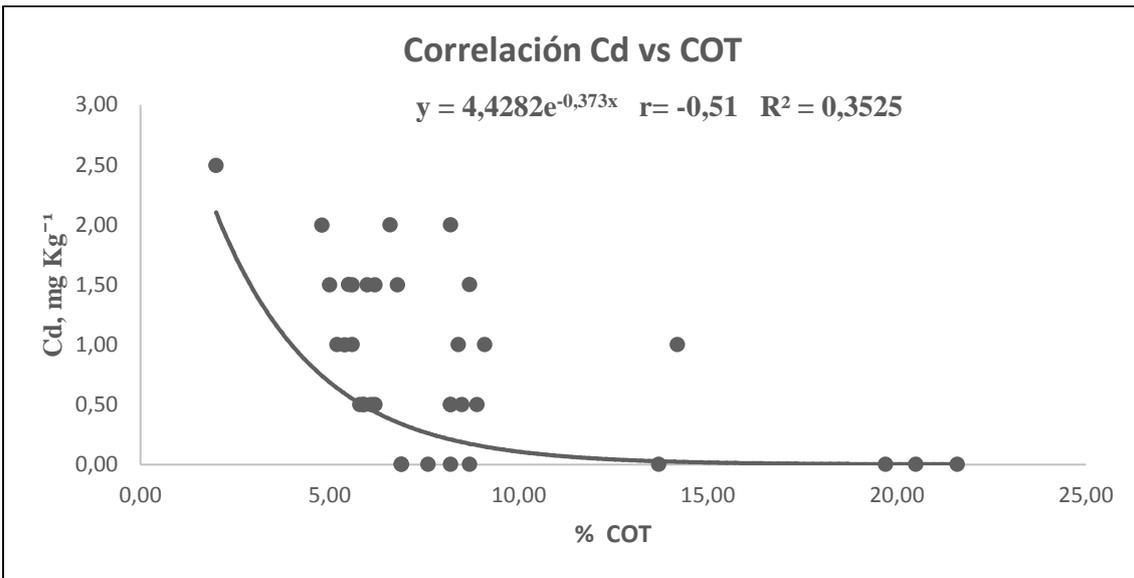
Correlaciones	Propiedades Físicas					Propiedades Químicas											
	Da	ksat	Pt	Pa	Pr	COT	Ph	Acl	Al3	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Cd	Hg
Da, (Mg m <sup>3</sup> )	1,00																
ksat, (cm h <sup>-1</sup> )	-0,05	1,00															
Pt, (%)	<b>-,446**</b>	<b>-,338*</b>	1,00														
Pa, (%)	<b>-,458**</b>	<b>,545**</b>	-0,19	1,00													
Pr, (%)	0,11	<b>-,591**</b>	<b>0,67*</b>	<b>-0,85</b>	1,00												
COT, (%)	<b>-0,63</b>	0,07	0,28	<b>,448**</b>	-0,19	1,00											
pH	0,25	-0,33	0,11	<b>-,525**</b>	<b>,454**</b>	<b>-,535**</b>	1,00										
Acl, (meq 100ml)	0,00	-0,03	0,09	-0,15	0,16	0,11	<b>-,421*</b>	1,00									
Al <sup>3</sup> , (meq 100ml)	0,05	-0,17	0,08	-0,27	0,25	-0,33	0,21	<b>0,56**</b>	1,00								
P, (mg Kg <sup>-1</sup> )	0,21	0,26	-0,21	-0,12	-0,02	-0,33	0,19	0,07	0,30	1,00							
K, (meq 100ml)	0,26	-0,22	0,17	<b>-,413*</b>	<b>,400*</b>	-0,18	<b>,387*</b>	0,21	0,23	0,06	1,00						
Ca, (meq 100ml)	0,15	-0,16	0,18	<b>-,378*</b>	<b>,379*</b>	<b>-,358*</b>	<b>0,64**</b>	-0,20	0,12	<b>,484**</b>	<b>,423*</b>	1,00					
Mg, (meq 100ml)	0,26	-0,28	0,12	<b>-,539**</b>	<b>,471**</b>	<b>-,372*</b>	<b>0,63**</b>	0,07	0,25	<b>,388*</b>	<b>0,72**</b>	<b>0,76**</b>	1,00				
Cu, (mg Kg <sup>-1</sup> )	0,28	0,05	<b>-,342*</b>	-0,29	0,03	<b>-,357*</b>	0,25	-0,22	-0,06	0,14	-0,20	0,05	0,01	1,00			
Zn, (mg Kg <sup>-1</sup> )	0,02	<b>,388*</b>	-0,14	0,05	-0,11	-0,19	0,09	-0,10	0,10	<b>,757**</b>	-0,05	<b>,375*</b>	0,16	0,28	1,00		
Cadmio, (mg Kg <sup>-1</sup> )	0,21	0,02	-0,24	0,01	-0,14	<b>-0,51</b>	0,15	-0,17	0,06	<b>0,40*</b>	0,01	0,16	0,08	0,18	<b>0,40*</b>	1,00	
Mercurio, (mg Kg <sup>-1</sup> )	0,27	0,07	-0,31	-0,07	-0,12	-0,14	-0,06	0,26	0,27	<b>0,49**</b>	0,15	0,15	0,26	0,05	0,17	0,10	1,00

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

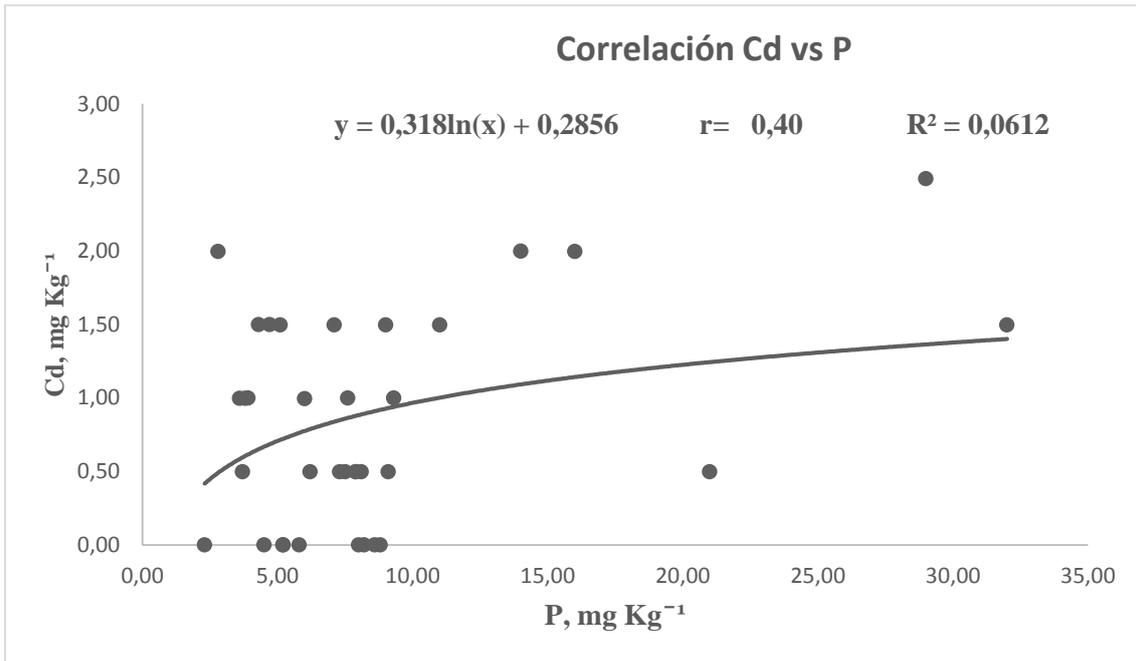
\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).



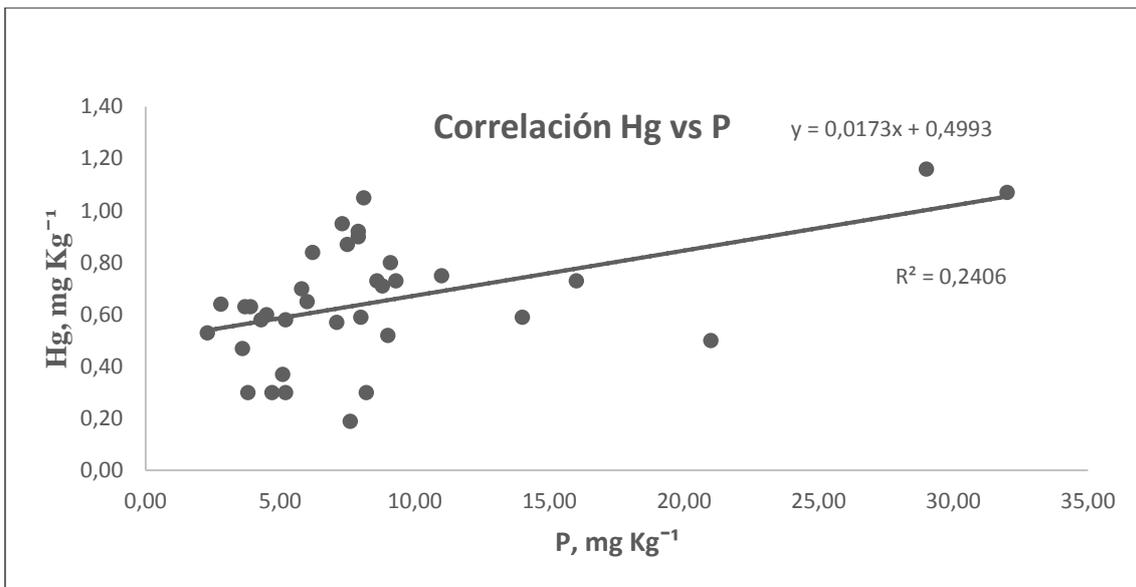
**Figura 19.** Correlación entre la porosidad de retención (Pr) y porosidad de aireación (Pa), profundidad 0-10cm.



**Figura 20.** Correlación entre el Cadmio (Cd) y el Carbono Orgánico Total (COT), profundidad 0-10cm.



**Figura 21.** Correlación del Cadmio (Cd) y el Fósforo (P), profundidad 0-10cm.



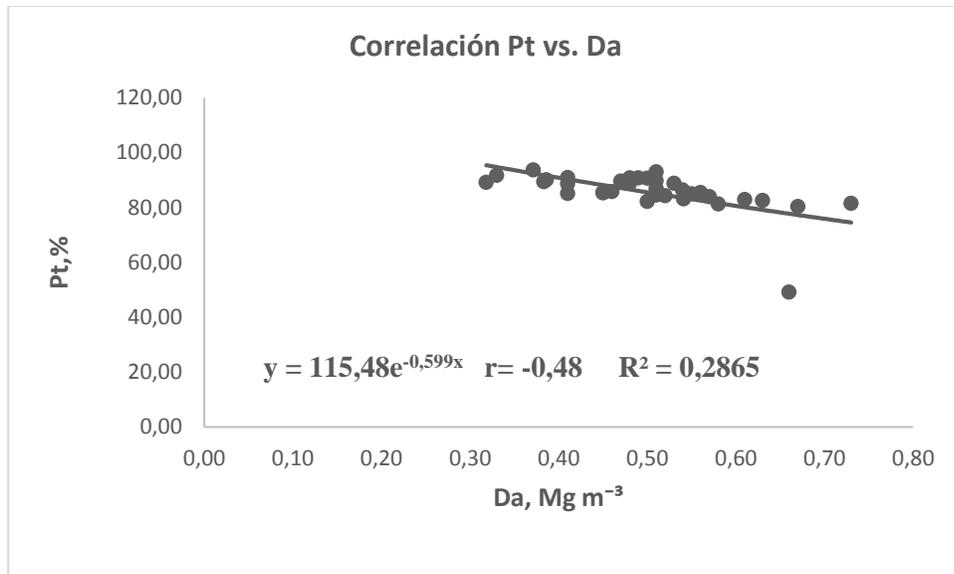
**Figura 22.** Correlación del Mercurio (Hg) y el Fósforo (P), profundidad 0-10cm.

**Tabla 4.** Análisis de correlaciones de las variables Físicas, Químicas y Metales Pesados del suelo; profundidad 10-30.

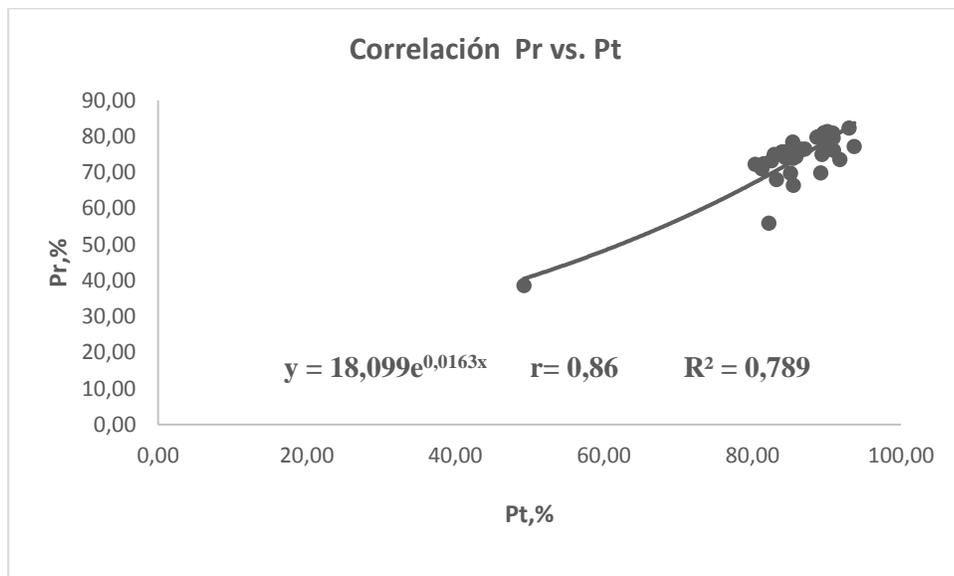
Correlaciones	Propiedades Físicas					Propiedades Químicas												
	Da	Ksat	Pt	Pa	Pr	COT	pH	AcI	Al <sup>3</sup>	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Cd	Hg	
Da, (Mg m <sup>3</sup> )	1,00																	
ksat, (cm h <sup>-1</sup> )	-0,05	1,00																
Pt, ( %)	<b>-,446**</b>	<b>-,338*</b>	1,00															
Pa, ( %)	<b>-,458**</b>	<b>,545**</b>	-0,19	1,00														
Pr, (%)	0,11	<b>-,591**</b>	<b>0,67**</b>	<b>-0,85</b>	1,00													
COT,(%)	<b>-0,63</b>	0,07	0,28	<b>,448**</b>	-0,19	1,00												
Ph	0,25	-0,33	0,11	<b>-,525**</b>	<b>,454**</b>	<b>-,535**</b>	1,00											
AcI, (meq 100ml)	0,00	-0,03	0,09	-0,15	0,16	0,11	<b>-,421*</b>	1,00										
Al <sup>3</sup> , (meq 100ml)	0,05	-0,17	0,08	-0,27	0,25	-0,33	0,21	<b>0,56**</b>	1,00									
P, (mg Kg <sup>-1</sup> )	0,21	0,26	-0,21	-0,12	-0,02	-0,33	0,19	0,07	0,30	1,00								
K, (meq 100ml)	0,26	-0,22	0,17	<b>-,413*</b>	<b>,400*</b>	-0,18	<b>,387*</b>	0,21	0,23	0,06	1,00							
Ca, (meq 100ml)	0,15	-0,16	0,18	<b>-,378*</b>	<b>,379*</b>	<b>-,358*</b>	<b>0,64**</b>	-0,20	0,12	<b>,484**</b>	<b>,423*</b>	1,00						
Mg, (meq 100ml)	0,26	-0,28	0,12	<b>-,539**</b>	<b>,471**</b>	<b>-,372*</b>	<b>0,63**</b>	0,07	0,25	<b>,388*</b>	<b>0,72**</b>	<b>0,76**</b>	1,00					
Cu, (mg Kg <sup>-1</sup> )	0,28	0,05	<b>-,342*</b>	-0,29	0,03	<b>-,357*</b>	0,25	-0,22	-0,06	0,14	-0,20	0,05	0,01	1,00				
Zn, (mg Kg <sup>-1</sup> )	0,02	<b>,388*</b>	-0,14	0,05	-0,11	-0,19	0,09	-0,10	0,10	<b>,757**</b>	-0,05	<b>,375*</b>	0,16	0,28	1,00			
Cadmio, (mg Kg <sup>-1</sup> )	0,21	0,02	-0,24	0,01	-0,14	<b>-0,51</b>	0,15	-0,17	0,06	<b>0,40*</b>	0,01	0,16	0,08	0,18	<b>0,40*</b>	1,00		
Mercurio, (mg Kg <sup>-1</sup> )	0,27	0,07	-0,31	-0,07	-0,12	-0,14	-0,06	0,26	0,27	<b>0,49**</b>	0,15	0,15	0,26	0,05	0,17	0,10	1,00	

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

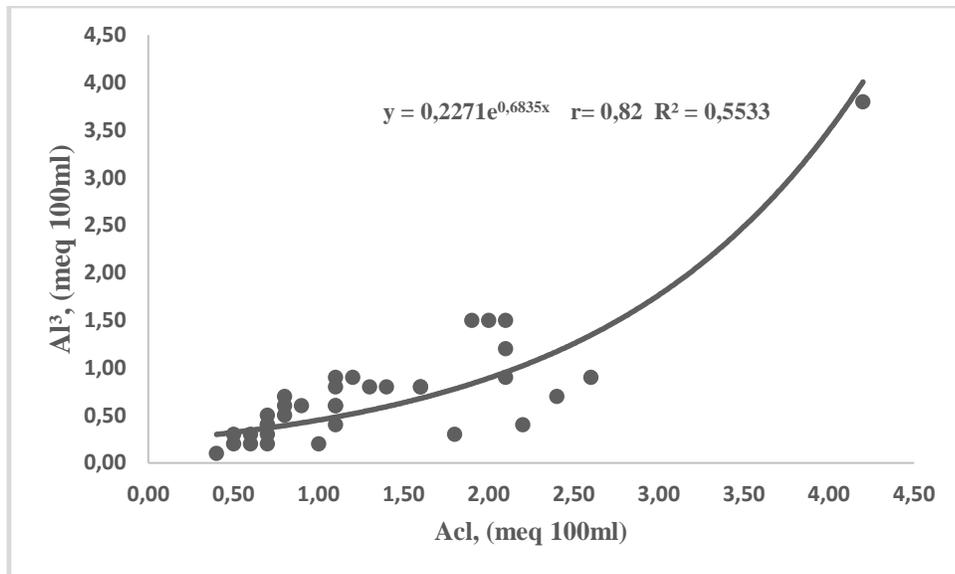
\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).



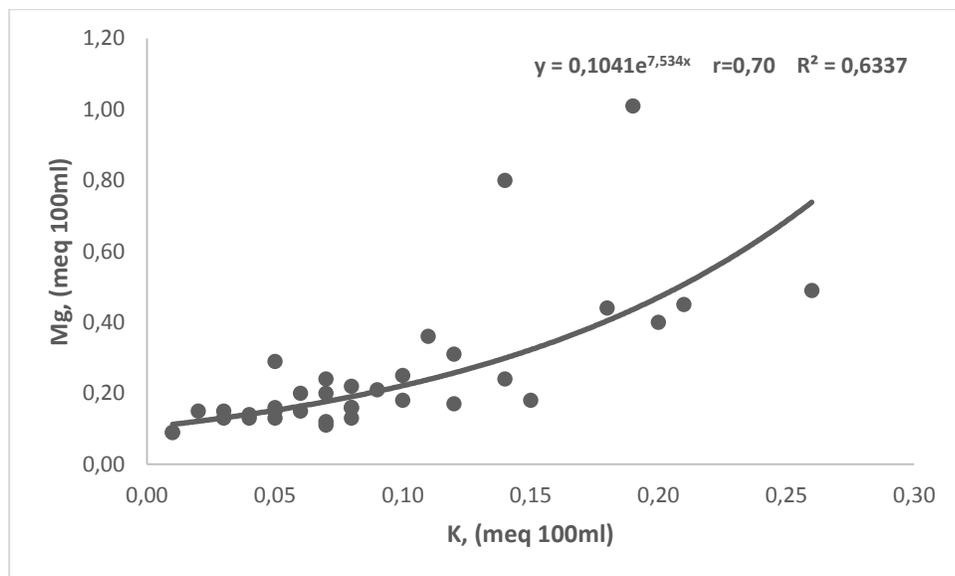
**Figura 23.** Correlación de la porosidad total (Pt) y la densidad Aparente (Da), profundidad (10-30cm).



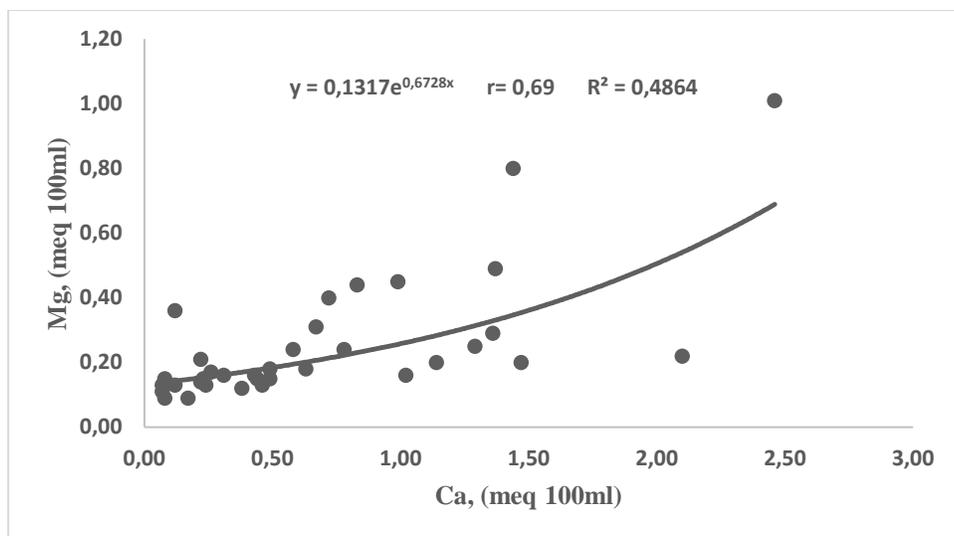
**Figura 24.** Correlación de la porosidad total (Pt) y la Porosidad de retención (Pr); profundidad (10-30cm).



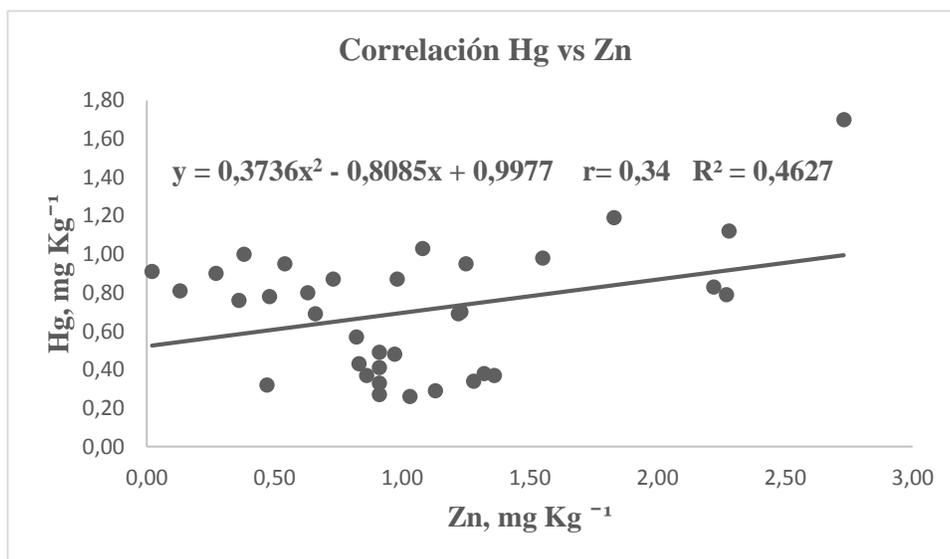
**Figura 25.** Correlación del Aluminio Intercambiable (Al<sup>+3</sup>) con la acides Intercambiable (Al+H) (Acl); profundidad (10-30cm).



**Figura 26.** Correlación del Magnesio (Mg) y el Potasio (K), profundidad de (10-30cm).



**Figura 27.** Correlación del Magnesio (Mg) y Calcio (Ca); profundidad (10-30cm).



**Figura 28.** Correlación del Cinc (Zn) y el cobre (Cu); profundidad de (10-30cm).

Como se puede apreciar en las tablas y figuras donde se representa las correlaciones o grado de asociación entre dos variables las relaciones más altas se presentan con el contenido de materia orgánica y algunas propiedades ajustando a modelos lineales, exponenciales. En el caso de los parámetros químicos las principales relaciones se establecieron entre el fósforo y el contenido de Cinc, entre las bases cambiables y entre el contenido de materia orgánica y el cobre (Cu) y Zn sobre todo en el horizonte superficial.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- En la evaluación de los parámetros químicos los usos del suelo dieron un resultado positivo en su funcionamiento ya que tienen una alta cantidad de Materia Orgánica (COT), la cual está asociada en la presencia de Cadmio (Cd) y porosidad de aireación (Pa) del suelo; con respecto al pH se obtuvo un valor bajo con relación a la presencia de cadmio, debido a la alta concentración del pH en el suelo.
- Se establecieron las correlaciones las cuales eran significantes en la profundidad de (10-30cm) fueron (COT-Cd) con un valor de -0.26 esto significa que a medida que aumentó COT el Cd disminuye o viceversa, así también está la correlación de (pH-Cd) ya que a medida que el pH aumenta la concentración del Cadmio también aumenta.
- Se establecieron las correlaciones con mayor significancia las cuales eran significante en la profundidad de (0-10cm) fueron (COT-Hg) con un valor de -0.14 esto significa que a medida que aumenta COT el Hg disminuye o viceversa, así también está la correlación en la profundidad de (10-30cm) fue el (pH-Hg) con un valor de 0.10 esto significa que a mayor pH mayor presencia de Hg o viceversa, al igual que con Materia Orgánica con respecto al Mercurio (COT-Hg) obtenemos como resultado que a mayor COT menor Hg.

#### 5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de seguimiento para las zonas de muestreo y los usos del suelo para evitar la degradación de los mismos en especial de los suelos agrícolas.
- Incluir en estudios posteriores al Arsénico uno de los elementos más tóxicos que pueden ser encontrados en el suelo y que puede determinar alguna alteración en la calidad del suelo en el lugar de estudio.

## ANEXOS

*Tabla 5. Indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo.*

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo
<b>Indicadores físicos</b>	
Textura del suelo	Retención y transporte de agua y minerales; erosión del suelo a partir de su influencia en el tipo de estructura, la cantidad y tamaño de poros.
Profundidad del suelo	Estimación del potencial productivo y de erosión, profundidad fisiológica.
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lixiviación, productividad y erosión.
Capacidad de agua disponible	Agua disponible para las plantas.
Porosidad y compactación	Retención y transporte de agua y nutrientes; erosión del suelo.
Estabilidad de agregados	Erosión potencial, infiltración de agua.
<b>Indicadores químicos</b>	
Materia orgánica (C y N)	Disponibilidad de nutrientes, fertilidad del suelo, estabilidad de agregados, a mayor cantidad: disminución de la erosión y aumento del potencial productivo.
pH	Actividad química y biológica, límites para el crecimiento de las plantas y actividad microbiana.
Conductividad eléctrica	Actividad microbiológica y de las plantas. Limitante para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiológica.
N, P y K extraíble	Disponibilidad de nutrientes para las plantas y pérdida potencial de N, indicadores de productividad y calidad ambiental.
Capacidad de intercambio catiónico	Almacén de nutrientes para las plantas, retención de contaminantes y amortiguación de pH.
<b>Indicadores Biológicos</b>	
Biomasa microbiana (C y N)	Actividad biológica, flujo de nutrientes, potencial catalizador microbiano y reposición de C y N.
N potencial mineralizable	Productividad del suelo y aporte potencial de N
Respiración del suelo	Medición de la actividad microbiana, cantidad de C en el suelo.
Riqueza y abundancia de fauna	Relacionado con los procesos de descomposición y mineralización de residuos orgánicos y alerta temprana ante perturbaciones.
<b>Indicadores de relieve</b>	
Pendiente	Condiciones permisivas para la presencia de la erosión
Orientación del terreno	Diferencias en parámetros estructurales (biomasa, distribución de frecuencias), y comportamiento hídrico del suelo.
Altitud	Patrones de distribución de especies vegetales.
Unidad geomorfológica (posición en el relieve)	Forma del flujo del agua a lo largo de la ladera (zonas donadoras-zonas receptoras).

**Fuente:** Karlen et al., (1997) y Nortcliff (2002).

**Tabla 6. Tasa de deforestación en la Amazonia Ecuatoriana.**

PROVINCIA	Periodo 1990 – 2000		Periodo 2000 – 2008	
	Tasa anual de cambio (%)	Deforestación anual promedio (ha/año)	Tasa anual de cambio (%)	Deforestación anual promedio (ha/año)
MORONA SANTIAGO	-0.30	4.915	-0.61	9.460
ZAMORA CHINCHIPE	-0,76	6.339	-1,61	11.883
PASTAZA	-0.09	2.432	-0.18	4.773
NAPO	-0.21	1.682	-0.35	2.735
ORELLANA	-0.35	6.955	-0.26	4.991
SUCUMBIOS	-0.71	10.332	-0.31	4.149
<b>TOTAL TASA DE DEFORESTACIÓN EN LA RAE (Hasta 2008)</b>				<b>37.991</b>

Fuente: MAE, Estudio de línea base 2008.

**Tabla 7. Criterio de remediación (Valores máximos permisibles).**

Parámetro	Unidades*	USO DEL SUELO			
		Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
<b>Parámetros Generales</b>					
Conductividad	uS/cm	200	400	400	200
pH	-	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)	-	5	12	12	5
<b>Parámetros inorgánicos</b>					
Arsénico	mg/kg	12	12	12	12
Sulfuro	mg/kg	-	-	-	500
Bario	mg/kg	500	2000	2000	750
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	-	-	-	2
Cadmio	mg/kg	4	10	10	2
Cobalto	mg/kg	50	300	300	40
Cobre	mg/kg	63	91	91	63
Cromo Total	mg/kg	64	87	87	65
Cromo VI	mg/kg	0.4	1.4	1.4	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9	8	8	0.9
Estaño	mg/kg	50	300	300	5
Fluoruros	mg/kg	400	2000	2000	200
Mercurio	mg/kg	1	10	10	0.8
Molibdeno	mg/kg	5	40	40	5

*Tabla 8. Criterios de calidad del suelo.*

TABLA 1.- CRITERIOS DE CALIDAD DEL SUELO		
Parámetro	Unidades*	Valor
<b>Parámetros Generales</b>		
Conductividad	uS/cm	200
pH		6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)		4*
<b>Parámetros inorgánicos</b>		
Arsénico	mg/kg	12
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25
Cromo Total	mg/kg	54
Cromo VI	mg/kg	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Fluoruros	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	5
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	76

## Bibliografía

- AEMA–PNUMA. (2002). Con los en la tierra: la degradación del suelo y el desarrollo sostenible en Europa: Un desafío para el siglo XXI. *Problemas medioambientales*, 16-34.
- Aleman R, B. C. (2018). *Fertilizacion organica en cultivos*. Ecuador: Artes Graficas Silva.
- Atilo, E. (2007). *Contaminación Área Ecológica*. Catamarca.
- Baran, J. (1995). Química Bioinorgánica. En J. Baran, *Química Bioinorgánica*. (pág. 321). Madrid: Mc. Graw-Hill/ INTERAMERICANA.
- Becerra-Sanabria., L., Navia-de Mosquera., S., & Núñez-López., C. (2016). Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar ‘Criolla Guaneña’ en el departamento de Nariño. *Revista Latinoamericana de la papa*, 14(1)., 51-60.
- Benavides, E., Morales, L., & Navia, J. (2016). Propiedades físicas y contenido de materia orgánica diferentes usos del suelo en Samaniego, Colombia. *Revista Agroforestería Neotropical*, 1(5).
- BEUER, L., GARDNER, W., & GARDNER, W. (1972). *Soil Physics*. New York: Jhon Wiley.
- Brantley, S., Goldhaber, M., & Ragnarsdottir, K. (2007). Crossing Disciplines and scales to understand the critical zone. *Elemento* 3, 307-314.
- Bravo, C. R., Marín., H., Torres., B., Torres., R., Navarrete., H., & Changoluisa., D. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(11)., 1-16.
- Bravo, C. T., Alemán., R., Changoluisa., D., Marín., H., Freile., J., & . . . Navarrete., H. (2017). Indicadores de calidad física y carbono orgánico en suelos de la Región Amazónica Ecuatoriana bajo diferentes usos de la tierra. *Paper presented at the Simposio internacional sobre Manejo sostenible de tierras y seguridad alimentaria–Ecuador*.
- Bravo., C. B., Durazno., G., Navarrete., H., Torres., B., Ramirez., A., Torres., V., . . . Vinueza., R. (2015). *Informe Final: Diagnóstico ambiental de unidades de producción agropecuaria en tres pisos altitudinales de la provincia de Napo, Ecuador (pp. 54)*.

- Bravo., C., Benítez., D., Burgos., J. C., Alemán., R., Torres., B., & Marín., H. (2015). Caracterización socio-ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana: Caso Pastaza y Napo. . *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4, 3-31.
- Caiza, D. (2015). *Estudio de la degradación física del suelo y plan de manejo ambiental para la finca Luis Cevallos*.
- Cánepa et al. (2015). Situación actual de los suelos tabacaleros de la empresa Lázaro Peña de la provincia Artemisa. *Cultivos Tropicales*, 36(1)., 80-85.
- Cánepa Ramos., Y., González., T., Abdón., J., González Mederos., A., & Hernández Jiménez., A. (2015). Situación actual de los suelos tabacaleros de la empresa Lázaro Peña de la provincia Artemisa. . *Cultivos Tropicales*, 36(1)., 80-85.
- Carusso., J., Klaue., B., Michalke., B., & Rocke., D. (2003). *Group assessment: elemental speciation*. *Ecotox. Environ. Safe*, 56. .
- Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Central de Venezuela. - Consejo de Desarrollo Humanístico y Científico. 481.
- Cruz, B. (2004). *La Calidad del suelo y sus Indicadores*. *Asociación Española de Ecología Terrestre*, 90.
- Cruz, G. (2007). Valoración de bienes y recursos ambientales y naturales: el problema de la medición. *Revista Científica Luna Azul*.
- Cruz-Crespo., E., Can-Chulim., A., Sandoval-Villa., M., Bugarin-Montoya., R., Robles-Bermudez., A., & Juarez-Lopez., P. (2013). Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias*, 2(2).
- Dager., M. R., Elizalde., G., & Cabrera., M. M. (2017). Composición de la materia orgánica, pH, intercambio catiónico y textura de cinco suelos ubicados entre 670 y 1600 msnm en la cuenca del río Maracay, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 34(2), , 130-157.

- De Oliveira., S., Melfi., A., Fostier., A., Forti., M., & Favaro., D. (2001). Soils as an important sink for mercury in the Amazon. *Water Air Soil Pollut* , 321-327.
- Duval., M. E., Galantini., J. A., Martínez., J. M., López., F. M., & Wall., L. G. (2015). *Evaluación de la calidad física de los suelos de la región pampeana: efecto de las prácticas de manejo.*
- Ecoagricultor. (01 de Mayo de 2017). *Ecoagricultor.*
- Erazo, G. (2014). El uso de Pigue (Piptocoma discolor) por los pequeños productores de Napo, Ecuador. *Brief*, 1.
- Estañ, M. (1984). Adsorción de Cadmio en suelos calizos. . 1651-1666.
- FAO. (2018). *El Suelo.* Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2015). Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables.
- FAO & ITPS. (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.*
- GADMpZ. (2012). *Síntesis del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Pastaza 2012-2025.* . Puyo.
- GADPPz, G. A. (2012). *Clasificación de Suelos de Pastaza.* Pastaza.
- Gil-Stores., F., Trasar-Cepeda., C., Leiros., M., & Seoane., S. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 877-887.
- Goujard, O., & Bayón, C. (2014). Importancia del potasio y el magnesio en la minimización del estrés provocado por sequía. *Vida rural, 1.*, 82-84.
- Guzmán, H., & Garcia, E. (2002). Mercury levels in coral reefs along the Caribbean coast of Central America. *Marine Pollut. Marine Pollut. Bul.l.*, 1415-1242.

- INIAP-PROMSA. (2003). *Determinación de metales contaminantes en cultivos de exportación y su repercusión sobre la calidad de los mismos*. . Quevedo.
- Jerome, Rosembert, L., Lawrence, & Epstein. (1991). *Química General*. España : McGrew Hill
- Kabata-Pendías, S., & Pendías, H. (2002). *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton, Florida.: CRC Press.
- Lipianin, A., & Alexey, D. (2016). *EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO, ALUMINIO Y COBRE EN AGUAS, SUELOS Y SEDIMENTOS DE LA RESERVA BIOLÓGICA LIMONCOCHA PARA ESTABLECER LA LÍNEA BASE, 20152016*.
- López-Tejedor., I., Sierra., M., Rodríguez., J., & Millan., R. (2010). *Estudio de la Absorción y Distribución del mercurio en Nerium Oleander L. en la ribera del río Valdezogues(Estación de Chillón-Almadén)*. . Madrid-España: CIEMAT .
- Lozada., J., Soriano., P., & Costa., M. (2014). Relaciones suelo-vegetación en una toposecuencia del Escudo Guayanés, Venezuela.
- MAE. (2008). *Ministerio del Ambiente del Ecuador*. Puyo.
- Martínez, K., Souza, V., Bucio, L., Quiroz, L., & Gutiérrez, M. (2013). Cadmio efectos sobre la salud Respuesta celular y molecular. *Acta Toxicológica Argentina* 21, 33-49.
- Martínez, X. (2004). *El mercurio como contaminante global Desarrollo*. Barcelona.
- Martínez., K., Souza., V., Bucio., L., Quiroz., L., & Gutiérrez., M. (2012). La respuesta de haba(Vicia faba, L.) cultivada en un suelo contaminado con diferentes concentraciones de cadmio. . *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* , 119-126.
- Murillo., J., Rodríguez., G., Roncallo., B., Amparo Rojas., L., & Bonilla., R. R. (2014). Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados. *Pastos y Forrajes*, 37., 270-278.
- NG, S. (1972). The oil palm: It is culture, manuring and utilisation. . *BM*, 145.
- Norberg, G. (2009). Historical perspective aon cadmium toxicolog. . *Toxicol Appl.* , 192-200.

- OMS. (2017). *El Mercurio y la Salud*.
- Orozco, C., Gonzales, N., Rodriguez, F., & Alfayate, J. (2003). Contaminación Ambiental una visión desde la química. *Ediciones Paraninfo*.
- Patra., M., & Scharma., A. (2000). Mercury toxicity in plants. *The Botanical Review* 66(3), 379-422 .
- PDOT, .. G. (2009). *Distintos Usos del suelo*. Pastaza.
- Pérez, R. D. (2014). Posibilidades de producir hortalizas en la Región Amazónica. *Agroecología*, 64.
- Pérez, V., Szott, T., & Swisher, E. (1996). Macrofauna edáfica asociada a diferentes agroecosistemas como bioindicador de calidad del suelo. *Memorias del II Simposium Internacional en Agricultura Sustentable.*, 189-192.
- Pisuña, P., & Manuel, J. (2015). *Biofortificación agronómica de la papa (solanum tuberosum l.) Mediante la aplicación de zinc (Zn) al suelo y follaje*.
- Pla, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos. Dificultades y errores más frecuentes. I-Propiedades mecánicas. *Suelos Ecuatoriales*, 40(2)., 75-93.
- Russell, E. (1969). *Soil condition and plant growth* . New York : John Willey.
- Sabroso G, C., & Pastor E, A. (2004). Guía sobre suelos contaminados.
- Sadeghian, S. (2016). *La acidez del suelo una limitante común para la producción de café*. cafetera central de Colombia. *RIAA*, 6(1)., 29-42.
- Salazar, J. C., Burgos, E. R., & Bautista, E. H. (2015). Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Acta Agronómica*, 64(4)., 342.
- Salazar, L. A., Valencia, N. R., & Khalajabadi, S. S. (2015). Disponibilidad de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> en función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia. *RIAA*, 6(1)., 29-42.

- Salazar., J. C., Burgos., E. R., & Bautista., D. E. (2015). Salazar, Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Acta Agronómica*, 64(4), 342.
- Sánchez, J. (2007). *Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas*. FERTITEC SA.
- Toledo., D. M., Galantini., J. A., Ferreccio., E., Arzuaga., S., Gimenez., L., & Vázquez., S. (2013). Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. *Ciencia del suelo*, 31(2), 201-212.
- Tarazona, J. (2014). *Pollution, Soil. Encyclopedia of Toxicology*. Ámsterdam: Elsevier .
- Troeh, L. M. (1998). Suelos . En L. M. Troeh, *Los suelos y su fertilidad* (pág. 1). España : Editorial Reverte, S. A.
- TULSMA, T. U. (2015). *Contaminacion del Suelo*. Quito.
- USDA-NRSC-SQI. (2001). *Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning*. Estados Unidos.
- WWF. (2018). *Mercurio tóxico envenena la Amazonía, advierte nuevo informe*. Washington, DC 20037.