

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

CENTRO DE POSTGRADOS



MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN SISTEMAS AGROPECUARIOS

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MAGISTER EN AGRONOMÍA MENCIÓN SISTEMAS AGROPECUARIOS

INFLUENCIA DE LA EDAD DEL CULTIVO DE PITAHAYA (*Selenicereus  
magalanthus* Haw), SOBRE LA CALIDAD DEL RECURSO SUELO EN LA  
PARROQUIA SANGAY, CANTÓN PALORA

AUTOR

ING. JULIO CÉSAR MACAS RAMÍREZ

DIRECTOR

ING. SANDRA SORIA RE. MSC.

CODIRECTOR

ING. CRISTIAN SUBÍA GARCÍA. MSC.

PUYO – ECUADOR

2021

## **Declaración de Autoría y Cesión de Derechos**

Según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, en esta sección el autor certifica libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de Innovación son de su exclusiva responsabilidad y que los resultados derivados del proceso de investigación son propiedad de la Universidad Estatal Amazónica.

Ing. Julio César Macas Ramírez

CI: 1719076091

## **Certificado de aprobación por Tribunal de Sustentación**

El Tribunal de sustentación del Proyecto de Innovación estará conformado por tres miembros, acorde al Reglamento de Posgrado de la Universidad Estatal Amazónica y certificará por escrito la aprobación o no del proyecto denominado “INFLUENCIA DE LA EDAD DEL CULTIVO DE PITAHAYA (*Selenicereus magalanthus* Haw), SOBRE LA CALIDAD DEL RECURSO SUELO EN LA PARROQUIA SANGAY, CANTÓN PALORA” ejecutado por el maestrante Julio Cesar Macas Ramírez.

Dr. C. Carlos Bravo Ph. D.

**PRESIDENTE DE TRIBUNAL**

Dr. C. Reinaldo Alemán. Ph. D.

**MIEMBRO DE TRIBUNAL**

Dr. C. Luis Bravo. Ph. D.

**MIEMBRO DE TRIBUNAL**



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA  
CENTRO DE POSTGRADOS  
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND**

**OFICIO Nº 012-SSR-UEA-2020**

Puyo, 5 de marzo del 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que, el trabajo de titulación “**Influencia de la edad del cultivo de pitahaya (*Selenicereus magalanthus* Haw), sobre la calidad del recurso suelo en la Parroquia Sangay, Cantón Palora**”, correspondiente a la Ing. **ING. JULIO CÉSAR MACAS RAMÍREZ**, con cédula 1719076091, de la maestría en Agronomía Mención Sistemas Agropecuarios cuya directora del proyecto es la Ing. Sandra Luisa Soria Re, Ms.C. Proyecto que ha sido revisado mediante el sistema antiplagio Urkund, reportando una similitud del 2%, informe generado el día 05 de marzo del 2021 por parte de la directora del proyecto.

Particular que comunico para los fines pertinentes

---

Ing. Sandra Soria Re, Ms.C.  
**DIRECTORA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN**






## Document Information

---

Analyzed document	Tesis MACAS JULIO Pitahaya para urkund.docx (D97350395)
Submitted	3/5/2021 3:37:00 PM
Submitted by	
Submitter email	ssoria@uea.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	ssoria.uea@analysis.orkund.com

## Sources included in the report

---

<b>W</b>	URL: <a href="https://core.ac.uk/download/pdf/71397862.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/71397862.pdf</a> Fetched: 5/15/2020 6:59:19 PM	 2
<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Frank Goyes_URKUND.docx</b> Document Frank Goyes_URKUND.docx (D44287475) Submitted by: cbravo@uea.edu.ec Receiver: cbravo.uea@analysis.orkund.com	 1
<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / TESIS FINAL-TALIA Y DAJHANAUrkund.docx</b> Document TESIS FINAL-TALIA Y DAJHANAUrkund.docx (D63056570) Submitted by: dajhana0496@gmail.com Receiver: cbravo.uea@analysis.orkund.com	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.unan.edu.ni/5229/1/6065.pdf">https://repositorio.unan.edu.ni/5229/1/6065.pdf</a> Fetched: 8/6/2020 5:54:37 AM	 1
<b>SA</b>	<b>Jefferson Herrera - Tesis 26.11.2018.docx</b> Document Jefferson Herrera - Tesis 26.11.2018.docx (D44761095)	 1

## **Agradecimiento**

A la Universidad Estatal Amazónica y su personal docente, por los valiosos conocimientos impartidos, en el programa de Maestría en Agronomía, mención Sistemas Agropecuarios.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP, Estación Experimental Central de la Amazonía.

A los ingenieros Sandra Soria Re, Carlos Bravo, Cristian Subía, director y codirector del proyecto, por sus acertadas recomendaciones para el desarrollo de esta investigación.

A los Ingenieros, Carlos Caicedo, Cristian Subía, Director y técnicos investigadores del INIAP - EECA, por su incondicional y desinteresado apoyo.

A los Señores César Delgado, Robinson Delgado, Floresmilo Rojas, por la colaboración logística en la finca Alexandrita, El Lobito y El Porvenir, donde se desarrolló el proyecto de investigación, fundamental para la ejecución de campo.

A los compañeros de la Granja Experimental Palora del INIAP, por su apoyo fundamental para cumplir con cada actividad a ejecutarse en el proyecto de investigación.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron para que este proyecto de investigación se realizara.

A todos Gracias...

# Dedicatoria

A DIOS

A mis venerados padres, Uberto y Rosita, quienes en la gloria del Creador se encuentren, cimientos fundamentales del buen ejemplo y disciplina, para formarme como un hombre de bien.

A mi amada esposa e hija, Angélica y Brenda, pilares fundamentales de mi hogar.

A mis Hermanas, Mónica, Cecilia, Amada. A mis Hermanos Gabriel, Marco, y Álvaro Rigoberto.

A ellos gracias por su confianza

A todos, gracias...

## Resumen Ejecutivo

El cantón Palora, cuenta con plantaciones de pitahaya desde hace 25 años; sin embargo, en la última década, el área de siembra del cultivo se ha potencializado por la alta aceptación de la fruta en mercados internacionales; por ello es imperativo valorar la incidencia positiva o negativa de la edad del cultivo sobre las cualidades del recurso suelo. El objetivo de la investigación fue determinar el índice de calidad del suelo (ICS) en diferentes edades del cultivo, mediante tres pasos: 1) Selección de un conjunto mínimo de indicadores (CMI); a) físicos: textura. b) químicos: contenido nutricional del suelo. c) biológicos: esporas de micorrizas en suelo, biomasa y abundancia de lombrices. 2) Selección del conjunto mínimo de indicadores; y 3) Cálculo del valor integrado del ICS. Para seleccionar los indicadores representativos para el CMI se utilizó un análisis de componentes principales (ACP) y el coeficiente de correlación de Pearson, se identificó seis edades de establecimiento del cultivo, cuatro, cinco, siete, 10, 15 y 20 años, en contraste con el suelo de un bosque secundario y dos profundidades de muestreo de 0 a 15 y de 15 a 30 cm, se evaluó tres fincas adyacentes, manteniendo el criterio de homogeneidad de acuerdo a la génesis del suelo. Se identificaron dos componentes principales que explicaron el 67,21% de la variabilidad. El componente principal 1 y 2 explicaron el 41,88% y 25,85% de la varianza asociado a los indicadores químicos, como el pH, Ca, P, Suma de bases, Mo y NH<sub>4</sub> determinando así la alta sensibilidad de estos elementos al cambio del uso de suelo, profundidad y edad del establecimiento, lo que involucra la aplicación de complementaria de nutrientes para satisfacer las necesidades del cultivo. El índice de calidad de suelo oscila entre 0,65 y 0,28 para el cultivo de 10 años y bosque secundario respectivamente, la capa inferior de 15 a 30 cm no presentó diferencias estadísticas significativas.

Palabras clave: Muestreo, pitahaya, conservación de suelo, propiedades del suelo.



## **Abstract**

The Palora canton has had pitahaya's plantations for 25 years; however, in the last decade, the cropping area has increased by the high acceptance of the fruit in international markets. Faced with this event, it is imperative to assess the positive or negative impact of the crop age on the qualities of the soil resource. Based on this, the objective of this research was to determine the soil quality index (ICS) at different ages of the pitahaya crop, through three steps: 1) Selection of a minimum set of indicators (MIC); a) physical: texture. b) chemicals: nutritional content of the soil. c) biological: mycorrhizal spores in soil, biomass and abundance of earthworms. 2) Selection of a minimum set of indicators; and 3) Calculation of the integrated value of the ICS. The representative indicators for the MIC were selected, a principal component analysis (PCA) and the Pearson correlation coefficient were applied. Six ages of establishment of the crop were identified, four, five, seven, 10, 15 and 20 years, in contrast to the soil of a secondary forest and two sampling depths of 0 to 15 and 15 to 30 cm, three adjacent farms, maintaining the criterion of homogeneity according to the genesis of the soil. Two main components were identified that explained 67,21% of the variability. The main component 1 and 2 explained 41,88% and 25,85% of the variance associated with the chemical indicators, such as pH, Ca, P, Sum of bases, Mo and NH<sub>4</sub>. Thus determining the high sensitivity of these elements to change in soil use, depth and age of the establishment, which involves the application of complementary nutrients to satisfy the needs of the crop. The soil quality index oscillates between 0,65 and 0,28 for the 10-year-old crop and secondary forest respectively, the lower layer of 15 to 30 cm did not present significant statistical differences.

**Keywords:** Sampling, pitahaya, soil conservation, soil properties

## Índice general

Introducción.....	1
Problema Científico.....	3
Hipótesis de la Investigación.....	3
Objetivos.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos .....	3
Marco Teórico .....	4
Generalidades del cultivo de la pitahaya .....	4
Indicadores de la calidad de recurso suelo.....	5
Sistemas de producción agrícola y su impacto en la calidad del recurso suelo.....	7
Metodología de la investigación.....	10
Localización.....	10
Tipo de investigación.....	11
Método de investigación.....	11
Tratamiento de datos.....	12
Factores en estudio.....	12
Tratamientos .....	12
Diseño del experimento .....	12
Esquema de análisis .....	13
Análisis estadístico .....	13
Muestreo y análisis de suelo.....	14
Indicadores físicos del suelo.....	14
Indicadores químicos del suelo.....	14
Indicadores biológicos del suelo.....	14
Resultados y Discusión.....	17
Análisis de normalidad .....	17
Indicadores físicos del suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya.....	18

Indicadores biológicos del suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya.....	19
Indicadores químicos del suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya.....	24
Correlaciones entre las variables de los componentes físicos, químicos y biológicos de 0 a 15 cm de profundidad .....	51
Correlaciones entre las variables de los componentes físicos, químicos y biológicos de 15 a 30 cm de profundidad. ....	43
Análisis de componentes principales.....	45
Índice de la calidad de suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya .....	45
Conclusiones y recomendaciones.....	48
Conclusiones .....	48
Recomendaciones .....	48
Bibliografía.....	49

## Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de las unidades experimentales.....	10
Figura 2. Abundancia de lombrices en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	21
Figura 3. Biomasa de lombrices en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	22
Figura 4. Espora de micorrizas en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	24
Figura 5. pH en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm. ....	26
Figura 6. Contenidos de nitrógeno amoniacal en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	27
Figura 7. Fósforo disponible en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm. ....	29
Figura 8. Contenido de potasio intercambiable en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	30
Figura 9. Contenido de calcio intercambiable en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	32
Figura 10. Contenido de magnesio intercambiable en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	33
Figura 11. Contenido de azufre en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	35
Figura 12. Contenido de zinc en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	37
Figura 13. Contenido de cobre en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	39
Figura 14. Contenido de hierro en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	41
Figura 15. Contenido de manganeso en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	42
Figura 16. Sumatoria de bases en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	44

Figura 17. Contenido de Boro en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	45
Figura 18. Contenido de materia orgánica en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	46
Figura 19. Relación calcio sobre magnesio en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	48
Figura 20. Relación magnesio sobre potasio en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.....	49
Figura 21. Relación calcio más magnesio sobre potasio en los suelos de 0 a 15 cm de profundidad en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya.....	51
Figura 22. Índice de la calidad para las dos profundidades del suelo en las diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya.....	47

## Índice de tablas

Tabla 1. Ubicación de las unidades experimentales para la determinación de la influencia de la edad del cultivo de pitahaya, sobre la calidad y fertilidad del recurso suelo.....	11
Tabla 2. ANOVA para la determinación de la influencia de la edad del cultivo de pitahaya, sobre la calidad y fertilidad del recurso suelo. ....	13
Tabla 3. Prueba de normalidad para las variables en la determinación de la influencia de la edad del cultivo de pitahaya, sobre la calidad y fertilidad del recurso suelo. ....	17
Tabla 4. Valores medios y coeficiente de variación de la textura del suelo de 0 a 15 y de 15 a 30 cm de profundidad en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya...	19
Tabla 5. Correlaciones entre las variables de los componentes físicos, químicos y biológicos de 0 a 15 cm de profundidad .....	42
Tabla 6. Correlaciones entre las variables de los componentes físicos, químicos y biológicos de 15 a 30 cm de profundidad .....	44
Tabla 7. Matriz de ACP de los factores asociados a la calidad de suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya. ....	45

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador predominan tres grandes sistemas de producción agrícola, el primero un sistema mixto y de plantación costera, el segundo un sistema mixto de montaña en los Andes y el tercero un sistema amazónico, un sistema basado en recursos forestales. La tala indiscriminada en la Región Amazónica del Ecuador ha permitido la expansión de la frontera agrícola dando lugar a explotaciones extensivas de pastizales para las ganaderías de carne y leche, palma africana, cacao, café, arroz, maíz, pitahaya, (FAO, 2009). Esta agricultura intensiva con incrementos significativos de productividad ha desencadenado degradación ambiental, con el uso indiscriminado de pesticidas, causando erosión y salinización del suelo (Altieri, 1999).

La degradación del recurso suelo se ve afectada por la agricultura convencional, más aún la comprensión de estos sistemas de producción permitirá identificar claves ecológicas para un manejo sustentable de tal recurso (Martin & Adad, 2006). Este deterioro se debe al manejo inadecuado de los agroecosistemas con fines de producir alimentos y productos para la sociedad, generando en mayor o menor medida cambios y deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y su efecto en la producción (Lal, 2000).

A pesar de la importancia para la vida, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad. Por lo tanto, es imperativo preservar e incrementar la calidad del suelo siendo útil contar con una sólida concepción de la calidad y sus indicadores de calidad del suelo así como su manejo sostenible (Cruz, Barra, Castillo & Gutiérrez, 2004).

Karlen et al. (1997) definieron el concepto de calidad de suelo, como la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o intervenido, con el fin de sostener la productividad animal y vegetal, mantener y aumentar la calidad del agua y aire, y soportar las actividades antropogénicas. Los indicadores de la calidad se miden para dar seguimiento a los efectos del manejo del cultivo sobre el funcionamiento del suelo en un periodo dado (Astier, Maass & Etchevers, 2002). La

diversidad de las comunidades edáficas es una herramienta útil para monitorear la calidad del suelo en el tiempo, conjuntamente con los indicadores físicos y químicos (Bedano, 2011).

En Ecuador las frutas no tradicionales ganan espacios en los mercados internacionales, como el caso de la pitahaya, se encuentra distribuido a nivel nacional en provincias de la Costa, Sierra y Amazonía. En el cantón Palora, las plantaciones datan del año 1995, en la actualidad existen aproximadamente 1 800 hectáreas del cultivo establecidas alrededor de 600 productores estratificados entre pequeño productor, 2 a 3 hectáreas (85%), mediano de 3 a 6 hectáreas (10%) y grande mayor a 6 hectáreas (5%) de acuerdo a los reportes de Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2018) con un rango de producción anual de 10 y 16 mil kilogramos de fruta fresca, aportando a la economía ecuatoriana por exportaciones con 36.17 y 42 millones de dólares para el 2018 y 2019 respectivamente, siendo Estados Unidos y Hong Kong los principales importadores (MAG, 2018).

La creciente demanda en mercados internacionales ha permitido el incremento de áreas de producción, principalmente bajo producción convencional, incrementando la frontera agrícola, este cambio agresivo del uso de suelo conllevará a un acontecimiento primario de la degradación de la fertilidad natural, generando así la necesidad de desarrollar métodos para evaluar la calidad del recurso, que involucren propiedades químicas, físicas y biológicas y tengan en cuenta la interrelación funcional de estos atributos y su dinámica en función de los usos del suelo. Los indicadores mencionados, son de gran utilidad para el monitoreo del efecto de los sistemas de uso de suelo sobre algunas de sus propiedades, lo cual es esencial para el diseño de sistemas productivos sostenibles que maximicen los efectos positivos de las prácticas agrícolas implementadas.



## **Problema Científico**

¿Cómo la edad del cultivo de pitahaya afecta a los indicadores físicos, químicos y biológicos asociados a la calidad del suelo?

## **Hipótesis de la Investigación**

La edad del cultivo de pitahaya genera cambios en los indicadores físicos, químicos y biológicos asociados a la calidad del suelo.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Determinar el índice de calidad de suelo en diferentes edades del cultivo de pitahaya y el uso con el bosque, mediante el análisis de indicadores físicos, químicos y biológicos en la parroquia Sangay, cantón Palora.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar los componentes principales asociados a los indicadores físicos, químicos y biológicos del recurso suelo en el cultivo de pitahaya a diferentes edades y el uso con el bosque.
- Obtener un índice de la calidad del suelo mediante el análisis de los componentes principales físicos, químicos y biológicos del suelo en el cultivo de pitahaya de distintas edades y el uso con el bosque.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### **Generalidades del cultivo de la pitahaya**

La Pitahaya es una fruta exótica tropical, ampliamente distribuida en América e incluso presente en el continente asiático. En el Ecuador se ha cultivado especies introducidas desde Colombia, pero hace algunos años se identificó la especie *Cereus* sp. (Cactaceae) registrada como especie nativa del Cantón de Palora, Provincia Morona Santiago (Huachi, Yugsi, Paredes, Coronel, Verdugo & Coba., 2015). Sin embargo la clasificación botánica es compleja, destacando cuatro géneros representativos a la denominada pitahaya, *Stenocereus* sp., *Selenicereus* sp., *Hylocereus* sp., *Cereus* sp. (Le Bellec et al., 2006). Así también Trujillo (2014) identifica dos ecotipos: el “Pichincha”, al cual también lo llaman variedad “Colombiana” y el ecotipo “Palora”. Morillo, Tovar & Morillo (2017) hacen referencia a la pitahaya amarilla como (*Selenicereus megalanthus* Haw.) una cactácea silvestre, originaria de América Central y parte de Sudamérica, encontrándose distribuida en Bolivia, Perú, Colombia, Venezuela y Ecuador.

Actualmente en el cantón Palora existe una extensión de 1800 hectáreas sembradas (MAG, 2018). La pitahaya se considera como fruta tropical rentable para exportación por sus cualidades morfológicas y nutricionales (Huachi et al., 2015). El cultivo de pitahaya posee un sistema de manejo convencional con alto uso de productos fitosanitarios y fertilizantes, ocasionando consecuencias negativas como, costos elevados, desarrollo de resistencia a los productos químicos por parte de las plagas y/o enfermedades; y, degradación biológica del suelo, este sistema de producción genera un conflicto con el uso natural y su fertilidad del suelo y el drástico cambio del uso de suelo (Del Puerto, Suárez & Estrada, 2014; Nieto & Caicedo, 2012). En la actualidad los mercados requieren fruta con mejores características y con certificación de haber sido producidas con buenas prácticas agrícolas (BPA) propuestas por agrocalidad y las Global GAP que incluyen además de las BPA a las prácticas de postcosecha y manejo del producto hasta que es retirado de la unidad productiva propuesto por la “Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro” (AGROCALIDAD,

2009; Valverde, 2019) que garanticen una producción limpia, ecológica y socialmente equitativa, lo que significa el cambio de mentalidad del agricultor hacia sistemas de producción conservacionista, de protección del suelo, de la materia orgánica (MO), análoga con el bosque bajo sistemas agroforestales (Cotler, Sotelo, Domínguez, Zorrilla, Cortina & Quiñonez., 2007).

## **Indicadores de la calidad de recurso suelo**

El recurso suelo es un componente fundamental del proceso productivo a nivel de finca (Bravo et al., 2015; Ashman y Puri, 2001). El suelo es un sistema vivo, dinámico y no renovable, cuya condición y funcionamiento es clave para la producción de alimentos y para el mantenimiento de la calidad ambiental a escalas local, regional y global (Bravo et al., 2015).

La calidad del suelo y sus definiciones han evolucionado a través del tiempo, y se basan en la multifuncionalidad del recurso y no sólo en un uso específico, pero este concepto continúa progresando (Singer & Ewing, 2000). Así también el concepto de calidad de suelo está asociado a dos factores fundamentales: las propiedades inherentes y las dinámicas del suelo (Karlen et al., 2003).

Los indicadores de calidad del suelo deben basarse en el uso de este recurso y en la relación entre los indicadores y la función del suelo que se evalúe, deben considerarse propiedades edáficas que cambien en un periodo de tiempo relativamente corto (Bautista et al., 2004). Schoenholtz, Miegroet & Burger (2000), mencionan que además del tiempo que modifica las propiedades de los suelos, es importante considerar interconexión entre los parámetros químicos y biológicos en los suelos, puesto que resulta complejo separar las funciones del suelo en procesos químicos, físicos y biológicos, dada su naturaleza dinámica e interactiva, como consecuencia se tiene, por ejemplo, que el contenido de nitrógeno mineralizable pueda ser contemplado como un indicador químico y microbiológico.

Así mismo, éstos indicadores representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición y deben considerárselos como instrumentos de

análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos (Dumanski, Gameda & Pieri. 1998; Adriaanse, 1993).

Los indicadores deben permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible (Hünne Meyer, De Camino & Müller, 1997; Astier, Mass-Moreno & Etchevers, 2002 y Bautista et al., 2004).

La calidad de los suelos lo determinan sus componentes físicos, químicos y biológicos, y sus interacciones, la textura del suelo tienen relación proporcional con la densidad aparente, la retención de humedad, la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad de nutrientes, la porosidad, y la actividad biológica (Pla, 1983; Pla, 2010; Bravo et al., 2018).

Los indicadores físicos del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer & Ewing, 2000). La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad (Pla, 1983; Blake & Hartge, 1986).

Los indicadores biológicos refieren a la abundancia y subproductos de macroorganismos como nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos y microorganismos como bacterias y hongos, de acuerdo a lo expresado por “The Soil Quality Institute (SQI, 1996; Karlen et al., 1997). Un claro ejemplo de la salud del suelo son las micorrizas arbusculares (MA), poblaciones microbianas que influyen sobre el crecimiento de las plantas y la productividad del suelo. Esta asociación microbiana genera beneficios como tolerancia a la sequía y pueden aumentar la absorción de nutrientes por las plantas (Garg, 2010). Los factores limitantes para el desarrollo de estas asociaciones se basan principalmente en la presencia de más poblaciones de otros microorganismos de suelo, las prácticas agrícolas como la tala de bosques, fuego, fertilización y labranza (Pérez, Rojas & Montes, (2011). En base a ello las micorrizas son un importante factor biológico dentro de la estructura y funcionamiento de

los suelos e inciden sobre el comportamiento ecológico, productividad y composición de comunidades vegetales naturales, así como de cultivos agrícolas y plantaciones forestales.

Los indicadores químicos de calidad de suelo son el resultado de la estabilidad y la salud del suelo, permitiendo en las partículas del suelo mantener una dinámica iónica entre los minerales, éstos se refieren a las condiciones, que afectan las relaciones suelo-planta, la reserva y calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, y la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y los microorganismos (SQI, 1996), entre los indicadores se encuentran la disponibilidad de nutrientes, el contenido de carbono orgánico total y carbono orgánico lábil, el pH, la capacidad de fijación de fosfatos, la conductividad eléctrica, la capacidad de intercambio catiónico, contenido de nitrógeno total y mineralizable y de materia orgánica (Cruz et al., 2004).

Todo tipo de vida depende de la calidad del suelo para su supervivencia, para ello es necesario contar con indicadores que permitan evaluar su calidad, el desarrollo de tales indicadores debe hacerse con base en las funciones del suelo que se evalúan; considerando aquellas propiedades edáficas sensibles a los cambios en el uso del suelo (Bautista et al., 2004).

## **Sistemas de producción agrícola y su impacto en la calidad del recurso suelo**

Los suelos de la Amazonía son suelos poco fértiles, susceptibles al lavado de nutrientes y erosión, explicarían la poca aptitud de la región para actividades agropecuarias convencionales, pero aptos para sistemas productivos análogos al bosque o para sistemas conservacionistas y agroforestales. Por tanto se recomienda fortalecer el sistema de investigación y transferencia agroforestal y forestal, como estrategia de mitigación al cambio climático (Nieto & Caicedo, 2012), así como a la conservación de los recursos no renovables.

Los sistemas de producción agropecuaria convencionales cada día son más vertiginosos, influyen de manera importante en el comportamiento estructural del suelo ya que puede ser modificado, bien sea mejorando su condición o degradándolo (Bravo et al., 2015). El uso persistente de prácticas agrícolas convencionales con base en la labranza extensiva, con

prácticas como el retiro o quema de los residuos magnifican la erosión del suelo degradándose constantemente. El uso persistente de prácticas de producción tradicionales refleja el rápido incremento de los costos de producción, el uso ineficiente de recursos como variedades mejoradas y fertilizantes continúan, a pesar de ello no se logra el incremento potencial en la producción debido a los malos sistemas de manejo de cultivos (Verhulst, François, & Govaerts, 2015).

El uso de prácticas agrícolas intensivas basadas en el uso de altos insumos conlleva a la degradación de los recursos naturales a través de procesos de erosión de suelos, salinización, contaminación con pesticidas, desertificación, pérdida de la fitomasa y por ende reducción progresiva de la productividad (Altieri, 1994).

Es imperativo implementar un nuevo modelo agrario, que permita revitalizar los agroecosistemas, que genere alimentos saludables y la liberación de los sistemas convencionales. Así como también sea una herramienta vital contra el cambio climático (Intriago y Amézcuca, 2016). Según Altieri (2013) mantener la diversidad genética, usar policultivos, agroforestería, cosechar agua, conservar suelos, etc. son estrategias campesinas para minimización el riesgo frente a climas inciertos.

El suelo es un recurso benevolente, es un ente de vida por su alto contenido de materia orgánica, microorganismos, sinergismo entre organismos, lo que genera un sinnúmero de formas de vida. Según Altieri, (2013) un suelo manejado con MO de forma regular, basada en estiércol animal, compost, hojarasca, cultivos de cobertura, rotación de cultivos que aportan grandes cantidades de residuos, etc., es una estrategia clave utilizada por muchos agricultores para mejorar la calidad del suelo. Bautista et al., (2004) mencionan que su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad.

La característica de un suelo con calidad y salud, siempre está relacionado con los factores que lo conforman, hablar de salud es sinónimo de vida, un suelo con actividad microbiana, materia orgánica, diversidad de organismos mantienen una dinámica sinérgica dando lugar a un suelo fértil.

Los factores del manejo tales como la labranza, el manejo de residuos, el contexto ambiental, tal como la temperatura y la precipitación pueden modificar la calidad del suelo por ello se deben comprar atributos bióticos y abióticos del sistema edáfico y de todos los sistemas alternos en el tiempo, siendo útil para determinar el impacto de los sistemas de manejo que se han puesto en práctica durante un periodo de tiempo (Verhulst, François, & Govaerts, 2015)

Los suelos con calidad biológica sin duda contienen altas cantidades de materia orgánica, este medio es el óptimo para el desarrollo de la macrofauna. Según Momo (1993) los factores que limitan la presencia de lombrices son: pH ácidos, contenidos bajos de MO, fósforo asimilable y nitrógeno, factores de perturbación tales como el anegamiento del suelo y la actividad agropecuaria intensa.

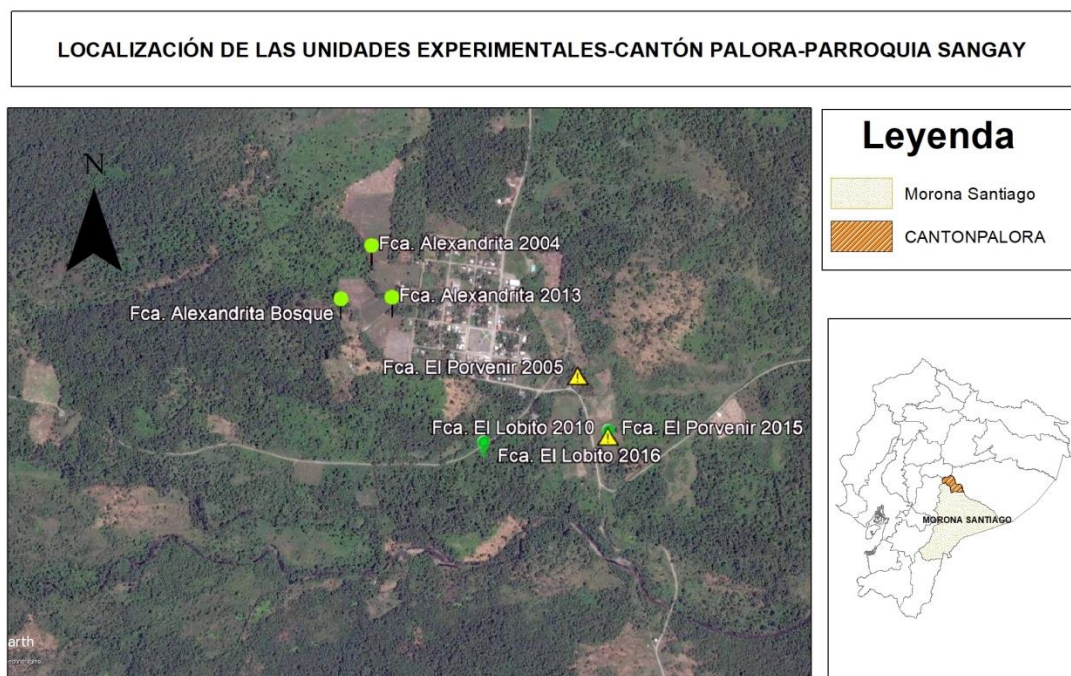
# CAPÍTULO III

## METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### Localización

La investigación se realizó en el área de influencia de la parroquia rural Sangay ubicado 15 km al sur de la ciudad de Palora en las siguientes coordenadas X 168021 Y 9802273 en la zona 18 (figura 1). El área posee un clima húmedo con alrededor de 4 142,07 mm de precipitación anual y una temperatura mínima de 16,9°C y una máxima de 27,6°C. Los suelos, de esta zona corresponden al orden Inceptisol suborden Andepts, gran grupo Hydrandepts. La parroquia Sangay presenta una pendiente suave del 0 al 12 % en la mayor parte del territorio de acuerdo al “Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural Sangay” (PDOT GADPR Sangay, 2015).

En la figura 1 se presenta la ubicación geográfica de las unidades experimentales, consta de tres fincas donde identifica las edades del cultivo.



**Figura 1. Mapa de ubicación de las unidades experimentales.**



## Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental, donde el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar relaciones entre ellas y está basado en la metodología científica. Para cumplir con el objetivo de la investigación se evaluaron variables cuantitativas del suelo, con base en las propiedades físicas (textura), propiedades químicas (contenidos nutricionales) y propiedades biológicas (biomasa y abundancia de lombrices; y, presencia de esporas de micorrizas en el suelo), las cuales permitieron determinar y medir la incidencia de la edad del cultivo de pitahaya sobre la calidad del recurso suelo.

## Método de investigación

Se desarrolló mediante el método experimental, el cual se basa en un muestreo sistemático, donde se evaluaron seis edades del cultivo, más un bosque secundario o en realce. Se monitorearon tres fincas adyacentes cumpliendo los criterios de homogeneidad principalmente en su génesis. En la tabla 1, se presenta la ubicación y características de cada unidad experimental

**Tabla 1. Ubicación de las unidades experimentales para la determinación de la influencia de la edad del cultivo de pitahaya, sobre la calidad y fertilidad del recurso suelo.**

Lote	Siembra	Finca	Área	X	Y	Z
5	2000	Alexandrita	1,60	167610	9802285	987
6	2013	Alexandrita	0,80	167701	9802097	991
Bosque	Bosque	Alexandrita	2,00	167512	9802078	976
1	2005	El Porvenir	1,50	168380	9801876	988
4	2015	El Porvenir	0,80	168506	9801663	983
1	2010	El Lobito	0,70	168508	9801664	984
6	2016	El Lobito	1,10	168053	9801591	994

## **Tratamiento de datos**

### **Factores en estudio**

Los factores en estudio corresponden a la edad del cultivo de las cuales se considera siembra del 2000, 2005, 2010, 2013, 2015, 2016 en contraste con el bosque secundario, y la profundidad del suelo, de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm.

### **Tratamientos**

La edad del cultivo se asumirá como los tratamientos, que corresponde a la interacción de los niveles de cada factor, resultando en 14 tratamientos producto de seis edades del cultivo más el bosque en realce y 2 profundidades de muestreo. Serán representados por los acrónimos cultivo de pitahaya de 4 años (PTH\_4), cultivo de pitahaya de 5 años (PTH\_5), cultivo de pitahaya de 7 años (PTH\_7), cultivo de pitahaya de 10 años (PTH\_10), cultivo de pitahaya de 15 años (PTH\_15), cultivo de pitahaya de cuatro 20 (PTH\_20), y el bosque secundario (BS). Se realizará un muestreo sistemático compuesto de tres muestras por unidad experimental, las que pueden ser consideradas como pseudo-réplicas como consecuencia del espacio físico.

### **Diseño del experimento**

La recolección de los datos obedeció a un muestreo aleatorio sistemático en tres fincas adyacentes, a seis edades de establecimiento y un bosque secundario. Para guardar el principio de homogeneidad en campo se incorporó el monitoreo de variables que permitan determinar la homogeneidad de las unidades experimentales, por lo que la implementación del ensayo respetó las características de topografía, orden de suelo y paisaje, es decir, se buscó mantener la uniformidad dentro de los sitios experimentales que conforman cada repetición (finca).

## Esquema de análisis

En la tabla 2 se presentan el esquema del análisis de varianza (ANOVA) para la determinación de la influencia de la edad del cultivo de pitahaya, sobre la calidad y fertilidad del recurso suelo considerando los tratamientos, repeticiones, el error experimental y el total de tratamientos.

**Tabla 2. ANOVA para la determinación de la influencia de la edad del cultivo de pitahaya, sobre la calidad y fertilidad del recurso suelo.**

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	(t-1) 2
Repeticiones	(r-1) 2
Error	(t-1) * (r-1) 4
Total	8

## Análisis estadístico

Para determinar el índice de calidad del suelo, se realizó un análisis multivariado de Componentes Principales (ACP) utilizando en software SPSS®, cuando más de un indicador sea retenido en un CP, se usará el análisis de correlación de Pearson's para decidir si la variable es redundante y por tanto será necesaria su eliminación ( Bastida, Moreno, Hernandez y García, 2006), para las pruebas de significación estadística se utilizó la prueba de rango múltiple de Tukey al 5% (Pardo y Ruiz, 2002).

Establecida y depurada la base de datos del proyecto de investigación compuesta por 23 variables de los componentes físicos, químicos y biológicos se realizó un análisis de estandarización con la finalidad de no obviar los supuestos de normalidad multivariada, diferentes expertos en metodología recomiendan el uso de pruebas no paramétricas cuando los datos sobre los que se trabaja no cumplen dichos supuestos (Zimmerman, 1998).

## **Muestreo y análisis de suelo**

Para la determinación de los indicadores físicos se utilizó técnicas de campo y de laboratorio realizados en la Estación Experimental Central de la Amazonía (EECA) del INIAP.

### **Indicadores físicos del suelo**

**Textura del suelo:** la textura fue determinada mediante el método de Bouyoucos, (Beretta, Silbermann, Paladino, Torres, Bassahun, Musselli, & García, 2014)

### **Indicadores químicos del suelo**

Para determinar los indicadores químicos, se realizaron muestreos de suelo, éstos fueron enviados al laboratorio de suelos de INIAP – EECA. Se tomaron tres muestras de suelo por unidad experimental a una profundidad de 0 a 15 y de 15 a 30 centímetros, cada muestra constó de tres submuestras tomadas entre planta y planta.

**Determinación del contenido nutricional del suelo:** Para el amonio ( $\text{NH}_4$ ) y fósforo (P), mediante colorimetría utilizando como extractante el método de Olsen modificado a pH de 8,5, para los elementos calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), por absorción atómica y extractante Olsen modificado a pH de 8,5 (Henríquez Bertsch & Salas, 1995). Para el azufre (S) y boro (B), mediante turbidimetría y colorimetría respectivamente, utilizando como extractante el fosfato de calcio monobásico (Hunter, 1975). Para el pH, mediante el uso del potenciómetro en un medio extractante de suelo - agua, en una proporción 1:2,5. Para la materia orgánica mediante titulación (Black, 1965).

### **Indicadores biológicos del suelo**

Para determinar los indicadores biológicos del recurso suelo se utilizaron técnicas de laboratorio a realizarse en el laboratorio de microbiología del centro de investigación de palma, (CIPAL) de la Asociación de Cultivadores de Palma (ANCUPA), ubicado en el km 43 de la vía Santo Domingo la Concordia.

**Esporas formadoras de micorrizas en suelo:** la determinación de dichas esporas se realizó mediante el método de sedimentación y tamizado en húmedo (Gerdemann y Nicholson, 1963), en tres muestras por unidad experimental que se colectaron de un hoyo de 50\*50 cm y a dos profundidades de 0 a 15 y de 15 a 30 cm. La muestra fue conformada por tres submuestras tomadas entre planta y planta.

**Abundancia y biomasa de lombrices:** para contabilizar la abundancia de lombrices se realizaron tres hoyos de 50\*50 cm a dos profundidades de 0 a 15 y de 15 a 30 cm, por cada unidad experimental, dónde se determinó el número de individuos por m<sup>2</sup> y el peso de las lombrices en g/m<sup>2</sup>. Las muestras se tomaron entre planta y planta.

**El índice de calidad del suelo (ICS):** se determinó en tres pasos (Masto et al., 2008; Zhang et al., 2007) 1) Selección de un conjunto mínimo de indicadores (CMI), obtenidos por el análisis de componentes principales; 2) determinación del puntaje correspondiente al conjunto mínimo de indicadores; y 3) cálculo del valor integrado del ICS. Para seleccionar los indicadores representativos para el CMI se utilizó un análisis de componentes principales (ACP) y el coeficiente de correlación de Pearson's, con autovalores  $\geq 1$  (Andrews et al., 2003). Cuando más de un indicador era retenido en un CP, se usó el análisis de correlación de Pearson's para decidir si la variable era redundante (Bastida et al., 2006) seleccionando la variable con correlación mayor a 0,7 (Andrews et al., 2003). Para la selección del mínimo grupo de indicadores, se utilizó una función de puntuación no lineal para transformar los indicadores de suelo en puntuaciones que variarán entre 0 y 1 (Cantú et al., 2007).

---

$$S=(V_m-V_{\min})/(V_{\max}-V_{\min}) \quad (1)$$

---

Donde: **S** es la puntuación del indicador de suelo; **V<sub>m</sub>** valor medido; **V<sub>min</sub>** valor mínimo descriptivos; **V<sub>mas</sub>** el valor máximo descriptivos. Los valores de pendiente (**b**) de -2,5 y 2,5 se utilizaron para la normalización de los indicadores y responden a la función que mejor representó al indicador utilizado, esto puede ser “cuanto mayor es mejor”, “cuanto menor es mejor” o un “óptimo” respectivamente (Bastida et al., 2006).

Finalmente, con la puntuación de los indicadores y sus valores de ponderación, se calculó el ICS con la ecuación dos (Masto et al., 2008)

---

$$ICS = \sum_{i=1}^n S_i * W_i \quad (2)$$

---

Donde:  $W_i$ : es el valor de ponderación de los indicadores de suelo seleccionados mediante el ACP;  $S_i$  es la puntuación del indicador calculada por la ecuación 1,  $n$  es el número seleccionado en CMI.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los presentes resultados representan los tratamientos compuestos por indicadores físicos, químicos y biológicos de 6 edades de establecimiento del cultivo de pitahaya más el bosque secundario, simbolizados por los siguientes acrónimos, cultivo de pitahaya de 4 años (PTH\_4), cultivo de pitahaya de 5 años (PTH\_5), cultivo de pitahaya de 7 años (PTH\_7), cultivo de pitahaya de 10 años (PTH\_10), cultivo de pitahaya de 15 años (PTH\_15), cultivo de pitahaya de cuatro 20 (PTH\_20), y el bosque secundario (BS).

#### Análisis de normalidad

Mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk resultó que las variables descritas en la tabla 3, presentaron significancia estadística, al no presentar normalidad se procedió con transformación logarítmica de datos.

**Tabla 3. Prueba de normalidad para las variables en la determinación de la influencia de la edad del cultivo de pitahaya, sobre la calidad y fertilidad del recurso suelo.**

Variables	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Arena	0,953	42	0,083
Limo	0,966	42	0,239
Arcilla	0,939	42	0,027
Abundancia	0,673	42	0,000
Biomasa	0,679	42	0,000
Esporas100gss	0,735	42	0,000
pH	0,943	42	0,037
NH4	0,870	42	0,000
P	0,765	42	0,000
K	0,873	42	0,000
Ca	0,782	42	0,000
Mg	0,867	42	0,000
S	0,850	42	0,000
Zn	0,849	42	0,000

<b>Cu</b>	0,983	42	0,771
<b>Fe</b>	0,986	42	0,864
<b>Mn</b>	0,855	42	0,000
<b>B</b>	0,677	42	0,000
<b>MO</b>	0,962	42	0,169
<b>Suma bases</b>	0,791	42	0,000
<b>Ca/Mg</b>	0,721	42	0,000
<b>Mg/K</b>	0,900	42	0,001
<b>Ca+Mg/K</b>	0,829	42	0,000

Diferencias significativas a un nivel de Valor  $P < 0,05$

## **Indicadores físicos del suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya**

La fertilidad física está asociada con la granulometría del suelo, se determinó la textura a dos profundidades del suelo de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm, limo y arena no presentaron diferencias estadísticas en las dos profundidades evaluadas. La tabla 4, evidencia el porcentaje de arcilla en la capa de 0 a 15 cm de suelo, donde presentó tres grupos de clasificación estadística, el cultivo de 15 años de edad presentó mayor porcentaje de arcilla con un 7 % y la menor cantidad de arcilla con 2,33% en las plantaciones de 4 años de edad. A su vez el porcentaje de arcilla en el suelo en la profundidad de 15 a 30 cm, se muestra 2 grupos de clasificación estadística, en la cual el cultivo de 5 años de edad presentó 7,67% y el cultivo de 7 años de edad presentó la menor cantidad de arcilla con 2,33%.

Es importante mencionar que, en la comparación de las dos profundidades evaluadas en el suelo del bosque secundario, mostró una estabilidad en el porcentaje de arcilla tanto en la capa superficial como la profunda siendo de 4% a 4,67% respectivamente. La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla, esta propiedad influye en la fertilidad y la capacidad de retención de agua, aireación y contenido de materia orgánica (FAO, 2016). Un suelo tiene buena textura cuando da la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Ruks et al., 2004). Sin embargo, suelos con altas cantidades de arcillas disueltas en agua pueden ocasionar problemas de



retención de agua; así como mayor compactación (Santos et al., 2010). También Condé et al. (2012) mencionan que un alto porcentaje de arcilla dispersa en agua indica que la solución del suelo es sódica, los poros del suelo se cierran y se forma una capa superficial sellada, lo cual afecta a la infiltración y aumenta el riesgo de erosión. Como sucede en las edades de 5, 10 y 15 años de establecimiento del cultivo de pitahaya lo que iniciaría un proceso de cambio de las propiedades físicas del suelo, en este caso específicamente asociado al contenido de arcillas.

**Tabla 4. Valores medios y coeficiente de variación de la textura del suelo de 0 a 15 y de 15 a 30 cm de profundidad en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya.**

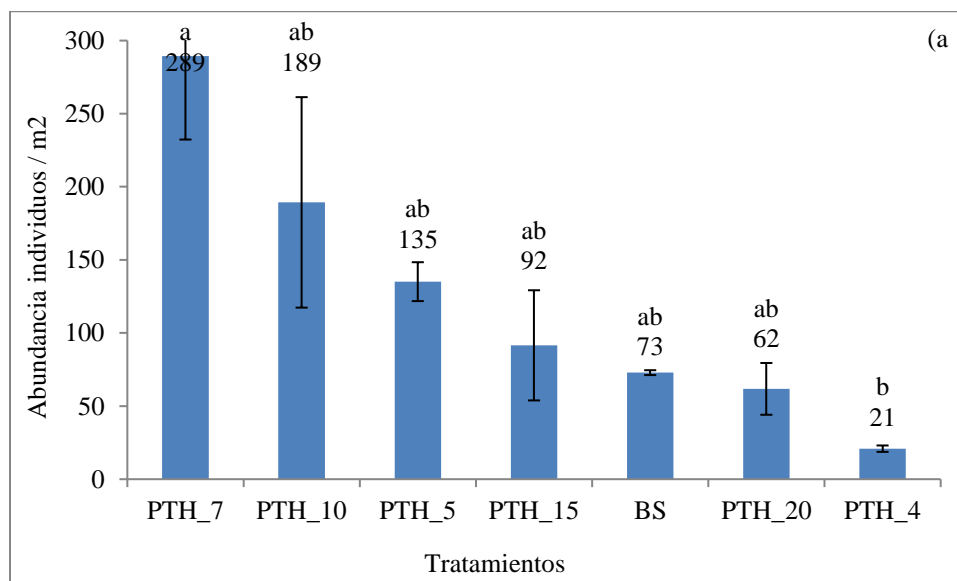
Tratamiento	Arena		Limo		Arcilla	
	0 a 15 cm	15 a 30 cm	0 a 15 cm	15 a 30 cm	0 a 15 cm	15 a 30 cm
<b>PTH_4</b>	79,67 a	75,67 a	17,67 a	21,67 a	2,33 b	2,67 b
<b>BS</b>	76,00 a	70,00 a	20,00 a	25,33 a	4,00 ab	4,67 ab
<b>PTH_10</b>	71,00 a	69,67 a	25,67 a	24,67 a	3,33 ab	5,67 ab
<b>PTH_7</b>	70,67 a	72,67 a	26,33 a	25,00 a	3,00 b	2,33 b
<b>PTH_20</b>	67,33 a	68,33 a	29,67 a	28,33 a	3,00 b	3,33 b
<b>PTH_5</b>	66,33 a	65,00 a	28,67 a	26,33 a	5,00 ab	7,67 a
<b>PTH_15</b>	65,67 a	68,00 a	26,00 a	28,00 a	7,00 a	4,00 b

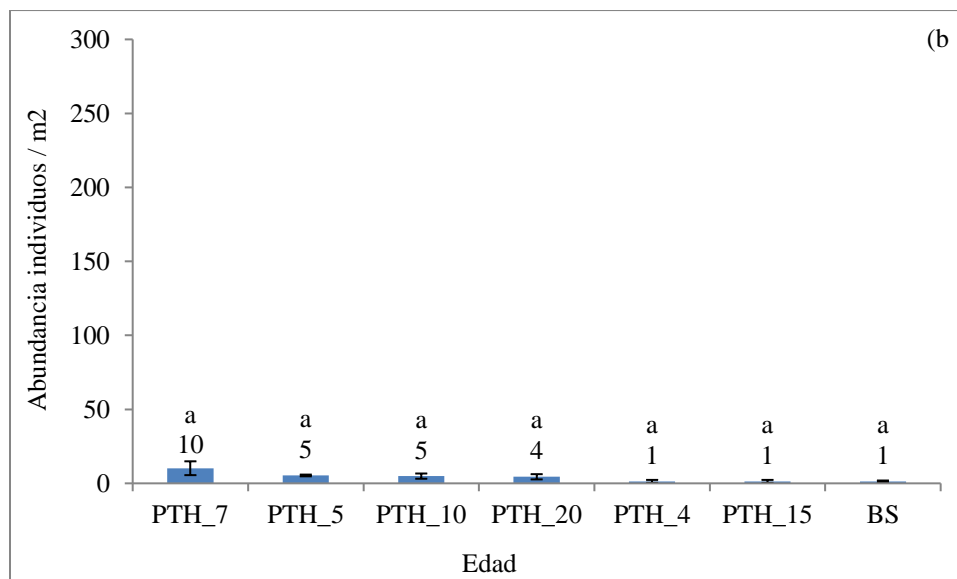
Letras distintas entre tratamientos denotan diferencias significativas a un nivel de  $P < 0,05$

## **Indicadores biológicos del suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya**

Los indicadores biológicos o bioindicadores han tomado fuerza debido a la mayor sensibilidad y rapidez de respuesta frente a las perturbaciones y variables introducidas en el ecosistema suelo y por responder rápidamente a los cambios introducidos en el sistema ocasionados por las prácticas de manejo adecuadas (Murillo et al., 2014), pero también Alkorta et al. (2004) y Breno et al. (2009) determinaron que el manejo inadecuado del suelo, con sistemas de labranza inapropiados, conlleva a la disminución de los microorganismos edáficos.

La variable abundancia de lombrices presentó diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), en la capa superficial de suelo, en la capa inferior no presentó diferencias significativas. En la figura 2a se evidencian el número de lombrices por  $m^2$ , donde el cultivo de pitahaya con edad de 7 años presentó 289 individuos/ $m^2$ , mientras que a los 4 años de edad reportó la menor cantidad con 21 individuos/ $m^2$ . El bosque secundario presenta una cantidad media de 73 individuos/ $m^2$ . En estudios similares referentes al cultivo de pitahaya se revela que el monocultivo presenta mayor presencia de lombrices (Vargas et al., 2018). Así mismo Brown et al. (2001) indican que las prácticas de manejo (fertilización, rotación y uso de agroquímicos) tienen mayor efecto sobre la distribución y abundancia de invertebrados. Además, Esquivel, (1997) señala que los factores que afectan la abundancia de lombrices son la temperatura, factores edáficos y estacionales. Los sistemas agroforestales son un sistema de manejo donde se puede encontrar gran diversidad de macro invertebrados por  $m^2$  con 924 individuos/ $m^2$ , siendo: 3 096 individuos/ $m^2$  de Isopoda, 1 528 individuos/ $m^2$  de Oligochaeta y 724 individuos/ $m^2$  de Isoptera, el área con menor densidad de macro invertebrados fue el bosque, con un total de 784 individuos/ $m^2$  conformada principalmente por 368 individuos/ $m^2$  de Isopoda, Oligochaeta, 192 individuos/ $m^2$  (Tapia et al., 2016).

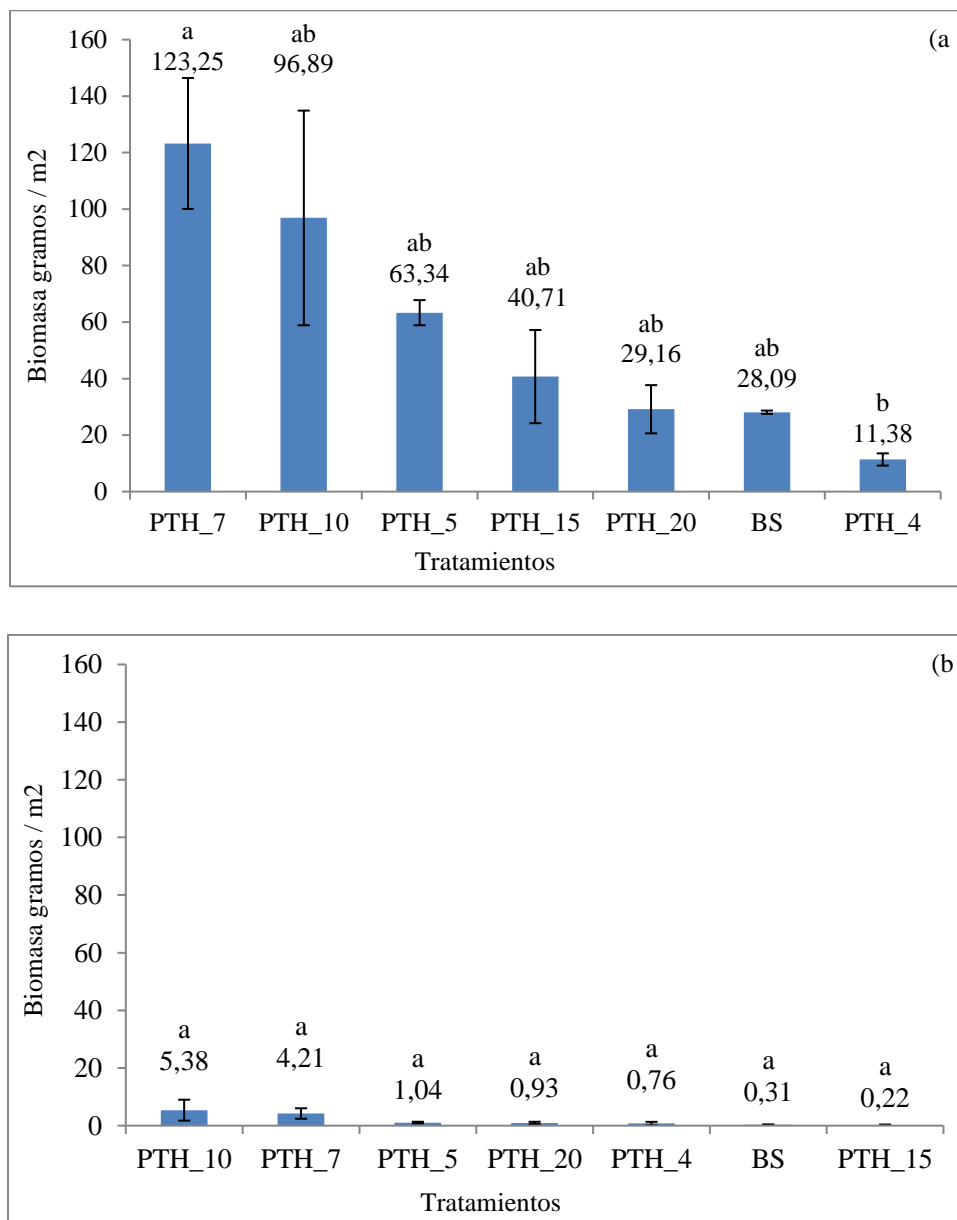




**Figura 2. Abundancia de lombrices en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

Con respecto a la biomasa de lombrices el comportamiento entre los tratamientos fue similar al de abundancia, en la figura 3a, se evidencian diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), donde que el cultivo de 7 años de establecimiento presentó  $123,25 \text{ g/m}^2$  y la edad de 4 años registró  $11,34 \text{ g/m}^2$ . El bosque secundario reportó  $28,09 \text{ g/m}^2$  manteniéndose en niveles medios. En la capa inferior no presentó diferencias significativas, figura 3b. La cobertura vegetal (materia orgánica) y los nutrientes del suelo favorecen la presencia y abundancia de lombrices de tierra (Kalisz & Powell, 2000). Domínguez, Bedano & Becker (2009), encontraron que existe una correlación positiva de 0,61 entre la abundancia de lombrices y el contenido de MO. Al ser el cultivo de pitahaya un cultivo perenne, de manejo convencional, y el que se tiene nula remoción de la cobertura vegetal, el suelo permite la acumulación de materiales orgánicos, ya sea por aplicaciones externas así como por la acumulación de biomasa producida por el manejo agronómico del cultivo, es así que Juárez-Ramón & Fragoso (2014), reportan una mayor abundancia de lombrices de tierra en lugares donde se acumulan materiales orgánicos y en suelos ricos en Ca y Mg; además, la fertilización nitrogenada incrementa la biomasa vegetal, la cual sirve de alimento a las lombrices y la biomasa de residuos de cosecha puede servir como alimento para diversos organismos del suelo (Martínez & Leyva, 2014). Cuando existe reducida cantidad de

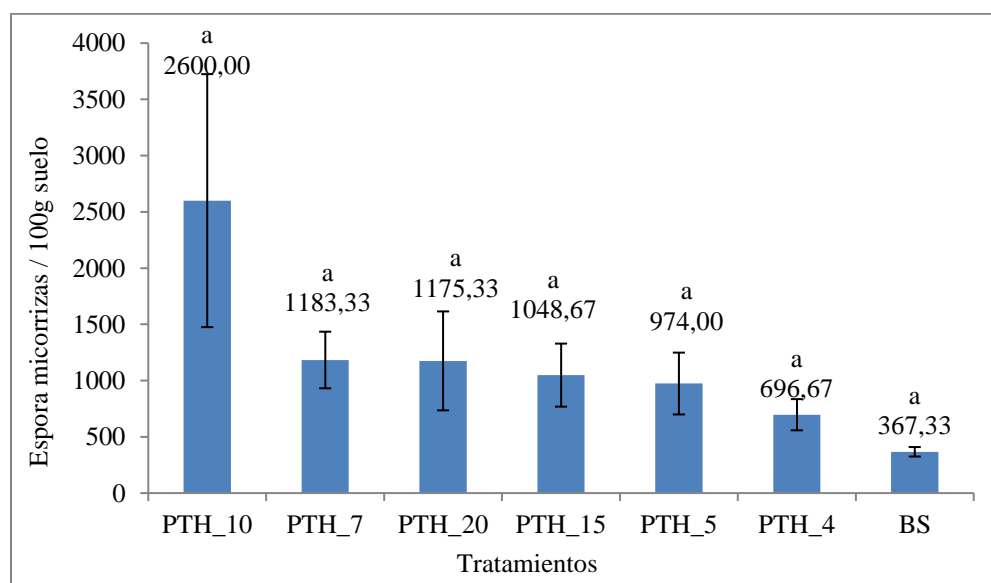
alimento para toda la población en este caso las lombrices, el alimento para cada individuo también disminuye, lo que genera estrés por alimento y no incrementan su biomasa (Sánchez, 2017)

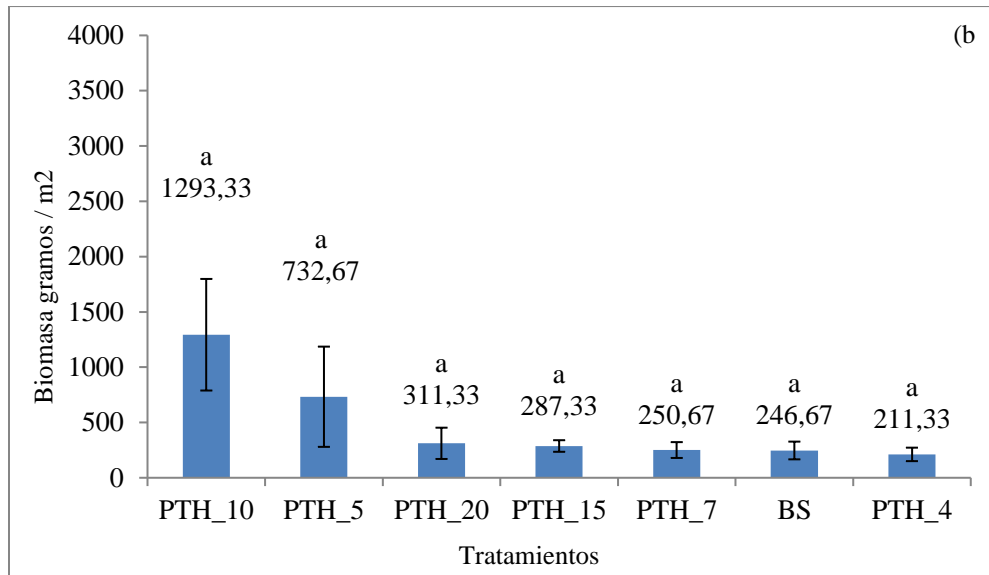


**Figura 3. Biomasa de lombrices en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

Las micorrizas se encuentran ampliamente distribuidas en el suelo amazónico y su relación sinérgica con otros microorganismos favorece la absorción de nutrientes en las plantas

(Garzón, 2016). En la figura 4a y 4b se presenta las esporas de hongos formadores de micorriza arbusculares en suelo, la respectiva variable no presentó diferencias significativas en la capa superficial e inferior del suelo. Sin embargo, el cultivo de pitahaya de 10 años presentó 2 600 esporas/100g de suelo y el bosque secundario 367 esporas/100g. Dentro de la diversidad de micorrizas arbusculares se encuentran ampliamente distribuidas por los trópicos, en el Amazonas se encuentran en el 80% de las plantas vasculares; en menor medida, las ectomicorrizas se hallan entre el 17 y 31% de las plantas (Peña-Venegas et al., 2006). Existe una relación positiva entre los hongos formadores de micorrizas y otros microorganismos del suelo, lo que repercute en la efectividad para llevar a cabo funciones como la remoción de toxinas, la solubilización de fosfatos orgánicos e inorgánicos y la resistencia a patógenos (Garzón, 2016).





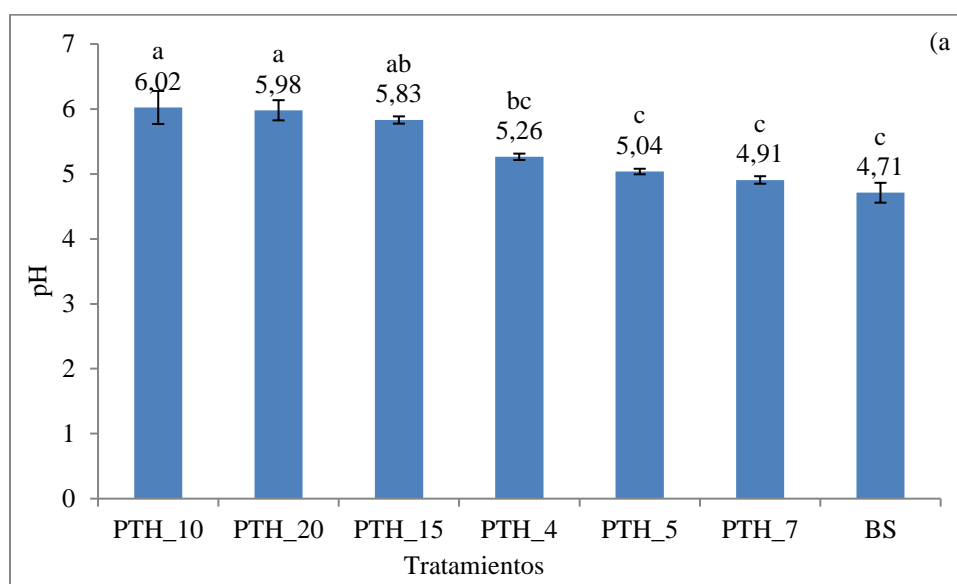
**Figura 4. Espora de micorrizas en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

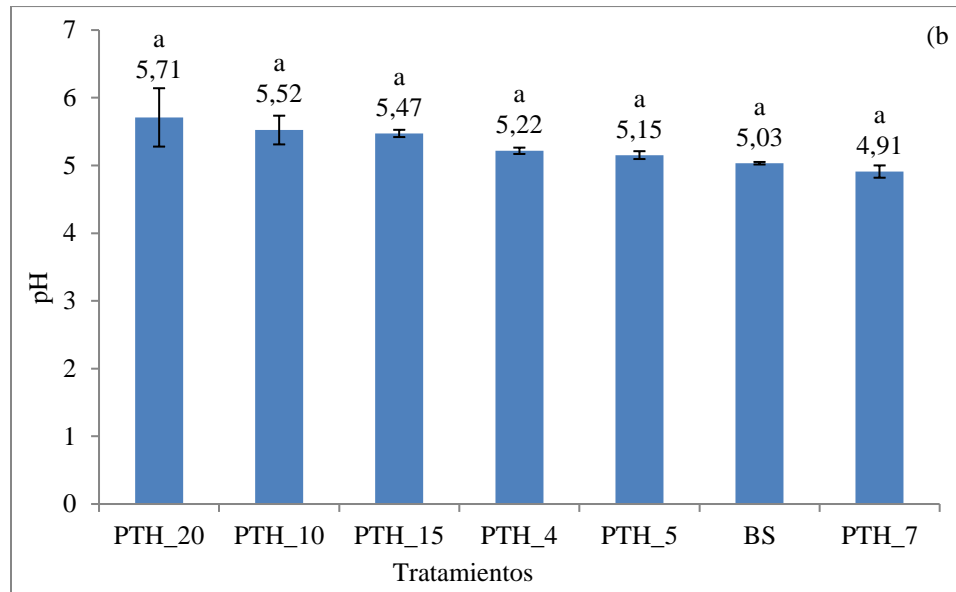
## **Indicadores químicos del suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya**

Dentro de los componentes de la fertilidad química del suelo se evidenció que el pH, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, sumatoria de bases, relación Ca/Mg, relación Mg/K y la relación Ca+Mg/K presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) correspondientes en la capa superficial (0 a 15 cm). A diferencia de la capa inferior (15 a 30 cm), en la cual los elementos químicos que mostraron diferencias estadísticas significativas fueron K, Ca, Mg, S, Cu y Mn.

El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del suelo y controla diversas actividades químicas y biológicas que ocurren en él e influencia indirectamente en el desarrollo de las plantas (Andrades & Martínez, 2014). En la figura 5a se destaca que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la cual el cultivo de 10 años de establecimiento presenta un pH de 6,02 lo que indica que la reacción de este suelo es ligeramente ácida; mientras que el bosque secundario presentó un pH de 4,71 clasificado como suelo ácido. El pH en la capa inferior del suelo no presentó diferencias significativas figura 5b.

Estudios similares realizados en las provincias de Napo y Pastaza mostraron un comportamiento similar en cuanto al potencial hidrógeno en las capas superficiales del bosque con valores de pH correspondiente a 4,84 (Bravo et al., 2017). Los valores observados en las plantaciones de pitahaya de diferentes edades demostraron un comportamiento similar, con pH oscilantes entre 5,98 y 4,91. En el caso del cultivo de pitahaya las prácticas de manejo han permitido a través del tiempo corregir este indicador del suelo, facultando una regulación del pH a escalas apropiadas para favorecer la absorción de nutrientes y para favorecer el desarrollo del cultivo, es así que la mayoría de los cultivos crecen bien en suelos que son ligeramente ácidos a neutros, siendo el mayor grado de asimilación de nutrientes en el intervalo de pH de suelos de 6-7 (Brady & Weil, 2008).

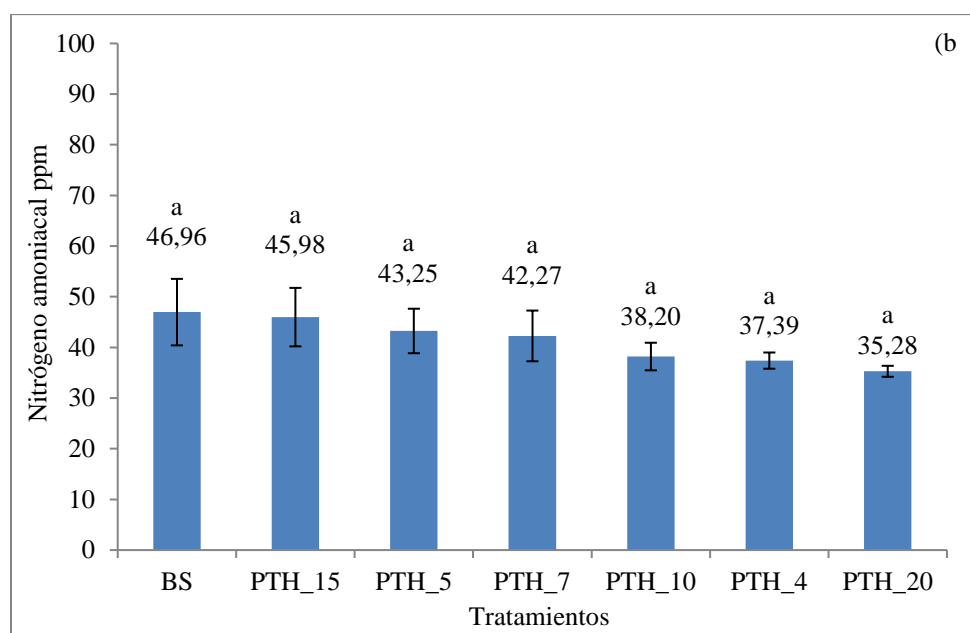
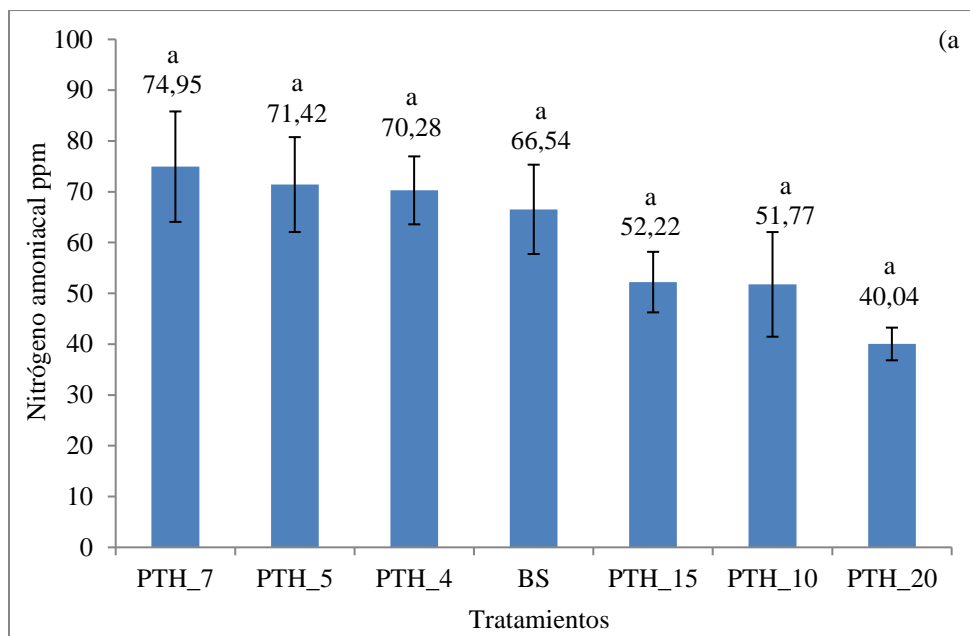




**Figura 5. pH en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

La figura 6a y 6b muestra el contenido de nitrógeno amoniacal, que no presentaron diferencias significativas. Los contenidos en la capa superficial oscilaron para el cultivo de 7 años con 74,95 ppm a 40,04 ppm para el cultivo de 20 años, así mismo en la capa inferior el contenido del elemento vario para el bosque secundario con 40,96 ppm y para el cultivo de 20 años 35,28 ppm. Solamente el bosque secundario presentó niveles bajos de nitrógeno amoniacal con 66,54 ppm y de 46,96 ppm en la capa superficial e inferior respectivamente, estudios similares presentan valores de 60,70 ppm y 31,91 ppm (Bravo, 2017). La presencia de nitrógeno mineral en el suelo disponible para la absorción por la planta depende de la tasa de mineralización del carbono (Verhulst, 2015) esta mineralización es la conversión de un elemento que se encuentra en forma orgánico a un estado inorgánico en el suelo, produciéndose amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), aumentando así el contenido de N inorgánico, y este proceso está relacionado con los contenidos de materia orgánica y microorganismos en el suelo (Soto-Mora, 2016).

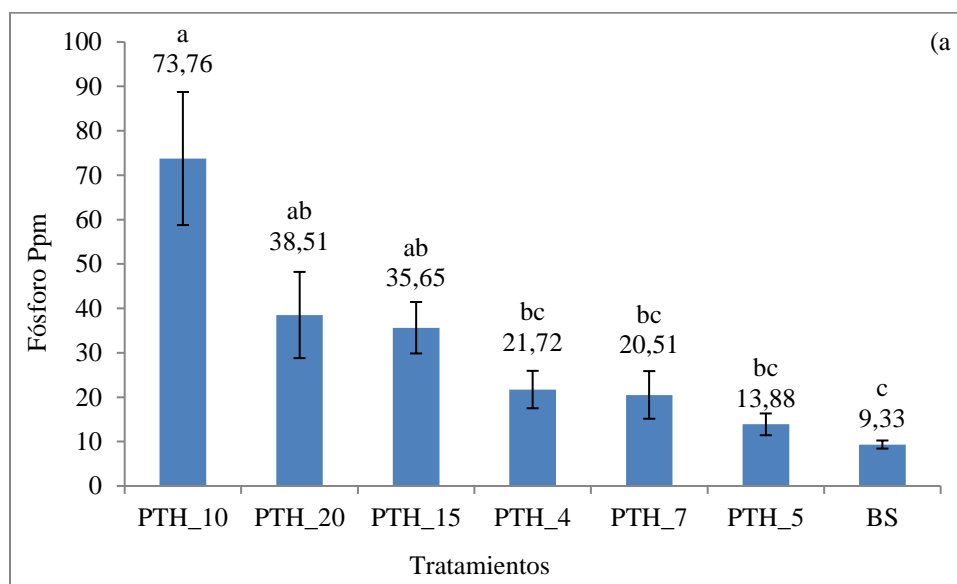


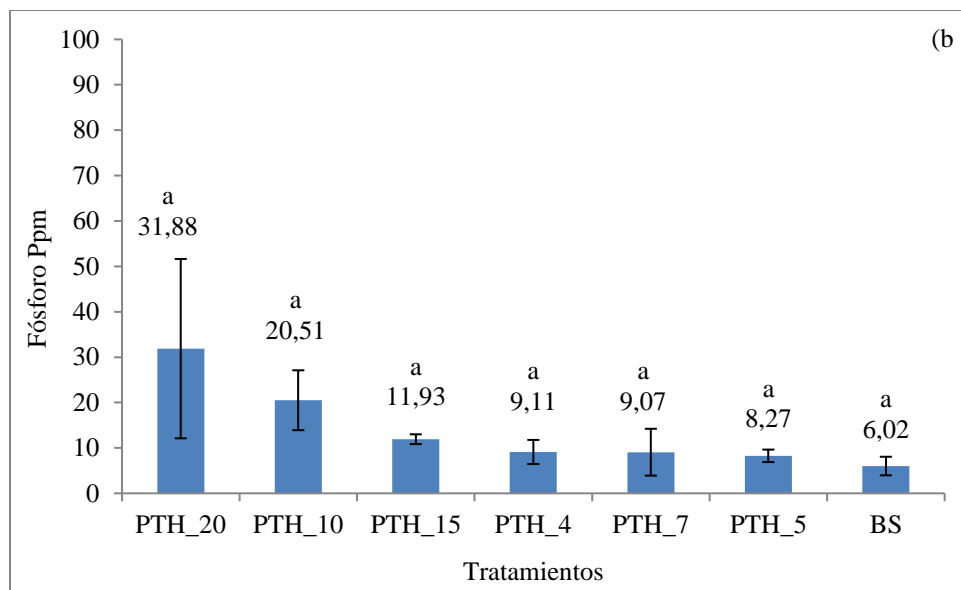


**Figura 6. Contenidos de nitrógeno amoniacal en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

El contenido de fósforo expuesto en figura 7a, permite inferir que existen diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ), y fue el cultivo de pitahaya con 10 años de edad, el que presentó la mayor cantidad de fósforo con 73,76 ppm, y fue la muestra del bosque secundario la que exhibió el menor contenido de dicho elemento con 9,33 ppm, considerado como un

valor bajo. En la capa inferior del suelo los contenidos de suelo no presentaron diferencias significativas, figura 7b. Las edades intermedias de establecimiento del cultivo presentan similitud estadística en sus contenidos. El sistema de manejo podría explicar estas dinámicas y variaciones del elemento, es así que para proponer un sistema de producción en la región amazónica se debe tomar en cuenta las restricciones en la fertilidad natural del suelo (Bravo et al., 2017). Si bien, la mayoría de los nutrientes están de manera deficiente, el fósforo representa uno de los elementos más críticos en suelos amazónicos. Ozturkmen & Kavdi (2012) mencionan que las prácticas agrícolas aumentaron el contenido de fósforo en zonas cultivadas, así el contenido de  $P_2O_5$  de los suelos plantados fue de aproximadamente 20 a 39 veces mayor que el contenido de fósforo de los suelos no cultivados y en recuperación.



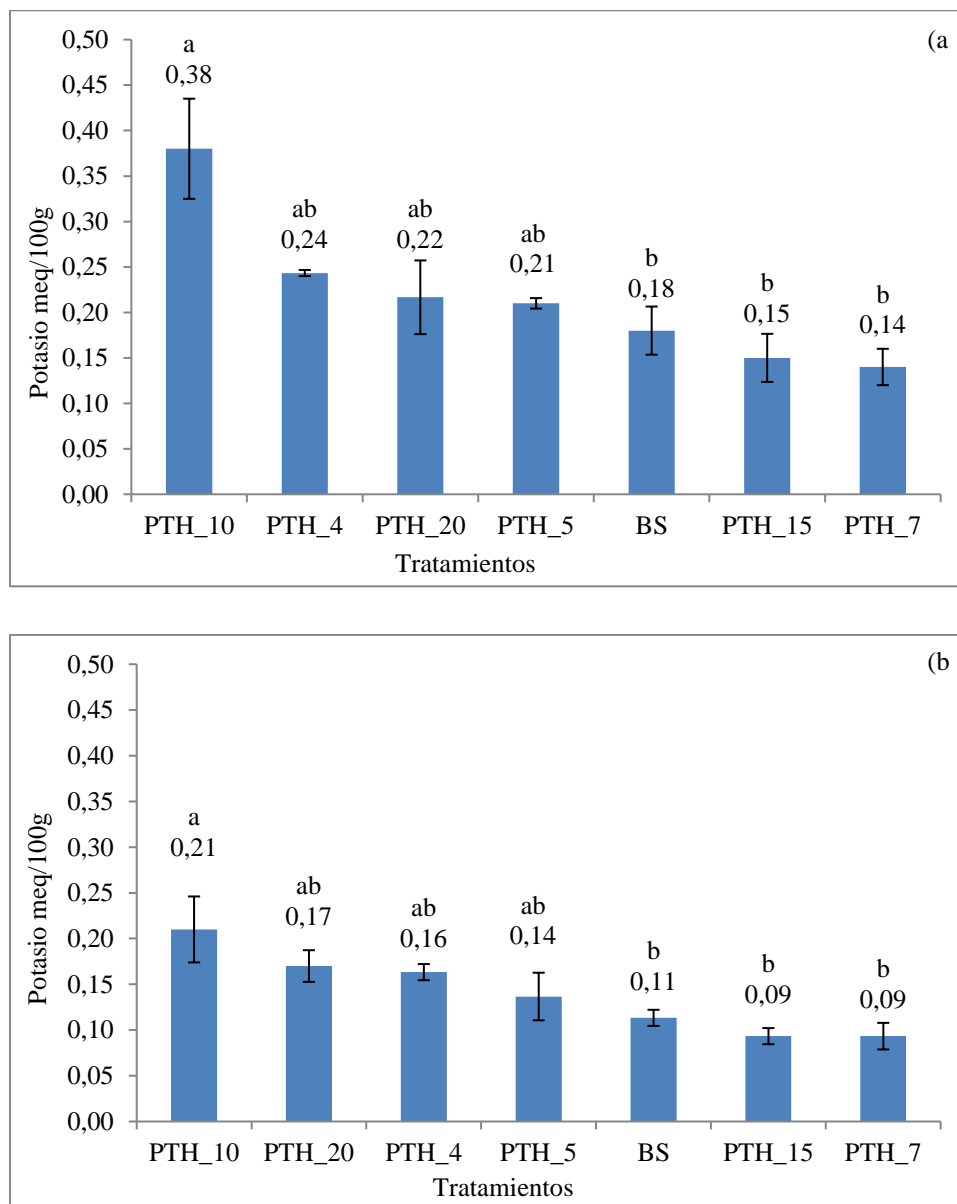


**Figura 7. Fósforo disponible en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

Como se observa en la figura 8a, existen diferencias significativas, para el contenido de potasio en el cultivo de diez años con 0,38 meq/100g mientras que el menor contenido de K se presentó en el cultivo de siete años con 0,14 meq/100g, contenidos considerados como bajos. En el resto de plantaciones evaluadas y el bosque secundario también presentaron niveles bajos del elemento en el suelo. Señala Valera et al. (2016) que la sustitución del bosque nativo por pastura y por cultivos agrícolas en zonas del cerrado de Brasil ha generado conflictos de uso y desmejoramiento de algunas propiedades del suelo de manera significativa, tales como el contenido de materia orgánica y la concentración de potasio intercambiable. Sin embargo, con prácticas de manejo y aprovechamiento de abonos verdes los contenidos pueden incrementarse a niveles como el contenido de fósforo fue medio (16,97-36,45 ppm); mientras que los de calcio (9,99-10,0 meq/100g), magnesio (2,43-3,07 meq/100g) y potasio (0,75-0,69 meq/100g) fueron altos al considerar la cantidad de carga por unidad de masa de suelo (Murillo et al., 2014).

Así mismo, en la figura 8b, se presenta el contenido de potasio en la capa de 15 a 30 cm de profundidad donde existen diferencias significativas entre los tratamientos, y se aprecia la disminución en la cantidad de nutrientes en el estrato más profundo; pero además en todas

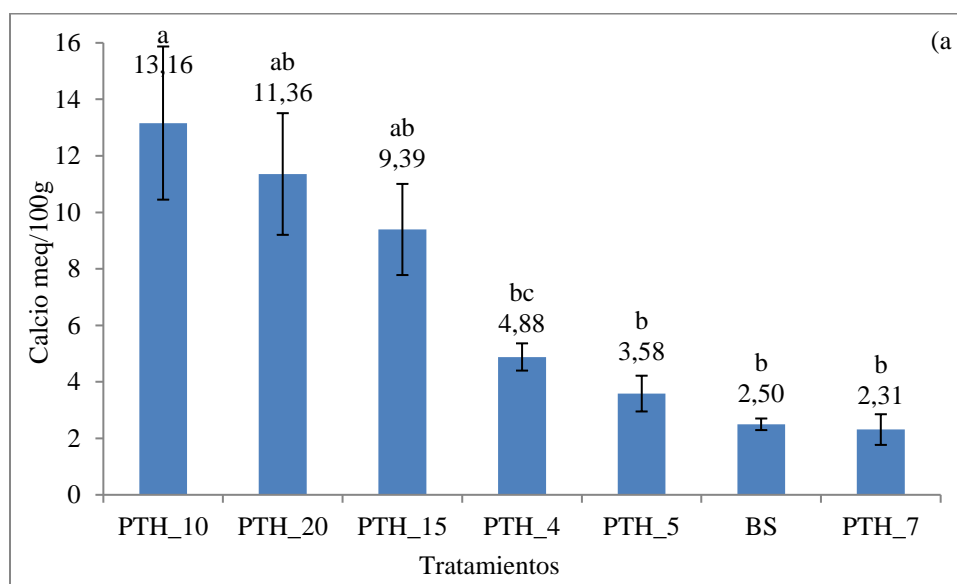
las edades de las plantaciones de pitahaya fueron deficientes para el desarrollo del cultivo. Bravo et al. (2017) mencionan que en capas interiores del suelo la tendencia de los elementos como P, K, S, Cu, Zn, B, etc., se presentan en niveles considerados bajos.

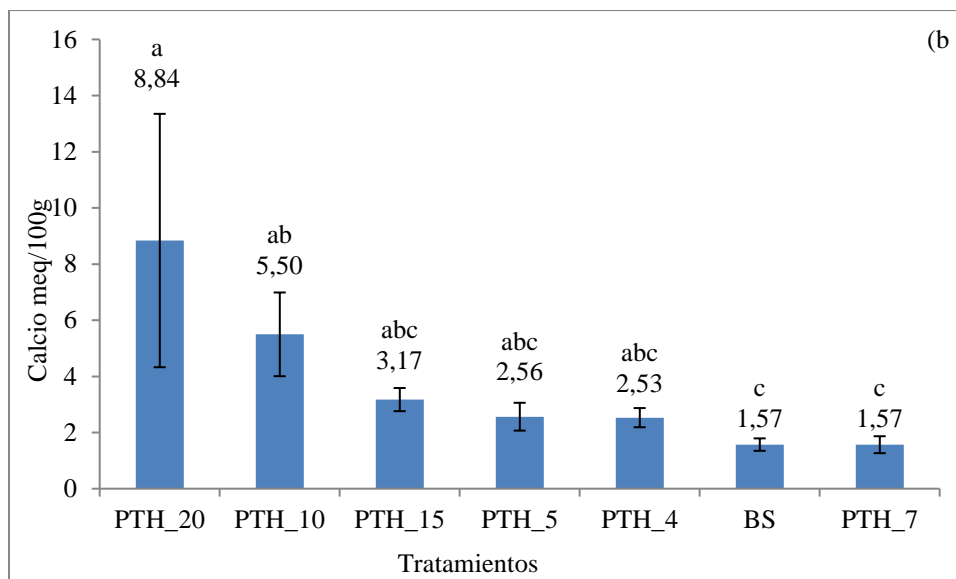


**Figura 8. Contenido de potasio intercambiable en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

Como se observa en la figura 9a el calcio presentó diferencias estadísticas significativas para las plantaciones de pitahaya evaluadas incluyendo el bosque secundario, dónde el cultivo de 10 años mostró 13,16 meq/100g de calcio y la plantación de 7 años de edad exhibió 2,31 meq/100g de suelo, considerados niveles bajos para este elemento. El resto de tratamientos de forma similar presentan niveles bajos para calcio. Estos suelos al ser del orden inceptisoles son suelos en formación, sin horizontes definidos, poco profundos, generalmente ácidos y de baja fertilidad natural, de ahí el bajo contenido de potasio, calcio, fósforo asociados también a la presencia de altos contenidos de hierro (Nieto & Caicedo, 2012).

En la figura 9b, se aprecia la misma tendencia en relación a la escasez de calcio en la capa inferior de suelo (15 a 30 cm de profundidad), con el máximo contenido 8,84 meq/100g de calcio en el cultivo de 20 años y la disminución progresiva hasta 1,57 meq/100g de este elemento del cultivo de 7 años. El factor clima incide desfavorablemente en particular con las altas precipitaciones comunes en las zona de producción de la pitahaya en la Amazonía y que permiten un lixiviado de las bases de intercambio como: Ca, Mg, K, Na, dando como resultado la presencia de bajos contenidos de estos elementos tanto en zonas de cultivos como en el bosque secundario (Bravo et al., 2017).

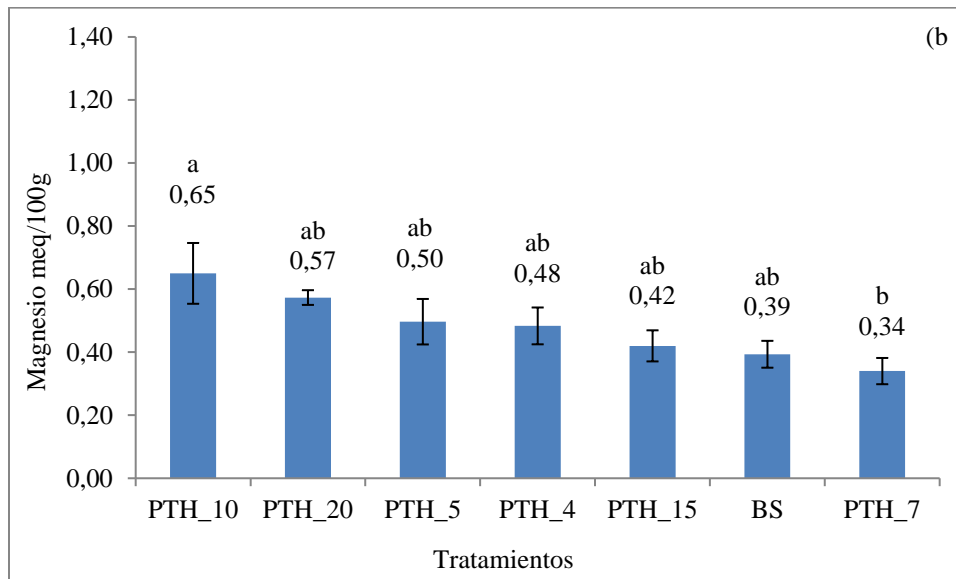
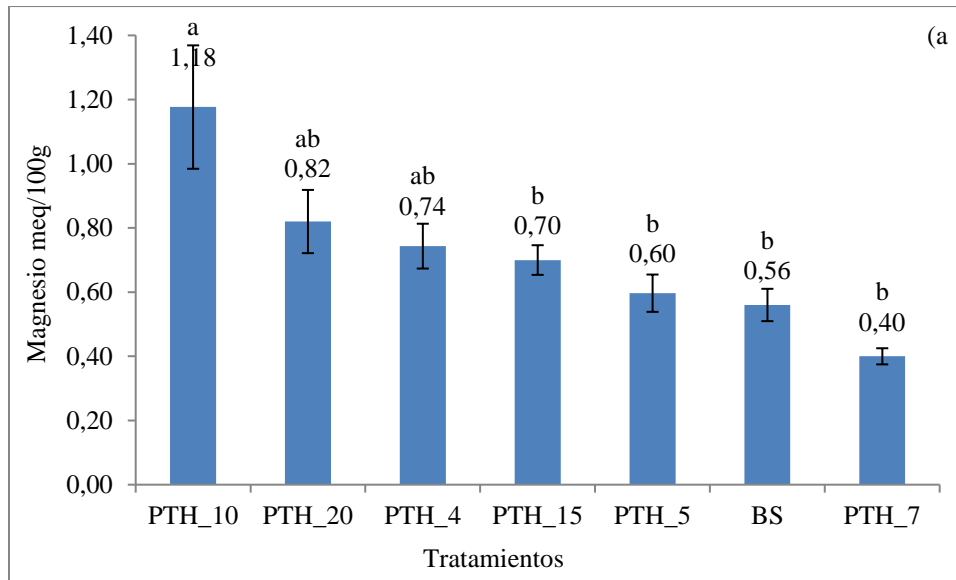




**Figura 9. Contenido de calcio intercambiable en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

En la figura 10a se observa diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos en la capa superficial del suelo, donde la edad de 10 años presentó el mayor contenido con 1,18 meq/100g, y el cultivo con 7 años de edad registró 0,40 meq/100g, presentado el menor contenido. Estos contenidos de magnesio en el suelo son bajos, como se ha podido evidenciar con las demás bases de intercambio: Ca, Mg, K, los niveles encontrados en el suelo son bajos, insuficientes para manejar un sistema de producción adecuadamente.

En la figura 10b se evidencia, diferencias significativas en la capa inferior del suelo en el cultivo de 10 años y el de 7 años presentando, 0,65 meq/100g y 0,34 meq/100g de magnesio respectivamente. Los cationes mencionados tienen el mismo comportamiento en cuanto a su contenido que está asociado a bajos niveles, tanto en la capa superficial como en capa interna del suelo, y es por estar sujetos a las características típicas del sitio y del tipo de suelo, es decir el componente de alta precipitación y un suelo en formación como lo son los de la Amazonía (Nieto & Caicedo, 2012 y Bravo et al., 2017).



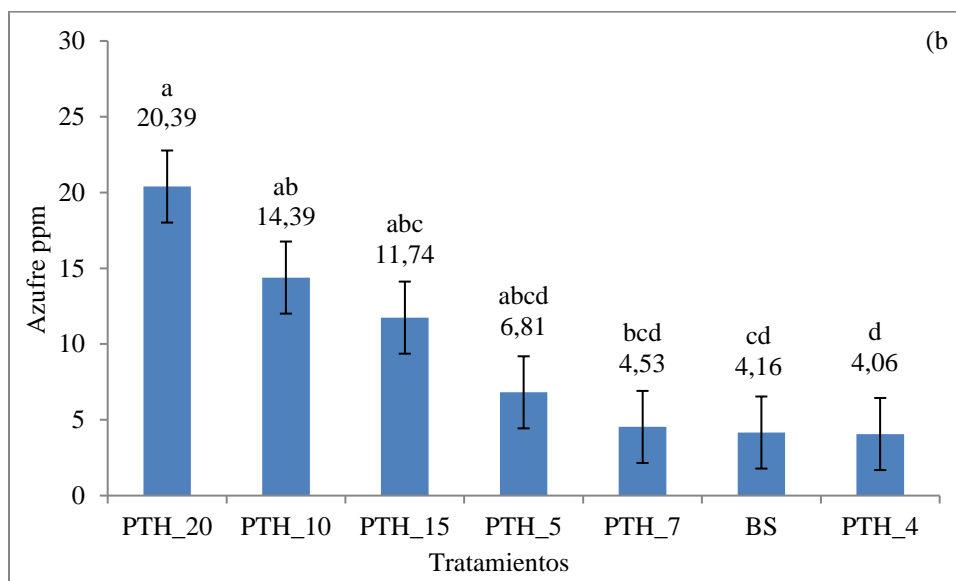
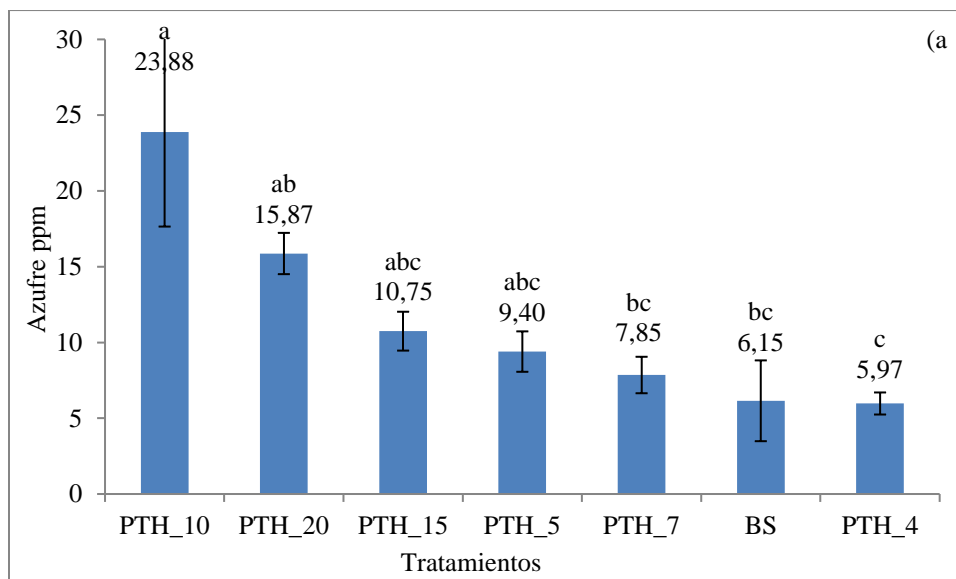
**Figura 10. Contenido de magnesio intercambiable en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

La figura 11a muestra el comportamiento del contenido de azufre en la capa superficial de suelo en la que se observan diferencias altamente significativas para las diferentes edades de pitahaya, destacándose la plantación de diez años que presenta el mayor contenido de S con 23,88 ppm, a su vez el cultivo de cuatro años es el que registró el menor contenido de este elemento con 5,97 ppm. Sin embargo, tanto el valor máximo como mínimo registrados

constituyen niveles altos y bajos de azufre en el suelo (Murillo et al., 2014). Reportes emitidos por el laboratorio de suelos y aguas del INIAP-EECA los niveles medios y óptimos disponibles en el suelo para el azufre oscilan entre 10 y 20 ppm. Evidenciándose nivel alto y deficiente en el cultivo de 10 y cuatro años.

El contenido de azufre para el estrato de suelo inferior que va de 15 a 30 cm de profundidad (figura 11b), mostró que solamente en el cultivo de 20 años el contenido incrementa de 15,87 ppm en el estrato de 0 a 15 cm a 20,39 ppm de azufre en el estrato más profundo. Además, el contenido de este elemento reporta diferencias estadísticas significativas entre tratamientos donde el cultivo de 20 años presenta la mayor cantidad de azufre y que el cultivo de cuatro años que presenta 4,06 ppm. Así mismo se evidencia que en la capa inferior del suelo existe disminución en los contenidos de dicho elemento. Estudios similares presentan azufre en el suelo del bosque secundario en las capas superiores en cantidades de 9,51 ppm y 4,99 ppm en la profundidad de 0 a 10 y de 10 a 30 cm (Bravo et al., 2017). Siendo el azufre un elemento importante para el desarrollo del cultivo es fundamental la ejecución de prácticas sostenibles que permitan mejorar las características del suelo como la aplicación de biomasas de leguminosas que permite incrementar los niveles de azufre en el suelo, así también mediante la aplicación de enmiendas químicas permitiendo un incremento de 21,40 a 40,35 ppm (Murillo et al., 2014).





**Figura 11. Contenido de azufre en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

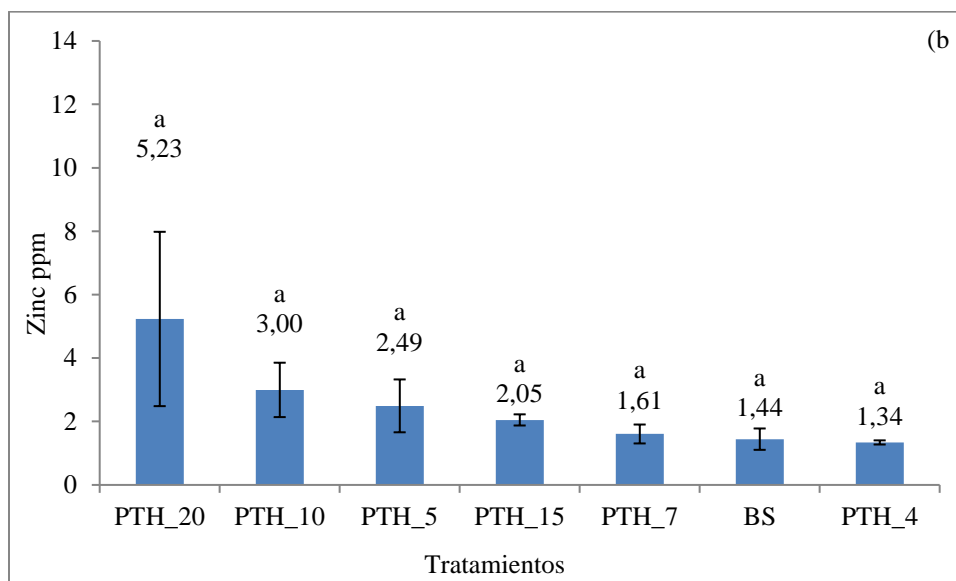
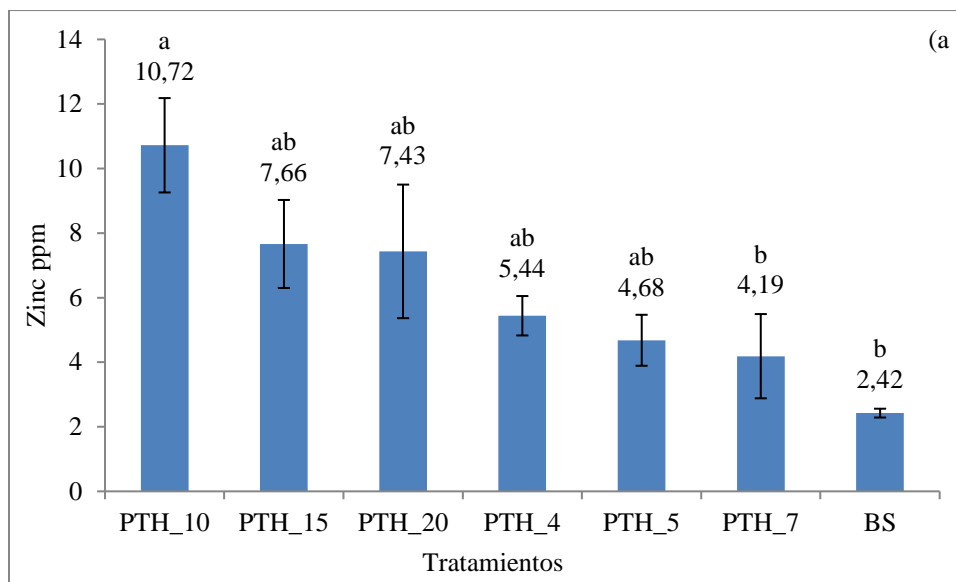
Cobre, hierro, manganeso y zinc son cuatro metales esenciales para el crecimiento vegetal, que a pesar de las pequeñas cantidades requeridas por las plantas, los suelos agrícolas suelen ser deficitarios en uno o más micronutrientes de forma que su concentración en los tejidos de los vegetales cae por debajo de los niveles que permiten un crecimiento óptimo (Roca, 2007)

En la figura 12a se observa el contenido de zinc, el cual presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, es así que para el cultivo de diez años registró 10,72 ppm; mientras que, el contenido de zinc en el bosque secundario fue de 2,42 ppm, dichos valores según la interpretación del análisis de laboratorio son considerados altos y medios, estos valores pueden estar asociados a la presencia de la materia orgánica que permiten mediante agentes quelantes mantener estos niveles de disponibilidad (Torri et al 2015). Estudios similares reportaron en bosque secundario valores afines 2,36 ppm (Bravo, 2017).

Altieri, 1999 reporta que en un suelo tiende a haber más zinc debido al alto contenido de materia orgánica y nivel ácido de pH. Un aspecto a destacar del comportamiento de este elemento en el suelo es que a pesar de las diferencias presentadas en las magnitudes, todos los lotes agrícolas así como las áreas vírgenes se encuentran dentro de una disponibilidad alta de este nutriente para los cultivos (Ratto & Fatta, 1990). Sin embargo, según Hodgson et al. (1966), el 75% del Zn soluble en suelos calcáreos está presente como complejos orgánicos.

Roca (2007) menciona un factor determinante en la solubilidad de estos elementos la cual en estudios realizados en suelos agrícolas en Córdoba, Argentina; revelan que en el caso del Zn, el 20% de los suelos son deficientes y un 53% son considerados pobres, las zonas con mayores deficiencias de Zn y Fe en el horizonte superficial coinciden mayoritariamente con las zonas salinas y deprimidas de la cuenca. Estos valores están por debajo de la mayoría de resultados publicados en otros suelos agrícolas argentinos, más fértiles y sin problemas de salinidad.

La figura 12b muestra los contenidos de zinc en la capa inferior del suelo, la cual no presentó diferencias significativas.



**Figura 12. Contenido de zinc en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

La figura 13a reporta el contenido de cobre en el estrato superficial del suelo (0 – 15 cm), en la cual el tratamiento constituido por la plantación de pitahaya de 15 años presentó 14,16 ppm y el cultivo de 10 años reportó 7,32 ppm, los tratamientos presentan niveles altos en el suelo, según el reporte de los análisis químicos del suelo emitidos por el laboratorio de suelos del INIAP – EECA. Por lo general los suelos pobres en bases intercambiables reflejan altos

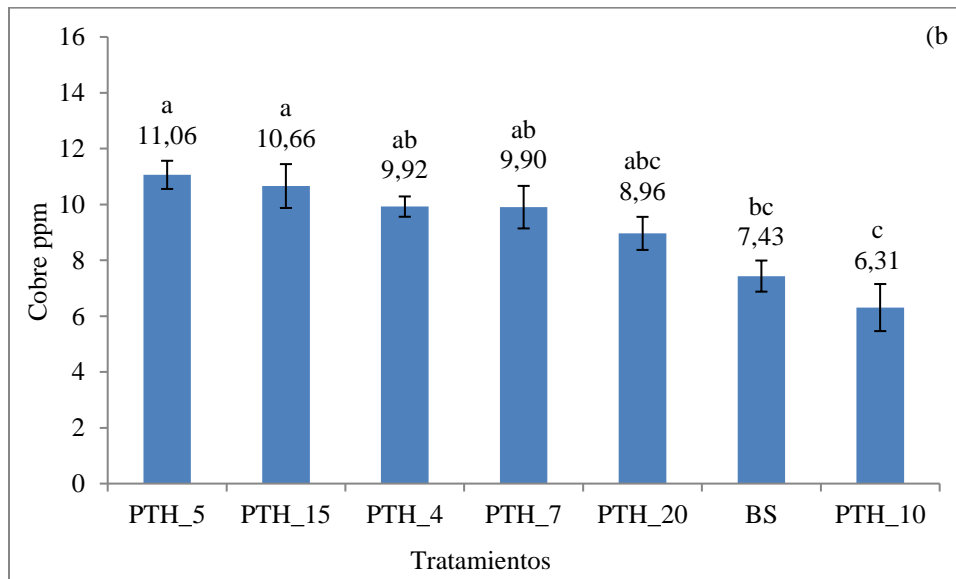
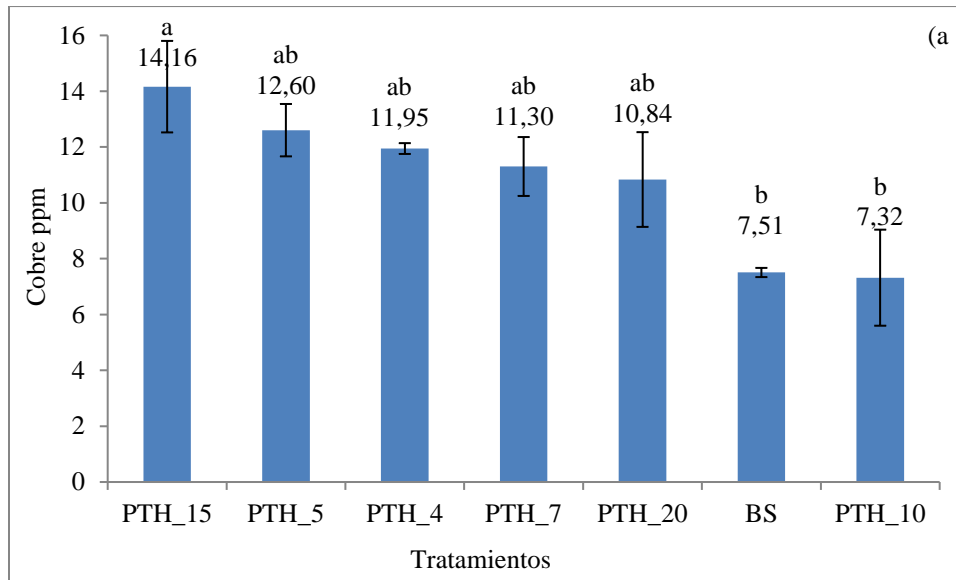
contenidos de hierro y cobre, lo que hace que el porcentaje de saturación con bases de este suelo sea muy baja y generalmente de reacción ácida, coincidiendo con estudios previos realizados en la amazonia ecuatoriana, (Bravo et al., 2015).

A pesar de no haber presentado diferencias estadísticas el pH del suelo en el presente estudio, presentó un promedio de 5,51 y 5,29 en las capas de 0 a 15 y de 15 a 30 cm, haciendo posible la liberación de los elementos hierro y cobre llegando posiblemente a niveles que generen toxicidad al cultivo. Sin embargo, la necesidad del elemento es vital para el desarrollo y funcionalidad debido a su función en los procesos de fotosíntesis, respiración, metabolismo de las proteínas y carbohidratos (Brady & Weil, 2008)

Así mismo en la figura 13b se destaca que los valores, de cobre en la capa inferior de 15 a 30 cm, presenta diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, donde el cultivo de pitahaya de 5 años mostró 11,06 ppm y mientras que el cultivo de 10 años tuvo 6,31 ppm de cobre, siendo considerados niveles altos, reportados por el laboratorio de suelos de INIAP - EECA.

Estudios similares presentan valores 5,56 ppm y 5,59 ppm en profundidades de 0 a 10 y de 10 a 30 cm (Bravo et al., 2017). La mayor disponibilidad de los metales está en los primeros centímetros y se relaciona con los ciclos orgánicos (Estévez et al., 1998).

En un suelo franco profundo está muy bien provisto de cobre disponible, el suelo de 50 cm de perfil posee valores medios los más arenoso valores bajos, habiendo diferencias significativas de contenido de cobre disponible entre estos suelos distintos (Ratto & Fatta, 1990).



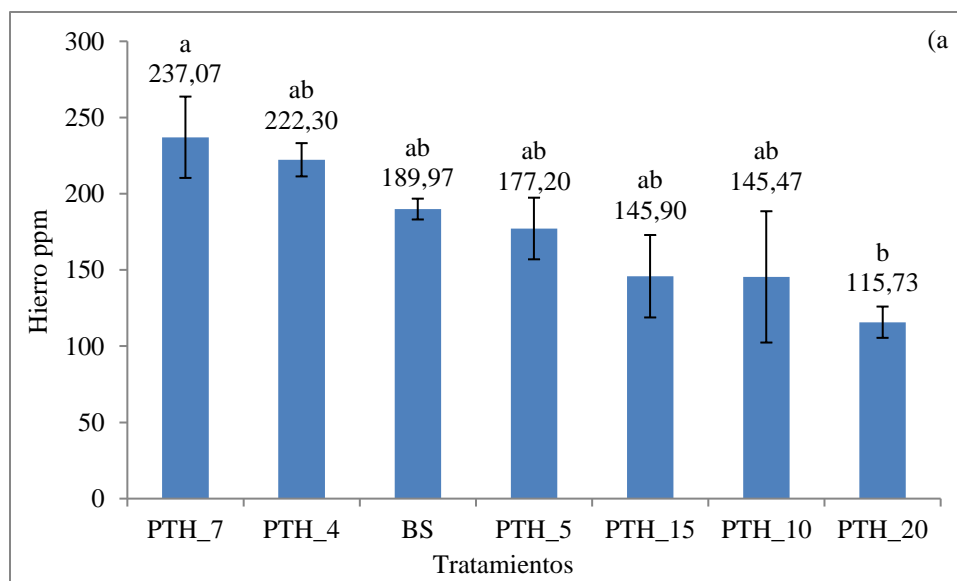
**Figura 13. Contenido de cobre en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

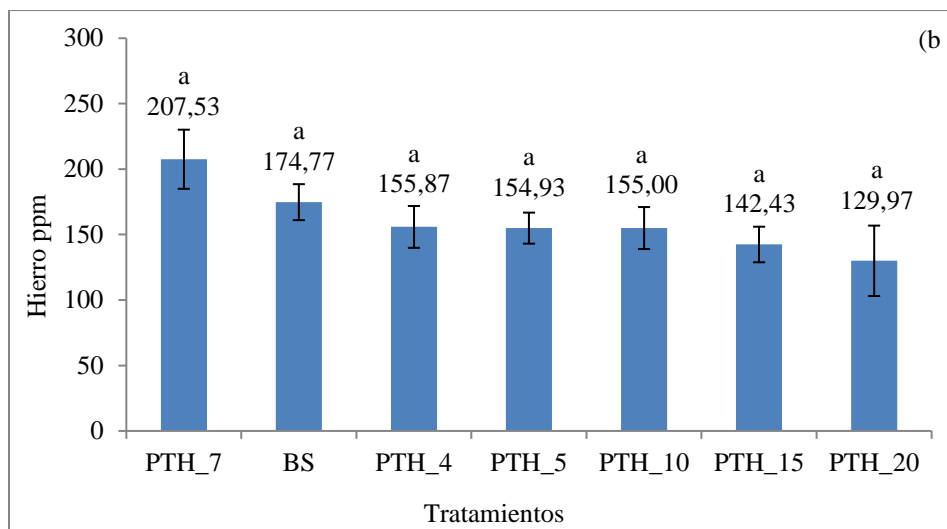
En la figura 14a presenta diferencias significativas entre los tratamientos analizados, destacándose el cultivo de pitahaya de 7 años con un contenido de 237,07 ppm de hierro; mientras que, el tratamiento de 20 años reportó 115,33 ppm de este elemento en el suelo. La figura 14b reporta valores de hierro en la capa inferior del suelo, la cual no presentó diferencias significativas. Todos estos valores son considerados niveles altos de hierro en el

suelo. La alta disponibilidad de hierro en el suelo nos garantiza la correcta formación de clorofila, así como también en la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, permitiendo así el correcto funcionamiento de procesos claves dentro de la fisiología de la planta (Brady & Weil, 2008). Sin embargo, Osorio (2014) menciona que el hierro en estas cantidades puede causar toxicidad, así como interferir en la absorción de otros nutrientes.

Altieri (1999), menciona que suelos con altos contenidos de moléculas orgánicas ayudan a quelatar un gran número de micronutrientes, tales como el Zinc (Zn) y el Hierro (Fe), permitiendo así estar con mayor presencia en los suelos, esto además los protege para evitar que sean convertidos en formas menos disponibles para las plantas. Además, Custode y Sourdat (1986) señalan que existe en los suelos de la amazonia un proceso de ferralitización o enriquecimiento de hierro marcados por los procesos de formación del suelo y el clima que ejercen un papel importante.

Por último, hay que tener en cuenta que la disponibilidad de los nutrientes en el suelo está ligada al pH del mismo, en donde cada uno de los nutrientes tiene un rango de disponibilidad óptima particular (Ratto & Fatta, 1990).





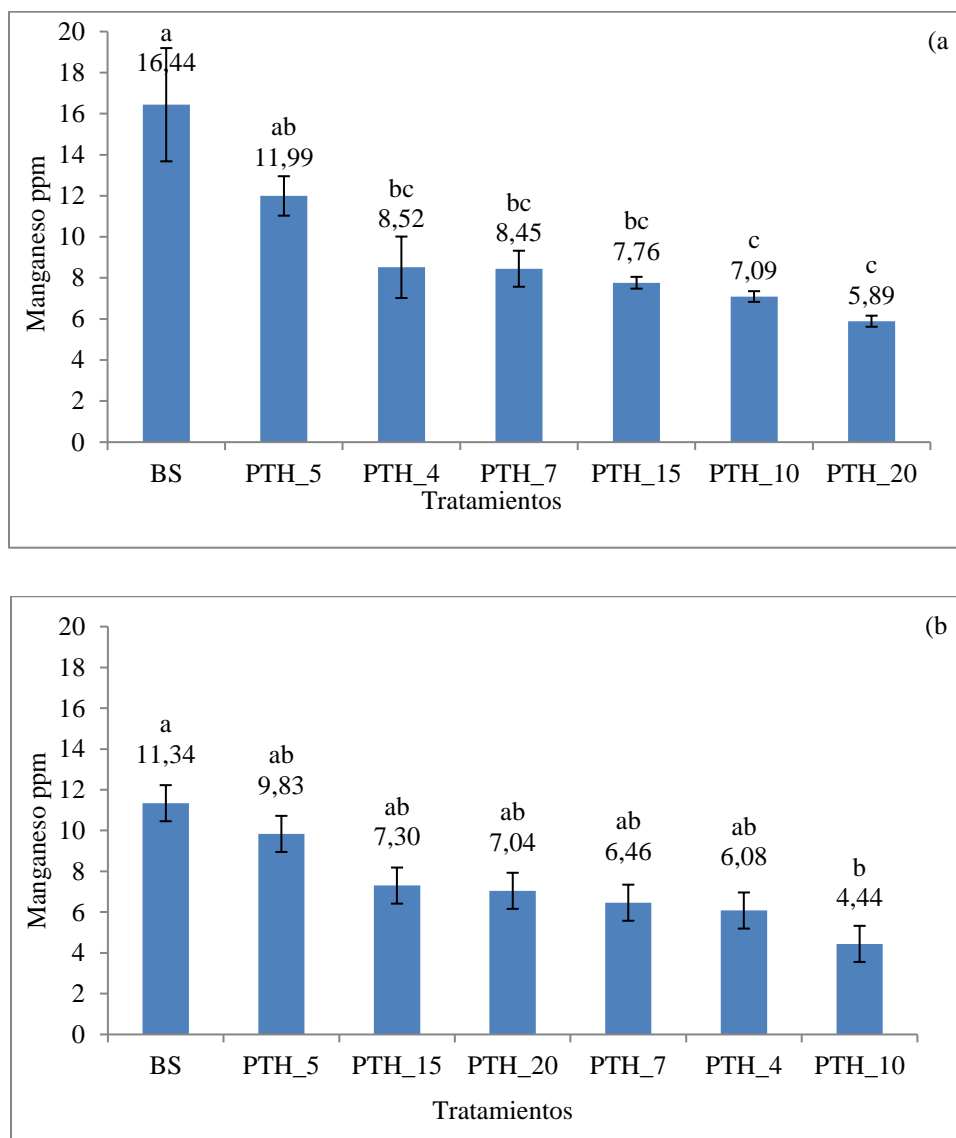
**Figura 14. Contenido de hierro en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm.**

En la figura 15a se presenta diferencias significativas para el contenido de manganeso entre los tratamientos de estrato superficial (0 a 15 cm de profundidad), donde el bosque secundario presentó 16,44 ppm y a su vez, el cultivo de pitahaya con 20 años de establecido reportó la menor cantidad de manganeso con 5,89 ppm, los niveles presentados son considerados como contenidos altos. George, (2006) determinó que variables como densidad aparente, resistencia a la penetración, contenidos de P, K, Cu, Zn y Mn están asociadas negativamente con bosques, pero que a su vez están positivamente asociadas a cultivos convencionales.

Bravo et al. (2017) encontraron valores similares a los del presente estudio, con 17 ppm en la capa interna de suelo que fue 10 a 30 cm de profundidad. Ratto & Fatta, (1990) mencionan que el factor pH ligeramente ácido a neutro entre 6 a 7, la textura arenosa del suelo en su capa superficial 20 cm, tiene una estrecha afinidad con la baja disponibilidad del elemento; Sin embargo, el uso del suelo para agricultura y ganadería no generó disminuciones en la disponibilidad de manganeso en el suelo.

El contenido de manganeso en el suelo en el estrato de 15 a 30 cm de profundidad para las diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya y el bosque secundario se muestran en la figura 15b, la cual destaca la presencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, donde el bosque secundario presentó 11,34 ppm de Mn

y el cultivo de pitahaya con diez años de establecido exhibió 4,44 ppm de este elemento. A pesar de ser niveles medios y bajos respectivamente, los resultados descendieron con relación a los del estrato superficial (0 a 15 cm) y que fueron presentados en la figura 20, manteniendo la tendencia que el estrato inferior es más pobre en cuanto al contenido de elementos químicos de importancia para un normal desarrollo de las plantas (Bravo et al., 2015).



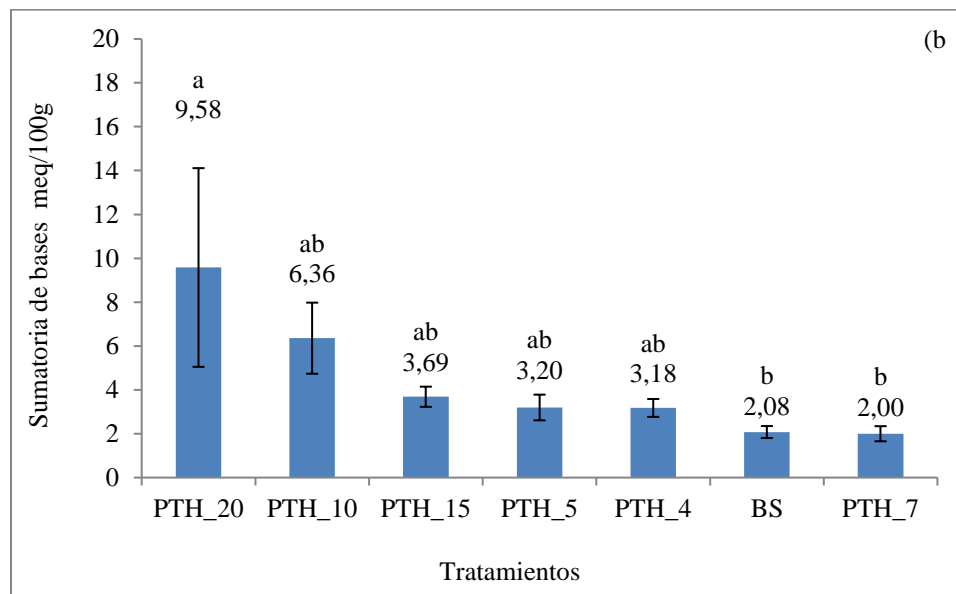
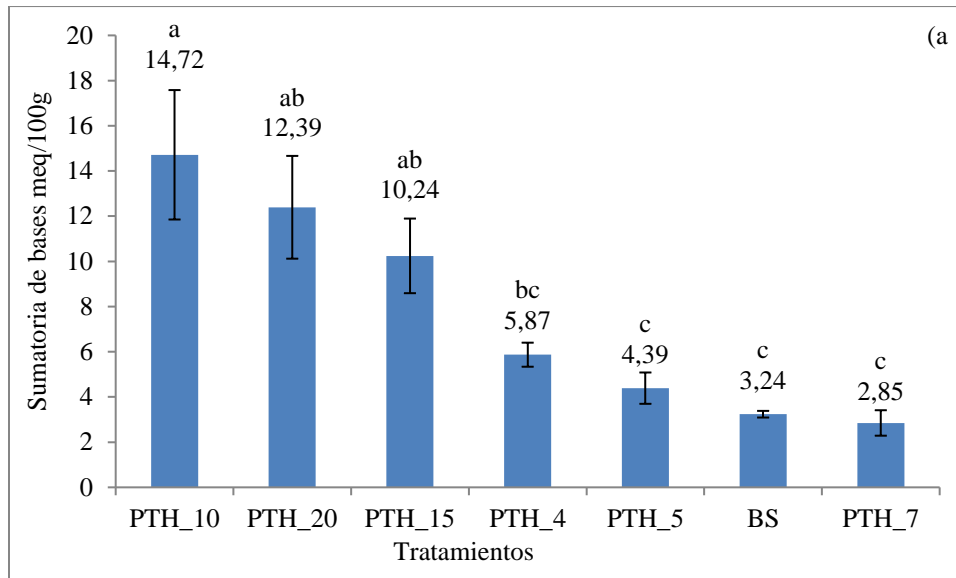
**Figura 15. Contenido de manganeso en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm**



En la figura 16a se presentan los resultados para la sumatoria de bases intercambiables en el suelo en el estrato de 0 a 15 cm de profundidad y para los diferentes tratamientos, destacándose la presencia de diferencias estadísticas significativas, donde el cultivo de pitahaya con 10 años de establecimiento mostró 14,72 meq/100g y el cultivo de 7 años registró 2,85 meq/100g. En la capa interna de suelo de 15 a 30 cm, esta variable no presentó diferencias significativas (figura 16b).

Es importante mejorar las características de los suelos cultivados puesto que, los contenidos de bases reportados son niveles bajos, estudios reportan que el suelo con una baja CICE (4,17 meq/100g), en un indicador de baja fertilidad corroborado por el bajo contenido de bases intercambiables. Moreno, González & Egido (2015), mencionan que un suelo regenerado muestra mayor contenido de materia orgánica, cationes de cambio y, tasa de respiración del suelo, lo que redundaría en mejores características físicas, químicas y biológicas. En la Amazonía ecuatoriana, el clima ejerce sobre la edafogénesis una influencia primordial que favorece la lixiviación de las bases ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$ ,  $\text{K}^{+1}$ ), lo que induce a un predominio de minerales poco alterables y de arcillas simples como el cuarzo, caolinita, halloysita, gibbsita y óxidos de hierro, confiriéndoles ciertas características morfológicas y el descenso de los parámetros asociados a la fertilidad principalmente el pH como lo reportan los editores Gardi et al. (2014), criterio que de acuerdo a Osorio (2012) el pH de la solución del suelo es un buen indicador de la disponibilidad de nutrientes. Esto se debe a que la presencia de los iones de aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ),  $\text{H}^{+}$  y  $\text{OH}^{-}$  son determinantes de la solubilidad de los nutrientes en el suelo como fosfatos, sulfatos, molibdatos, hierro, manganeso, cobre, zinc o son indicadores de la escasez de las formas disponibles de algunos de ellos en el suelo como el calcio, magnesio, potasio, sodio.

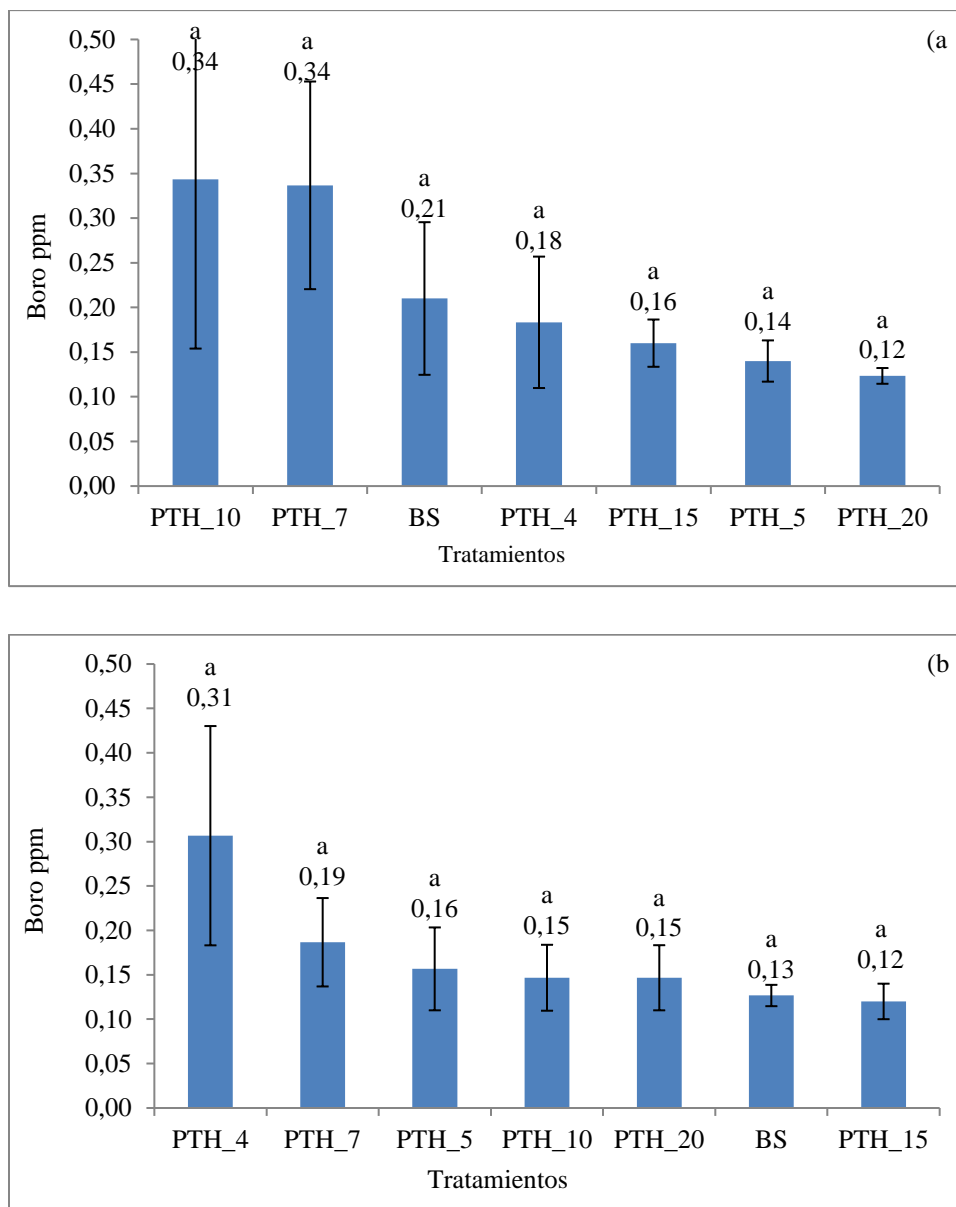
Los elementos Ca, Mg y K analizados dentro del actual estudio presentaron niveles bajos, los cual influye directamente en la sumatoria de bases, algo muy común en suelos del orden inceptisol típicos en la amazonia ecuatoriana (González, Alvares, Albanes & Castañeda, 2018).



**Figura 16. Sumatoria de bases en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm**

El contenido de boro entre los tratamientos en la capa superficial de 0 a 15 cm (figura 17a) presentaron valores que variaron entre 0,34 ppm y 0,12 ppm para el cultivo de 10 años y 20 años respectivamente, estos niveles son considerados bajos y representan deficiencias en el suelo; en la capa inferior los valores oscilaron entre 0,31 pp y 0,12 ppm para el cultivo de 4

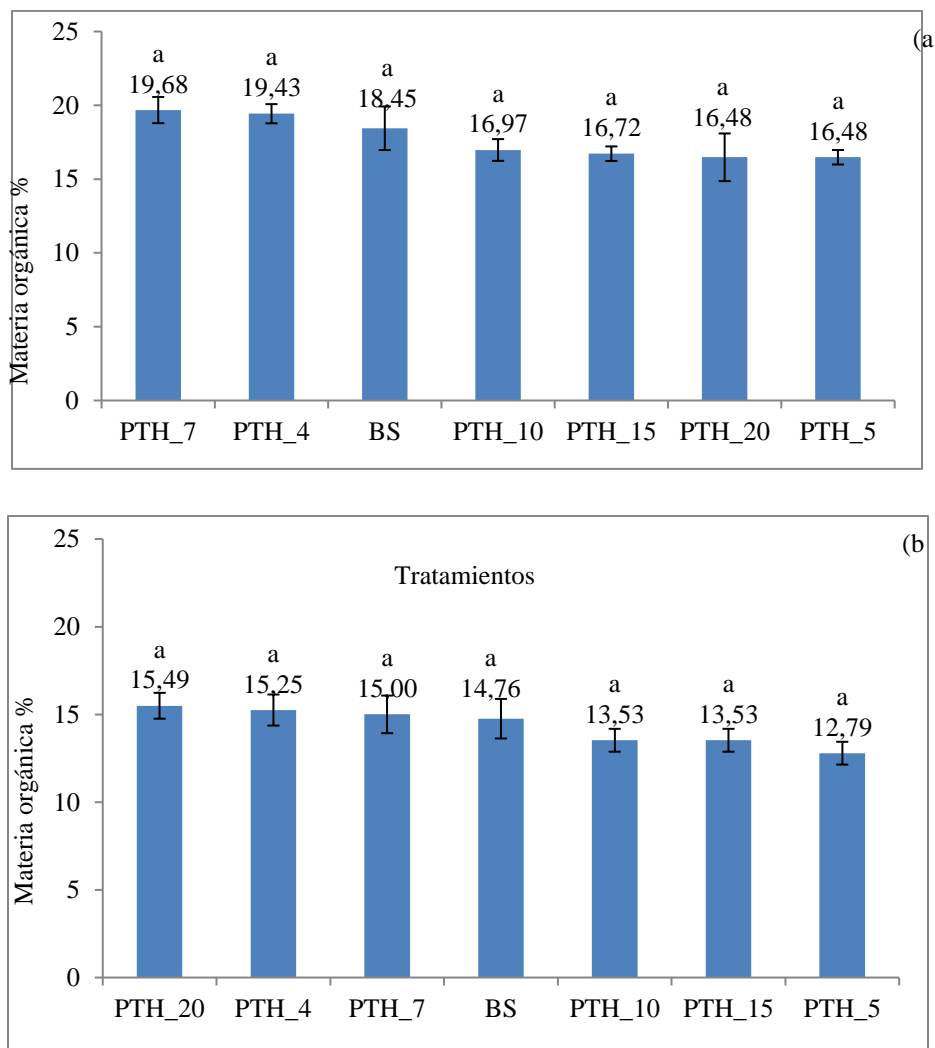
y 15 años respectivamente (figura 17b) en las dos profundidades no presentó diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).



**Figura 17. Contenido de Boro en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm**

En la figura 18a y 18b se presenta los valores de materia orgánica en el suelo, donde los valores no presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en las profundidades de suelo estudiadas; Sin embargo, estos valores en todos los tratamientos superan los niveles óptimos. Estudios

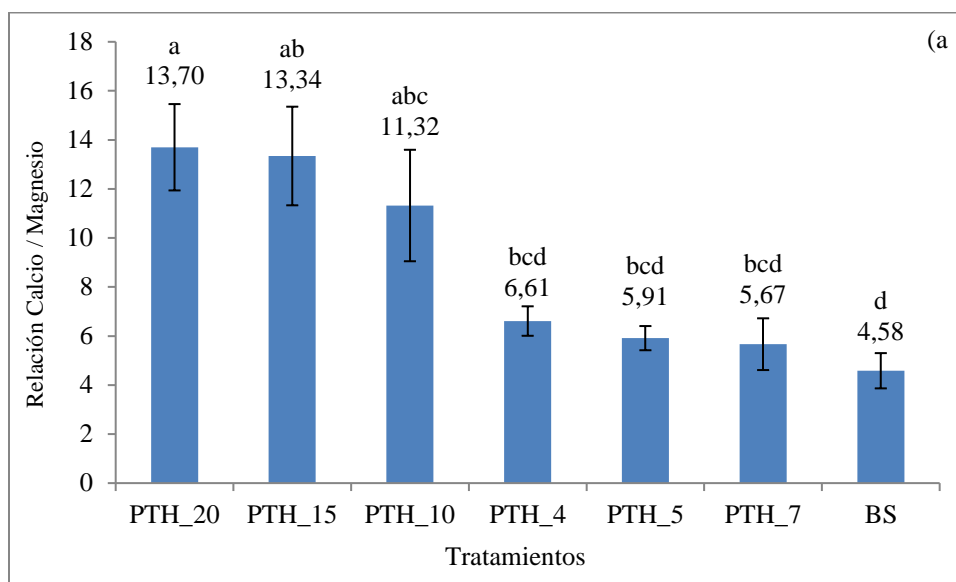
concuerdan que la materia orgánica del suelo es el indicador que ejerce influencia significativa sobre la calidad del suelo y su productividad, tiene un efecto beneficioso sobre las propiedades físicas y fisicoquímicas del suelo al mejorar la estructura, aumentar la capacidad de intercambio catiónico, la retención de agua, el poder tampón, así como, reducir la acción de sustancias tóxicas, y actuar como un fertilizante de liberación lenta que favorece los ciclos biológicos de los nutrientes (Moreno, 2015).

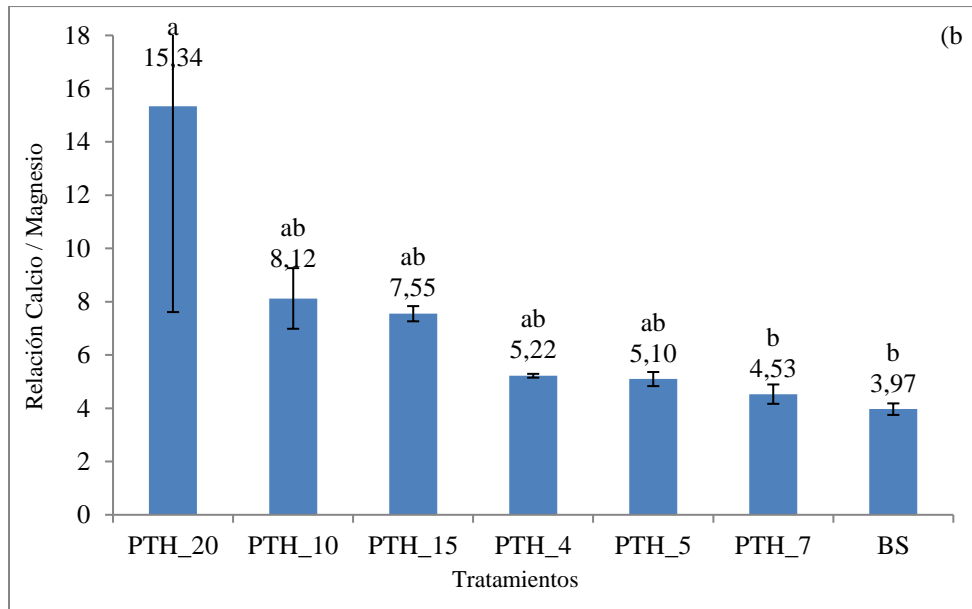


**Figura 18. Contenido de materia orgánica en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm**

La relación calcio/magnesio en el suelo a una profundidad de 0 a 15 cm, en plantaciones pitahaya de diferentes edades de establecimiento (figura 19a), señala la presencia de

diferencias significativas para esta variable y se observa que el cultivo de pitahaya con 20 años de edad reveló una proporción de 13,70, mientras que el bosque secundario mostró una relación de 4,58, esto debido a que las bases de intercambio se hallan en niveles bajos. A pesar de existir valores bajos en las bases de intercambio en la proporcionalidad muestra altos desbalances catiónicos mostrando un claro dominio del calcio en el suelo. Estudios similares mencionan que una relación óptima sería de 4,24. (González et al, 2018). De igual forma en la capa interna de 15 a 30 cm, se detecta diferencias significativas, donde el cultivo de 20 años presenta una proporción de 13,70 y el bosque secundario de 4,58, mostrando en la capa interna alto desbalance (figura 19b).

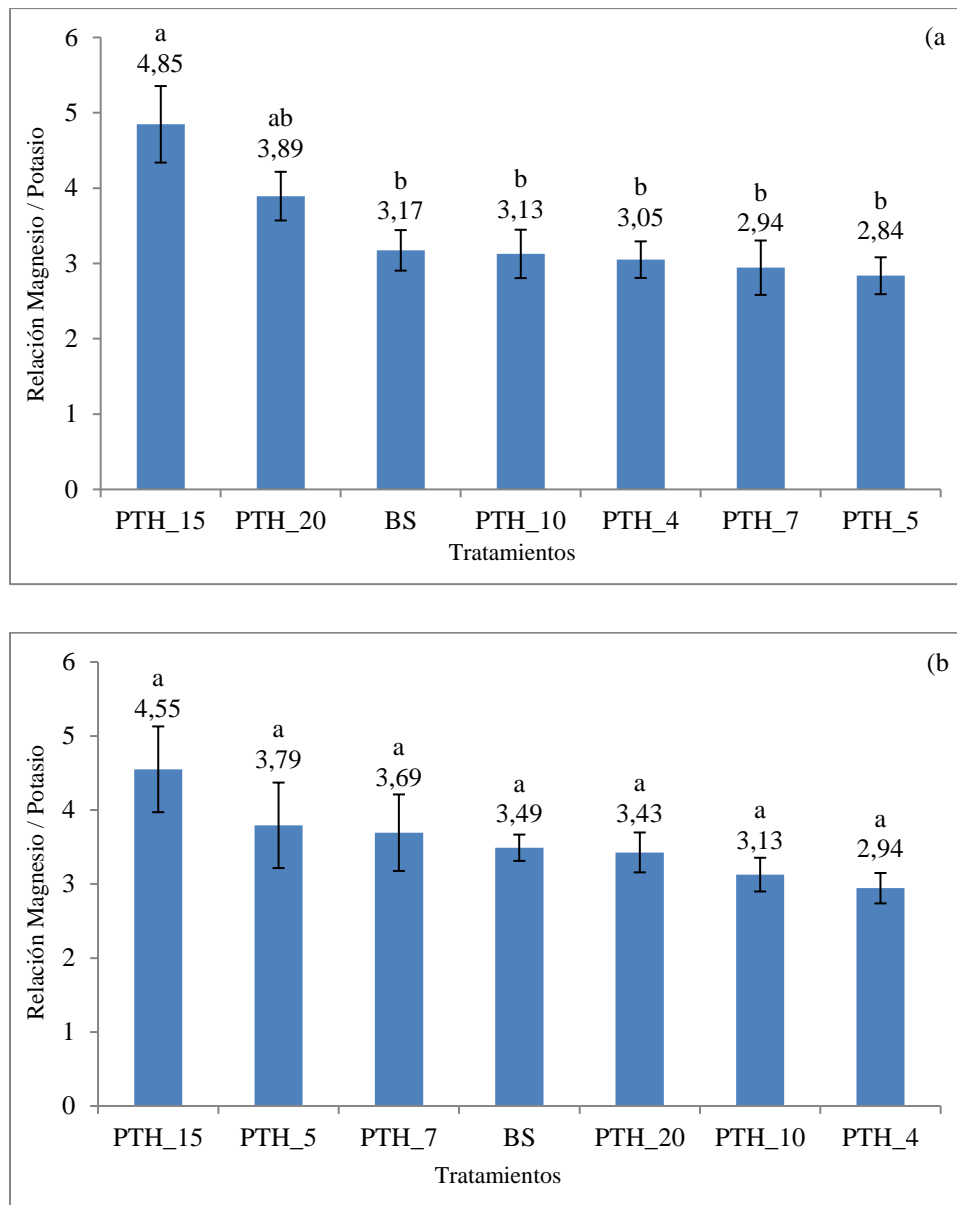




**Figura 19. Relación calcio sobre magnesio en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm**

La figura 20a muestra el comportamiento de la relación magnesio/potasio en el suelo, a una profundidad de 0 a 15 cm en plantaciones de pitahaya a diferentes edades de establecimiento y el bosque secundario, la cual establece diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El cultivo de 15 años presentó 4,85 para esta relación mientras que el cultivo de 5 años presentó 2,84. Este comportamiento evidencia claramente que el contenido de magnesio, aunque con niveles medios y bajos es mayor que el contenido de potasio presentando un desbalance entre estos cationes. Chinchilla (2004), manifiesta que el empobrecimiento paulatino del K en el suelo, puede crear desbalances a través de los años con otros elementos como el magnesio, el calcio y el nitrógeno, así también el potasio y sus relaciones con el magnesio y el calcio están relacionados íntimamente con la incidencia de desórdenes nutricionales recomendando así un adecuado balance de potasio por ser esencial en las relaciones hídricas, el transporte de asimilados de la fotosíntesis y para mantener el funcionamiento de los mecanismos de defensa de las plantas contra el ataque de patógenos y el estrés en general. Estudios con resultados para dicha variable muestra relaciones de 1,04 considerado nivel bajo y cuya recomendación sería aumentar niveles de calcio y magnesio

(González, 2018). En la figura 20b se observa que los valores no presentaron diferencias significativas ( $p < 0,005$ ).



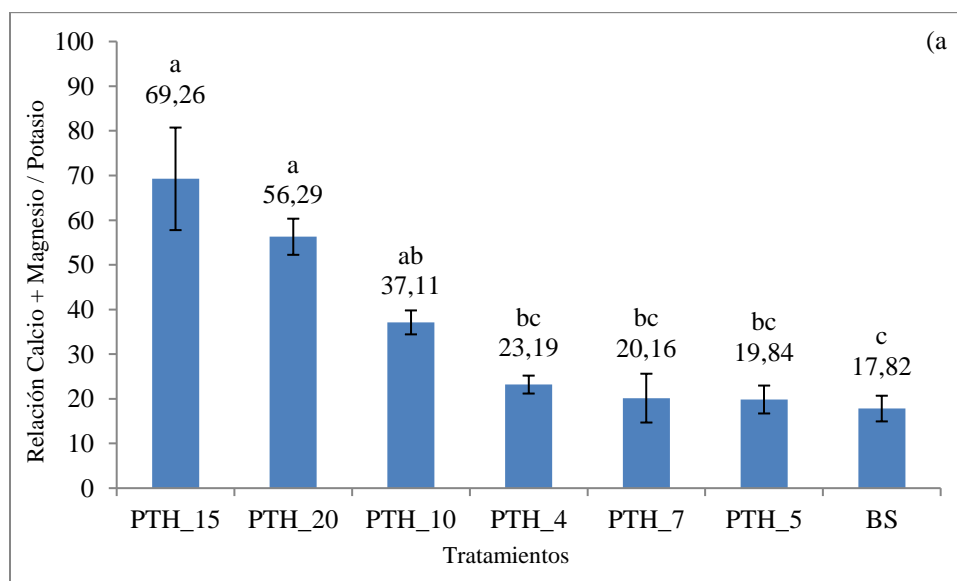
**Figura 20. Relación magnesio sobre potasio en el suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya a dos profundidades a) 0-15 cm y b) 15-30 cm**

En la figura 21a se presenta la relación calcio más magnesio sobre potasio en los suelos a una profundidad de 0 a 15 cm en cultivos de pitahaya de diferentes edades de establecimiento y el bosque secundario, esta relación revela que existen diferencias estadísticas significativas

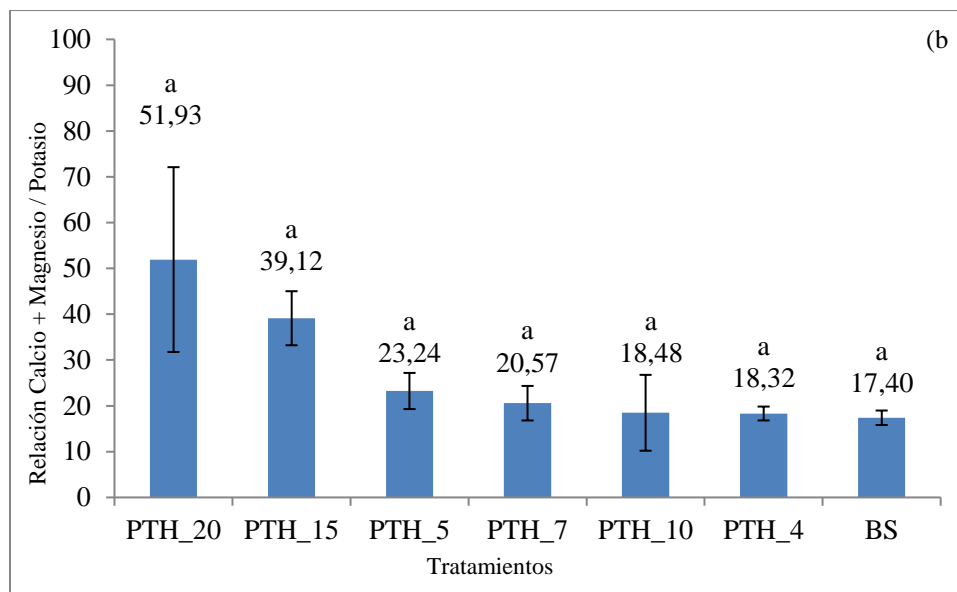
entre tratamientos. El cultivo de 15 años presentó una relación de calcio más magnesio sobre potasio de 69,26 y el bosque secundario registró la menor relación con 17,82. Estudios similares muestran valores de 5,47 en dicha relación, mostrando claramente en el presente estudio la desproporcionalidad de los cationes de intercambio, especialmente por calcio y magnesio, (González, 2018).

Ayala (2008), menciona que para el caso de los cationes Potasio, Calcio y Magnesio, no se puede decir que el problema nutricional del cultivo radica principalmente en su deficiencia, sino más bien en un elevado desbalance entre estos tres cationes, donde se aprecia un exceso de calcio con relación al magnesio y, en muchos casos, un exceso de magnesio con relación del potasio, lo que se ha agudizado en muchas áreas por no manejar su fertilización en base de un análisis de suelos y foliar, lo cual concuerda con Silva (2001), quien menciona que las relaciones de cationes intercambiables en el suelo puede no influir directamente con el crecimiento y productividad de los sistemas agrícolas; Sin embargo, es de suma importancia manejar los niveles de suficiencia en su valor óptimo.

La figura 21b presentan valores de la relación calcio + magnesio / potasio (15 – 30cm) la cual no presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).







**Figura 21. Relación calcio más magnesio sobre potasio en los suelos de 0 a 15 cm de profundidad en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya**

### **Correlaciones entre las variables de los componentes físicos, químicos y biológicos de 0 a 15 cm de profundidad**

En la tabla 5 se encuentran las correlaciones entre las variables de los componentes físicos, químicos y biológicos, las cuales presentan diferencias estadísticas significativas, las variables del componente químicos mostraron correlación directa entre el pH del suelo y el contenido de:  $\text{NH}_4$ , P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, suma de bases, relación calcio/magnesio, y relación calcio más magnesio/potasio. El pH de la solución del suelo es un buen indicador de la disponibilidad de nutrientes, en los suelos de regiones lluviosas tiende a tener valores de pH con tendencia a la acidez ( $\leq 5,0$ ) y acompañado a esto hay una tendencia a tener baja disponibilidad de calcio, magnesio y potasio y otros elementos (Osorio, 2012).

Dentro de las propiedades físicas del suelo, la arena presentó correlación negativa con limo arcilla, relación calcio sobre magnesio y relación calcio más magnesio sobre potasio. En la física de los suelos Las arenas miden de 0,2 a 2,0 mm de diámetro, las partículas de limo miden 0,002 a 0,2 mm y las arcillas miden menos de 0.002 mm de diámetro y las partículas más pequeñas reciben el nombre de coloides con mayor afinidad hacia los limos y arcillas y

tienen capacidad de cargarse eléctricamente, lo que es sumamente importante para la fertilidad del suelo (Acosta, 2007). El limo presenta correlación positiva con las arcillas las cuales presentan mayor superficie específica permitiendo así la fijación de minerales del suelo.

Entre las variables biológicas, la abundancia de lombrices presentó correlación con biomasa de lombrices, ya que de acuerdo al número de unidades encontradas reflejó el peso de las mismas. Con respecto a la variable biomasa de lombrices, ésta presentó correlación con el número de esporas de hongos formadores de micorrizas, como lo menciona Garzón (2016) existe una relación positiva entre los hongos formadores de micorrizas y otros microorganismos del suelo. Así también lombrices de tierra que pueden estimular la actividad de secreción de fosfatasas microbianas en el suelo lo que se traduce en un incremento en la tasa de crecimiento de las plantas (Peña-Venegas y Cardona, 2010).

Como se muestra en la tabla cuatro las correlaciones en la capa interna del suelo de 15 a 30 cm, se mantienen tanto para el componente químico, físico y biológico.

**Tabla 5. Correlaciones entre las variables de los componentes físicos, químicos y biológicos de 0 a 15 cm de profundidad**

Variables	Arena	Limo	Arcilla	Abundancia	Biomasa	Esporas 100gss	pH	NH4	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	MO	Suma bases	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	
Arena	1,00																							
Limo	<b>-,947**</b>	1,00																						
Arcilla	<b>-,693**</b>	<b>,445*</b>	1,00																					
Abundancia	-0,27	0,34	0,08	1,00																				
Biomasa	-0,26	0,33	0,06	<b>,988**</b>	1,00																			
Esporas100gss	0,05	0,02	-0,22	0,35	<b>,438*</b>	1,00																		
Ph	-0,42	0,41	0,19	-0,04	0,03	0,26	1,00																	
NH4	0,36	-0,37	-0,10	0,33	0,30	0,05	<b>-,695**</b>	1,00																
P	-0,29	0,31	0,09	0,19	0,25	0,31	<b>,830**</b>	<b>-,474*</b>	1,00															
K	0,00	0,07	-0,13	0,03	0,11	0,22	<b>,514*</b>	-0,24	<b>,790**</b>	1,00														
Ca	-0,37	0,34	0,21	0,00	0,07	0,23	<b>,952**</b>	<b>-,644**</b>	<b>,884**</b>	<b>,645**</b>	1,00													
Mg	-0,11	0,13	0,02	-0,18	-0,12	0,20	<b>,738**</b>	<b>-,466*</b>	<b>,876**</b>	<b>,864**</b>	<b>,801**</b>	1,00												
S	-0,19	0,25	-0,05	-0,05	-0,02	0,29	<b>,645**</b>	<b>-,488*</b>	<b>,810**</b>	<b>,700**</b>	<b>,700**</b>	<b>,842**</b>	1,00											
Zn	-0,40	0,35	0,28	0,17	0,24	0,27	<b>,863**</b>	-0,39	<b>,888**</b>	<b>,674**</b>	<b>,926**</b>	<b>,767**</b>	<b>,633**</b>	1,00										
Cu	-0,37	0,30	<b>,434*</b>	-0,08	-0,13	-0,33	0,08	0,21	-0,11	-0,28	-0,08	-0,12	-0,16	0,04	1,00									
Fe	0,39	-0,34	-0,25	0,26	0,22	0,06	<b>-,686**</b>	<b>,860**</b>	<b>-,513*</b>	-0,34	<b>-,718**</b>	<b>-,509*</b>	<b>-,545*</b>	<b>-,471*</b>	0,19	1,00								
Mn	0,31	-0,39	0,10	-0,11	-0,15	-0,33	<b>-,714**</b>	<b>,476*</b>	<b>-,522*</b>	-0,14	<b>-,539*</b>	-0,33	-0,30	<b>-,530*</b>	-0,21	0,26	1,00							
B	0,01	0,05	-0,18	0,31	0,33	<b>,651**</b>	-0,16	0,34	-0,02	-0,04	-0,15	-0,13	-0,06	0,01	-0,23	<b>,474*</b>	-0,05	1,00						
MO	0,42	-0,41	-0,24	0,30	0,28	-0,12	-0,39	<b>,619**</b>	-0,17	-0,06	-0,31	-0,25	-0,40	-0,15	0,06	<b>,574**</b>	0,23	0,14	1,00					
Suma de bases	-0,35	0,33	0,20	-0,01	0,06	0,24	<b>,948**</b>	<b>-,637**</b>	<b>,896**</b>	<b>,673**</b>	<b>,999**</b>	<b>,825**</b>	<b>,719**</b>	<b>,928**</b>	-0,08	<b>-,712**</b>	<b>-,530*</b>	-0,15	-0,31	1,00				
Ca/Mg	<b>-,461*</b>	0,37	0,35	0,02	0,08	0,20	<b>,885**</b>	<b>-,592**</b>	<b>,630**</b>	0,26	<b>,886**</b>	<b>,464*</b>	0,41	<b>,813**</b>	0,07	<b>-,657**</b>	<b>-,576**</b>	-0,14	-0,31	<b>,866**</b>	1,00			
Mg/K	-0,22	0,08	0,40	-0,23	-0,25	0,04	0,42	-0,40	0,09	-0,38	0,27	0,09	0,10	0,15	0,26	-0,33	-0,36	-0,20	-0,32	0,26	<b>,471*</b>	1,00		
Ca+Mg/K	<b>-,444*</b>	0,29	<b>,476*</b>	-0,14	-0,11	0,11	<b>,758**</b>	<b>-,574**</b>	0,42	-0,06	<b>,698**</b>	0,31	0,29	<b>,597**</b>	0,21	<b>-,605**</b>	<b>-,522*</b>	-0,18	-0,37	<b>,675**</b>	<b>,897**</b>	<b>,789**</b>	1,00	

## **Correlaciones entre las variables de los componentes físicos, químicos y biológicos de 15 a 30 cm de profundidad.**

En la tabla 6 se resumen los resultados para las correlaciones entre las variables evaluadas en la capa interior de suelo o sea en el estrato de 15 a 30 cm de profundidad, el cuanto al componente físico el contenido de arena tuvo una correlación negativa con el contenido de limo y de arcillas, así también con la materia orgánica.

En el componente biológico la variable abundancia de lombrices presentó correlación con biomasa de lombrices y el elemento hierro, Useche (2004) menciona que existen microorganismos capaces de solubilizar compuestos insolubles de fósforo con hierro (estregita), calcio en dos de sus formas (fosfato tricálcico o fosfato ortocálcico) y aluminio (variscita) dando un beneficio a la fertilidad del suelo al solubilizar altos contenidos de hierro en el suelo.

Y en el componente químico el indicador principal fue el pH que presentó correlación con P, K, Ca, Mg, S, Zn, suma de bases, relación calcio/magnesio y relación con calcio más magnesio/potasio, y correlación negativa con el Fe.

**Tabla 6. Correlaciones entre las variables de los componentes físicos, químicos y biológicos de 15 a 30 cm de profundidad**

Variables	Arena	Limo	Arcilla	Abundancia	Biomasa	Esporas 100gss	pH	NH4	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	MO	Suma bases	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	
Arena	1,00																							
Limo	<b>-,895**</b>	1,00																						
Arcilla	<b>-,738**</b>	0,38	1,00																					
Abundancia	-0,26	0,25	0,19	1,00																				
Biomasa	0,02	-0,07	0,11	<b>,689**</b>	1,00																			
Esporas100gss	-0,02	-0,25	0,35	0,00	0,02	1,00																		
pH	-0,24	0,30	0,08	-0,32	-0,29	0,14	1,00																	
NH4	-0,16	0,02	0,24	0,10	-0,03	0,22	-0,26	1,00																
P	-0,15	0,17	0,07	-0,07	-0,08	0,16	<b>,850**</b>	-0,16	1,00															
K	-0,18	0,05	0,31	-0,06	0,01	<b>,466*</b>	<b>,508*</b>	-0,18	<b>,478*</b>	1,00														
Ca	-0,26	0,30	0,08	-0,20	-0,15	0,10	<b>,893**</b>	-0,30	<b>,930**</b>	<b>,578**</b>	1,00													
Mg	-0,28	0,16	0,30	-0,11	-0,14	<b>,586**</b>	<b>,576**</b>	-0,12	0,40	<b>,862**</b>	<b>,555**</b>	1,00												
S	-0,18	0,26	0,00	0,03	-0,15	0,33	<b>,580**</b>	-0,12	0,41	0,39	<b>,443*</b>	<b>,582**</b>	1,00											
Zn	-0,23	0,20	0,13	-0,15	-0,16	0,23	<b>,802**</b>	-0,08	<b>,943**</b>	<b>,467*</b>	<b>,937**</b>	<b>,463*</b>	0,38	1,00										
Cu	-0,03	-0,01	0,00	0,18	-0,15	-0,13	-0,20	0,36	-0,20	-0,39	-0,28	-0,21	-0,07	-0,13	1,00									
Fe	0,06	-0,08	-0,02	<b>,653**</b>	<b>,516*</b>	-0,04	<b>-,716**</b>	0,40	<b>-,535*</b>	-0,27	<b>-,606**</b>	-0,26	-0,36	<b>-,531*</b>	0,22	1,00								
Mn	-0,13	-0,07	0,25	-0,07	-0,24	0,13	-0,31	<b>,575**</b>	-0,18	-0,19	-0,20	-0,11	-0,23	0,02	0,22	0,23	1,00							
B	0,33	-0,29	-0,23	0,09	0,15	-0,20	-0,09	-0,12	0,04	-0,03	-0,04	-0,27	-0,28	-0,03	0,00	0,01	-0,08	1,00						
MO	<b>,560**</b>	-0,40	<b>-,608**</b>	-0,14	-0,03	-0,22	0,06	-0,01	0,18	0,03	0,16	0,00	0,04	0,17	0,01	0,07	0,05	0,14	1,00					
Suma bases	-0,26	0,30	0,09	-0,19	-0,15	0,12	<b>,896**</b>	-0,30	<b>,924**</b>	<b>,606**</b>	<b>,999**</b>	<b>,587**</b>	<b>,456*</b>	<b>,933**</b>	-0,29	<b>-,601**</b>	-0,20	-0,05	0,16	1,00				
Ca/Mg	-0,22	0,30	0,00	-0,20	-0,14	-0,04	<b>,863**</b>	-0,28	<b>,934**</b>	0,41	<b>,974**</b>	0,37	0,36	<b>,934**</b>	-0,21	<b>-,621**</b>	-0,19	0,03	0,19	<b>,965**</b>	1,00			
Mg/K	-0,13	0,23	-0,10	-0,08	-0,26	-0,08	0,00	0,07	-0,25	<b>-,565**</b>	-0,18	-0,09	0,11	-0,17	0,36	0,05	0,07	-0,33	-0,07	-0,18	-0,14	1,00		
Ca+Mg/K	-0,33	<b>,476*</b>	-0,06	-0,17	-0,17	-0,33	<b>,724**</b>	-0,27	<b>,695**</b>	0,12	<b>,811**</b>	0,20	0,28	<b>,734**</b>	0,00	<b>-,513*</b>	-0,11	-0,05	0,20	<b>,797**</b>	<b>,875**</b>	0,20	1,00	

## Análisis de componentes principales

En la tabla 7 se evidencia que 2 de los componentes analizados explican el 67,21 % de la variabilidad del sistema de la calidad del suelo compuesto por sus indicadores, el primer componente químico explica el 41,88% de la varianza, compuesto de las variables de pH, contenido de P, Ca y sumatoria de bases. La disponibilidad de nutrientes en el suelo está, directamente influenciada por la profundidad, sugiriendo que a mayor profundidad disminuye la cantidad de nutrientes disponibles y el contenido de materia orgánica.

**Tabla 7. Matriz de ACP de los factores asociados a la calidad de suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya.**

Componente	VARIABLES	Factor de peso	Autovalor	Varianza acumulada %
CP1: Químico	pH	0,88	41,88	41,88
	P	0,96		
	Ca	0,98		
	Suma de bases	0,98		
CP2: Químico	MO	0,88	25,83	67,21
	NH <sup>4</sup>	0,83		

Estos componentes se relacionan además con la disponibilidad de nitrógeno en forma amoniacal, fósforo y potasio (N-P-K) que definen la fertilidad química del suelo (Bravo et al., 2015). El segundo componente hace referencia a la materia orgánica, y al nitrógeno amoniacal, explicado el 67,21 % de la varianza, estudios similares indican que variables relacionadas con la fertilidad del suelo, la materia orgánica, el nitrógeno total, y el nitrógeno orgánico susceptible a mineralizarse resultaron indicadores sensibles y útiles para detectar cambios producidos por el uso forestal para las profundidades bajo estudio: la superficial de 0 a 15 cm y la profunda de 15 a 30 cm (Toledo et al., 2018).

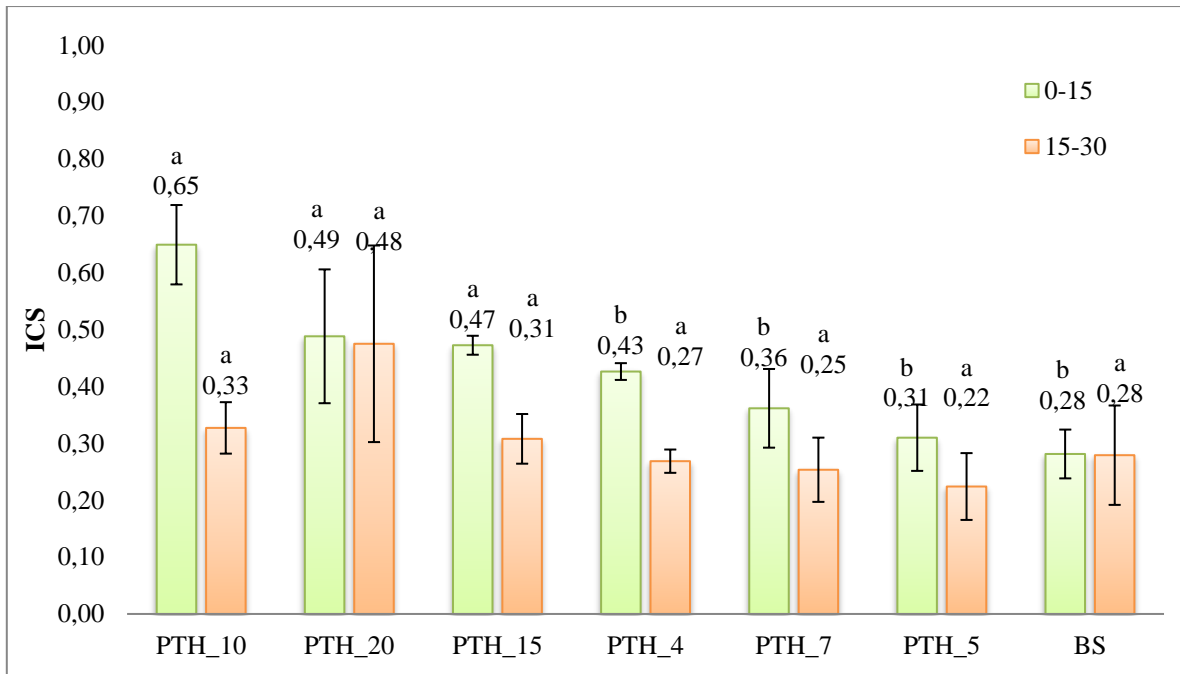
## Índice de la calidad de suelo en diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya

El suelo debe ser reconocido como un sistema vivo y dinámico que funciona a través de un equilibrio único, y la interacción de sus componentes biológicos, químicos y físicos (Moreno, González & Egido, 2015). La industrialización, globalización y el crecimiento demográfico

ha ocasionado la expansión de la frontera agrícola, utilizándose más espacio de suelo para dicha actividad, provocando deterioro en sus propiedades naturales, conduciendo a una degradación paulatina (FAO, 2016). En la figura 22 se evidencia diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos, donde el cultivo de 10, 20 y 15 años comparten grupo de clasificación estadística, presentando el mayor índice de calidad de suelo con 0,65; 0,49 y 0,47; así mismo el bosque secundario presenta el menor índice con 0,28; en la capa inferior de 15 a 30 cm de profundidad los índices oscilan entre 0,48 y 0,28 para el cultivo de 20 años y bosque secundario, sin presentar entre los tratamientos, diferencias significativas basados principalmente en indicadores químicos donde se analizaron elementos minerales del suelo, biológicos y como indicadores físicos la textura.

Estudios similares muestran que el cambio del uso del suelo genera cambios negativos en la calidad del suelo, enfocándose en las propiedades físicas, biológicas y químicas especialmente en materia orgánica, esos indicadores generan información donde el bosque nativo presentó un índice de 0,80 que fue alto y que es el resultado de valores más altos de abundancia y diversidad de macro fauna; además de la calidad físico - química del suelo, los pastizales y el bosque en regeneración reportan índices medios de la calidad del suelo con un valor de 0,61, especialmente por los altos contenidos de macrofauna y soja con 0,23 (Silva et al., 2015). Los sistemas de monocultivo degradan el suelo afectando las propiedades físicas y químicas, y su regeneración es muy lenta, así también es concluyente en mencionar que el cambio de bosque nativo a monocultivo, modificó las características físicas del suelo, especialmente en la parte superficial (Novillo et al., 2018). Por ello, mantener y preservar la calidad de las tierras es un factor importante para la estabilidad del ecosistema (Heredia, Cosentino, & Conti, 2004).

Sin embargo, la calidad del suelo debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo (Carter et al., 1997) es así que en la fase de investigación por ser un proceso de producción permite que los altos contenidos de materia orgánica, pH ligeramente ácido, altos contenidos de calcio y fósforo permitan establecer al cultivo de 10, 20 y 15 años con los índices más altos de la calidad del suelo.



**Figura 22. Índice de la calidad para las dos profundidades del suelo en las diferentes edades de establecimiento del cultivo de pitahaya**



## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones**

Mediante el análisis estadístico multivariado de componentes principales, las variables químicas, físicas y biológicas del suelo determinó que a través del pH, el fósforo, calcio, la sumatoria de bases, materia orgánica, nitrógeno amoniacal, son variables susceptibles a los cambios generados al suelo, evidenciando a los cultivos de 10, 20 y 15 años de establecimiento un mayor índice de calidad del suelo, debido al uso del suelo, actividades consecutivas en la agricultura y al sistema de manejo realizado en el cultivo de pitahaya permitiendo así su correcto desarrollo productivo.

#### **Recomendaciones**

De acuerdo a los resultados concluyentes en la presente investigación, se recomienda:

Incluir variables físicas del suelo, como densidad aparente, densidad real, respiración del suelo, conductividad hidráulica, porosidad, compactación del suelo, que permitan balancear el número de variables entre los componentes físicos, químicos y biológicos.

## Bibliografía

- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 3(5), 55-60.
- Adriaanse, A. 1993. *Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands*. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.
- Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro, AGROCALIDAD. (2009). Resolución No. 108. Guía General de Carácter voluntario referente a la Certificación de Buenas Prácticas Agrícolas. Quito – Ecuador. Consulta del: 10 de octubre de 2014. Disponible en: [http://AGROCALIDAD.gob.ec/AGROCALIDAD/images/pdfs/InocuidadAlimentaria/RESOLUCION\\_108\\_AGRICOLA.pdf](http://AGROCALIDAD.gob.ec/AGROCALIDAD/images/pdfs/InocuidadAlimentaria/RESOLUCION_108_AGRICOLA.pdf).
- Alkorta, I.; Hernández-Allica, J.; Becerril, J. M.; Amezaga, I.; Albizu, I. & Garbisu, C. (2004). Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 3:71- 90.
- Altieri, M. (1994). Bases Agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agricultura técnica*. Chile 54 (4). pp. 371-386
- Altieri, M. (1999). *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo: Editorial Nordan–Comunidad.
- Altieri, M. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático. *Agroecología*, 7-20.
- Andrades, M., & Martinez, E. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen (Tercera ed; M. Andrade & E. Martínez, Eds.). Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902&info=resumen&idioma=SPA>
- Andrews, S., Flora, C., Mitchell, J. & Karlen, D. (2003). Growers' perceptions and acceptance of soil quality indices. *Geoderma*. 114, 187-213.

- Ashman, M. R. & Puri, G. (2001). *Essencial soil science. A clear and concise introduction to soil science.* BlackwellScience. UK. 198p.
- Astier Calderón, Marta, Maass Moreno, M., Etchevers Barra, J. (2002) Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia.* 36 (5) 605-620.
- Ayala, A. (2008). Evaluación de diferentes relaciones de Ca, Mg, y K en la palma aceitera (*Elaeis guinensis* Jacq) bajo condiciones de riego y sin riego. La Concordia, Esmeraldas. La Concordia, Esmeraldas: TESIS, Impresión.
- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., Castillo, R. & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, XIII (2).
- Bastida, F., Moreno, J.L., Hernandez, T. & García, C. (2006). Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biology and Biochemistry.* 38, 3463-3473.
- Brady, N. C., Weil, R. R., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils* (Vol. 3, pp. 662-710). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Bedano, J. C. (2011). La importancia de la mesofauna y macrofauna edáfica y su uso en la evaluación de la calidad del suelo. En: *Memorias del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 2da. Reunión de Suelos de la región Andina.* Argentina: INTA Balcarse, p. 5.
- Beretta, A. N., Silbermann, A. V., Paladino, L., Torres, D., Bassahun, D., Musselli, R., & García-Lamohte, A. (2014). Soil texture analyses using a hydrometer: modification of the Bouyoucos method. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 41(2), 263-271.
- Black, C. (1965). *Methods of soil and plant analysis, Part 2 Agronomy.* Wisconsin (U.S). Ed. American Society of Agronomy. pp. 1367-1378.

- Blake, G.R. & Hartge, K.H. (1986). Bulk Density. In: A Klute (ed). Methods of soil analysis. part 1. Physical and Mineralogical Methods. Pp. 363- 375. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (2008). The Nature and Properties of Soils; Pearson International Edition ed.: United States of America.
- Bravo, C., Benítez, D., Vargas-Burgos, J.C., Alemán, R., Torres, B. & Marín, H. (2015). Socio environmental characterization of agricultural production units in the Ecuadorian Amazon Region, subjects Pastaza and Napo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4, 3-31.
- Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Torres, R., ... & 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., Lozano, Z., Hernández-Hernández, R. M., Cánchica, H. & González, I. (2018). Siembra directa como alternativa agroecológica para la transición hacia la sostenibilidad de las sabanas. *Acta Biológica*, 28 (1),7-26.
- Breno, P.; Onã da Silva, F. & Nahas, E. (2009). Microbial alterations of the soil influenced by induced compaction. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 33 (5). 1207-1213.
- Brown, G; Fragoso, C; Barois, I; Rojas, P; Patrón, J; Bueno, J; Moreno, A; Lavelle, P; Ordáz, V & Rodríguez, C. (2001). Diversidad funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zool. Mex*, 1: 79-110
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., & Schiavo, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del suelo*, 25(2).
- Condé, M., Homem, B., De Almeida, O. & Santiago, A. 2012. Influência da aplicação de águas residuárias de criatórios de animais no solo: Atributos químicos e físicos. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 2(1).

- Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. y Pierce, F.J. (1997). Concepts of soil quality and their significance. En *Soil quality for crop production and ecosystem health* (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S. & Quiñonez, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta ecológica* N° 83 5 - 71 Instituto Nacional de Ecología, México.
- Custode, E. & Sourdat, M. (1986). Paisajes y suelos de la Amazonía ecuatoriana: entre la conservación y la explotación. *Revista del Banco Central del Ecuador* 24: 325-339.
- Chinchilla, C. (2004). Curso internacional de la palma aceitera ASD, Costa Rica. Semillas y clones de palma de alto rendimiento y enfermedades de la palma aceitera. *Palmas*, 25-29.
- Garg N, C. S. (2010). Arbuscular mycorrhizal networks: Process and functions. *A review Agronomy for Sustainable Development*, 581-599.
- Gerdemann, J. W., & Nicholson, T. H. (1963). Spores of micorrhizal endogone species extracted from soli by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46:235-244.
- George, A. 2006. Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Turrialba (Costa Rica), CATIE, 118 p.
- González Gordon, R. A., Alvares Albanes, E. Y., & Castañeda Sánchez, D. A. (2018). Evaluación de la calidad química del suelo en agroecosistemas cacaoteros de la subregión del Nordeste y Urabá Antioqueño. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 5(1), 41-52. <https://doi.org/10.23850/24220582.730>
- Henriquez, C., Bertsch, F., & Salas, R. (1995). *Fertilidad de suelos: Manual de laboratorio*. Asociación Costarricense Ciencias del Suelo. San José, Costa Rica.

- Heredia, O. S., Cosentino, D., & Conti, M. E. (2004). Calidad del suelo: intensificación del uso de la tierra y materiales coloidales en Hapludertes de Entre Rios. *Rev. Científica Agropecuaria*, 8, 57-64.
- Hodgson, JF; WL Lindsay & JF Trierweiler. 1966. Micro-nutrient cation complexing in soils solution: II complexing of zinc and copper in displaced solution from calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 723-726
- Huachi, L., Yugsi, E., Paredes, M., Coronel, D., Verdugo, K., & Coba Santamaría, P. (2015). Desarrollo de la Pitahaya (*Cereus Sp.*) en Ecuador. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 22 (2), 50-58.
- Hunter, A. H. (1975). Análisis de suelo para pH, acidez extractable. Mimeografiado 3 p.
- Hünemeyer, J.A., De Camino, R. & Müller, S. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- Intriago, R., & Amézcuca, R. G. (2016). Agroecología en el Ecuador. proceso histórico, logros y desafíos. *Agroecología*, 11(2), 95-103. Recuperado de <<https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/330131>>
- Juárez-Ramón, D., & Fragoso, C. (2014). Comunidades de lombrices de tierra en sistemas agroforestales intercalados, en dos regiones del centro de México. *Acta zoológica mexicana*, 30(3), 637-654.
- Kalisz, P., & Powell, E. (2000). Invertebrate macrofauna in soils under old growth and minimally disturbed second growth forests of the Appalachian mountains of Kentucky. *The American Midland Naturalist*, 44, 297–307.
- Karlen, D.L., Andrews, S.S., Weinhold, B.J. & Doran, J.W. (2003). Soil quality: Humankind's foundation for survival. *J. Soil Water Conserv.* 58(4), 171-179.
- Lal, R.J. (2000). Physical management of soils of the tropics: Priorities for the 21st century. *Soil Science*. 165: 192-207

- Le Bellec, F., F. Vaillant y E. Imbert. 2006. Pitahaya (*hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. *Fruits*, 61(4): 237–250.
- Martin, N. & Adad, Idaybis. (2006). Generalidades más importantes de las ciencias del suelo. En: *Disciplina Ciencias del Suelo. Tomo I. Pedología*. Universidad Agraria de La Habana. Cuba. 504 p.
- Martínez, A., & Leyva, A. (2014). La Biomasa de los cultivos en el agroecosistema, sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, 35(1), 11–20. Retrieved from <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Masto, R.E., Chhonkar, P.K., Singh, D. & Patra, A.K. (2008). Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. *Environmental monitoring and assessment*. 136, 419-435.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG. (2018). Censo del cultivo de la Pitahaya en el cantón Palora.
- Momo, F. (1993). Relación entre la abundancia de distintas especies de lombrices de tierra (*Annelids, Oligochaeta*) y algunos parámetros fisicoquímicos en un suelo típico de la estepa pampeana. *Asociación Argentina de Ecología*, 7-14
- Moreno, C. González, M. & Egido, J. (2015). Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. *Ecuador es calidad: Revista Científica Ecuatoriana*, 2(1). DOI, disponible en <<https://doi.org/10.36331/revista.v2i1.8>>
- Morillo, A., Tovar, Y., & Morillo, Y. (2017). Caracterización molecular de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.) en la provincia de Lengupá, Boyaca-Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15 (1),11-18.
- Murillo, J., Rodríguez, G., Roncallo, B., Rojas, Leila Amparo, & Bonilla, Ruth Rebeca. (2014). Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados. *Pastos y Forrajes*, 37(3), 270-278.

- Nieto, C., & Caicedo, C. (2012). Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazonia ecuatoriana. INIAP - EECA Publicación Miscelanea N° 405, Joya de los Sachas. 102 p.
- Novillo Espinoza, I., Carrillo Zenteno, M., Cargua Chavez, J., Nabel Moreiral, V., Albán Solarte, K., & Morales Intriago, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177-187. DOI, disponible en <<https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>>
- Osorio, N. (2014). Manejo de Nutrientes en Suelos del Trópico. Colombia: Editorial L. Vieco S.A.S.
- Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1-4.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Corporación Andina de Fomento (CAF). (2009). Ecuador. Nota de análisis sectorial: agricultura y desarrollo. Disponible en <<http://www.fao.org/3/ak168s/ak168s00.htm>>
- Ozturkmen, A., & Kavdir, Y. (2012) Comparison of some quality properties of soils around land-mined areas and adjacent agricultural fields. *Environmental Monitoring and Assessment* 184, 1633-1643.
- Pardo, A. & Ruiz, M. (2002). SPSS 11. Guía para el análisis de datos. McGraw Hill Interamericana de España. Madrid, España. 715 p.
- Peña-Venegas, C. P., Cardona, G., Mazorra, A, Arguelles, J. H. y Arcos, A. (2006). Micorrizas arbusculares de la Amazonia colombiana. Leticia: Instituto Colombiano de Investigaciones Científicas - Sinchi.



- Pla, I. (1983). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Rev. Alcance Fac. Agron. UCV 32. 91 p.
- Pla, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. Propiedades Mecánicas. Suelos Ecuatoriales, 40 (2). 75-93.
- Peña-Venegas, C. P. y Cardona, G. (2010). Dinámica de los suelos amazónicos: Procesos de degradación y alternativas para su recuperación. Leticia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - Sinchi.
- Pérez, A., Rojas, J., & Montes, D. (2011). Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano. Rev. Colombiana cienc. Anim, 366-385.
- PDOT GADPR Sangay. (2015). Plan de Desarrollo y ordenamiento Territorial. En línea, disponible en [http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1460018900001\\_diagn%c3%92stico%20-%20pdyot%20gad%20sangay\\_16-05-2015\\_23-57-25.pdf](http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1460018900001_diagn%c3%92stico%20-%20pdyot%20gad%20sangay_16-05-2015_23-57-25.pdf)>
- Ratto de Minguez, S & Fatta, N. (1990). Disponibilidad de micronutrientes en suelos del área maicera núcleo. Ciencia del Suelo 8: paginas 9- 15
- Roca, N., Pazos, M. S., & Bech, J. (2007). Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO Argentino. Ciencia del suelo, 25(1), 31-42.

- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay.
- Sánchez, J. (2017). Vermicompostaje de residuos orgánicos con lombrices del género Eisenia. (Universidad de Sevilla). Retrieved from [https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/64332/TFG Juan Manuel Sanchez Lombricultura.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/64332/TFG%20Juan%20Manuel%20Sanchez%20Lombricultura.pdf?sequence=7&isAllowed=y)
- Santos, L, Passos, R, Silva, L., Oliveira, P., García, G. & Cecílio, R. 2010. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. Bioscience Journal, 26, 940-947
- Silva, F. (2001). Fertilidad de suelos Diagnostico y Control. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo (2da Ed.). Bogotá. D.C. Colombia
- Silva, E. D., Velásquez, E., Santos, A., Bartz, M. L. C., Lavelle, P., & Brown, G. G. (2015). Indicador general de calidad del suelo en diferentes sistemas de uso del suelo en el Sur de Brasil. In V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA (La Plata, 2015).
- Singer, M. J. y Ewing, S. 2000. Soil Quality. En Handbook of Soil Science. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Soil Quality Institute (SQI). 1996. Indicators for soil quality evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service, Washington D.C., USA

- Soto-Mora, E. S., Hernández-Vázquez, M., Luna-Zendejas, H. S., Ortiz-Ortiz, E., & García-Gallegos, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno.
- Schoenholtz, S.H., Miegroet, H.V. & Burger, J.A. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *For. Ecol. Manag.* 138, 335-356. Doi: 10.1016/S0378-1127(00)00423-0
- Tapia-Coral, S., Teixeira L., A., Velásquez, E., & Waldez, F. (2016). Macroinvertebrados del suelo y sus aportes a los servicios ecosistémicos, una visión de su importancia y comportamiento. *Revista Colombiana De Ciencia Animal - RECIA*, 8(s), 260-267. DOI, disponible en <<https://doi.org/10.24188/recia.v8.n0.2016.380>>
- Toledo, M., Arzuaga, A., Galantini, A, & Vazquez, S. (2018). Indicadores e índices biológicos de calidad de suelo en sistemas forestales. *Ciencia del Suelo*, 36(2).
- Torri, S., Urricariet, S., Lavado, R., (2015). Micronutrientes y elementos traza. En: Echeverría, He; García, FO. *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos* segunda edición. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. Pp 357-378
- Trujillo, X. (2014). Microorganismos asociados a la pudrición blanda del tallo y manchado del fruto en el cultivo de pitahaya amarilla en Ecuador; Tumbaco - Pichincha. Tesis de pregrado. Repositorio digital Universidad Central del Ecuador. Recuperado el 10 de 09 de 2019, Disponible en <<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2494/1/T-UCE-0004-77.pdf>>
- Useche, Y. M., Valencia, H. y Pérez, H. (2004). Caracterización de bacterias y hongos solubilizadores de fosfato bajo tres usos de suelo en el sur del Trapecio Amazónico. *Acta Biológica Colombiana*, 9(2), 129-140

- Valera, C. A., Valle Junior, R. F., Varandas, S. G. P., Sanches Fernandes, L. F., & Pacheco, F. A. L. (2016). The role of environmental land use conflicts in soil fertility: A study on the Uberaba River basin, Brazil. *Science of The Total Environment*, 562, 463-473.
- Valverde, M., (2019). Plan de negocios para la elaboración y comercialización de mermelada de pitahaya amarilla originaria del cantón Palora, provincia Morona Santiago. Tesis de pregrado. Repositorio digital de la Universidad de Guayaquil Disponible en <<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/41418>>
- Vargas, Y., Alcivar, W., Nicolalde, Tinoco, L., Díaz, A., Viera, W. (2018). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Central Amazónica. (Noviembre, 2018). 1er Congreso internacional alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sostenible en la Amazonía ecuatoriana. (Efecto de Diferentes Sistemas Agroforestales con Pitahaya (*Hylocereus megalanthus* Haw.) sobre la Abundancia y Biomasa de Lombrices y Rendimiento del Cultivo, en el cantón Palora). Sacha, EC: INIAP/AGLATAM p. 1-7 Disponible en <<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5418>>
- Verhulst, N., François, I., & Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 1-9.
- Zimmerman, D. (1998). Invalidation of parametric and nonparametric statistical tests by concurrent violation of two assumptions. *Journal of Experimental Education*, 67(1), 55-68. DOI, disponible en <<http://dx.doi.org/10.1080/00220979809598344>>
- Zhang, W., Ricketts, T.H., Kremen, C., Carney, K. & Swinton, S.M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecol. Econ.* 64, 253-260.