

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



FACULTAD DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

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

TEMA:

INFLUENCIA DE LA EDAD DEL CULTIVO DE PITAHAYA AMARILLA
(*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. Ex Vaupel) Moran) EN LA FERTILIDAD DEL
SUELO, CANTÓN PALORA, PROVINCIA MORONA SANTIAGO.

AUTORES:

BERMEO SAMANIEGO TALIA BRIGITTE

DIOSES CASTILLO DAJHANA YHARUSKA

DIRECTOR:

Dr. CARLOS ALFREDO BRAVO MEDINA, PhD

PUYO – PASTAZA – ECUADOR

2019-2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Dajhana Yharuska Dioses Castillo, con cédula de identidad 70930788, y Talía Brigitte Bermeo Samaniego, con cédula de identidad 1600626269, declaramos que las actividades realizadas para la ejecución y culminación del presente proyecto de investigación, que tiene como tema **“INFLUENCIA DE LA EDAD DEL CULTIVO DE PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. Ex Vaupel) Moran) EN LA FERTILIDAD DEL SUELO, CANTON PALORA, PROVINCIA MORONA SANTIAGO”**, se basaron en la búsqueda de información, ideas, análisis, conclusiones y recomendaciones, que me guiaron para estructurar nuestro trabajo y sea considerado para posibles investigaciones futuras, basándose en los resultados obtenidos; además queda bajo nuestra responsabilidad en forma legal y académicamente como autores del presente trabajo previo a la obtención del título como Ingeniero Agropecuario.

Autores

Dajhana Yharuska Dioses Castillo
CI. 70930788

Talía Brigitte Bermeo Samaniego
CI. 1600626269

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Yo, Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina, PhD con C.I: 1757015373 alego que las señoritas **Dajhana Yharuska Dioses Castillo** y **Talía Brigitte Bermeo Samaniego** egresadas de la carrera Ingeniería Agropecuaria por la Universidad Estatal Amazónica, realizaron el Proyecto de Investigación titulado: **“INFLUENCIA DE LA EDAD DEL CULTIVO DE PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. Ex Vaupel) Moran) EN LA FERTILIDAD DEL SUELO, CANTÓN PALORA, PROVINCIA MORONA SANTIAGO”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario bajo mi supervisión.

Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina, PhD
DIRECTOR DEL PROYECTO

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El Proyecto de Investigación, titulado: **“INFLUENCIA DE LA EDAD DEL CULTIVO DE PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. Ex Vaupel) Moran) EN LA FERTILIDAD DEL SUELO, CANTÓN PALORA, PROVINCIA MORONA SANTIAGO”**, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Dr. Segundo Benedicto Valle Ramírez
Presidente del Tribunal

MSc. Sandra Luisa Soria Re
Miembro del Tribunal

MSc. Jorge Antonio Freile Almeida
Miembro del Tribunal

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme disfrutar y tener a mi familia junto a mí.

A la facultad de Ciencias de la Tierra junto con sus docentes, que me han impartido enseñanzas durante todo este trayecto, hasta alcanzar mi meta propuesta.

Gracias a mi padre Luis y mi madre Moraima por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, todo su amor, esfuerzo y apoyo me han ayudado a alcanzar todos mis anhelos.

A mi esposo Reinaldo por apoyarme incondicionalmente en todo momento.

Al Dr. Carlos Bravo por todo su apoyo durante la realización del proyecto de investigación, de una manera desinteresada.

¡Gracias!

BERMEO SAMANIEGO TALÍA BRIGITTE.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a DIOS por haberme dado salud y vida para cumplir una de muchas metas y por haberme dado la inteligencia, sabiduría y fuerza necesaria para seguir adelante y no rendirme.

A la Universidad Estatal Amazónica, por darme la oportunidad de poder ejercer una carrera profesional fuera de mi país natal que es Perú, agradecer de igual manera a todo el personal que ha estado encargado de la buena educación para nosotros y por permitirme realizar el presente proyecto de investigación dentro de sus instalaciones, en realidad me siento muy agradecida con todas las personas que han hecho posible lo que tanto he anhelado.

Un Agradecimiento especial a mis padres Edilberto Dioses Vilela y Rosa Elvira Castillo Rueda quienes me han apoyado humildemente recomendándome siempre seguir por el camino de bien.

Con cariño a mi hermana Seleny Yaniris Dioses Castillo, quien también con sus buenos consejos me ayudó mucho para lograr con éxito esta etapa de mi vida.

Al Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina por su apoyo durante el proceso de la investigación y por los conocimientos enseñados.

Por último, agradecer a mi mejor amiga Denisse Alcívar que me ha apoyado incondicionalmente en este camino y que siempre fueron necesarias sus palabras para seguir firme y culminar este periodo.

“MUCHAS GRACIAS A TODOS”

DIOSSES CASTILLO DAJHANA YHARUSKA

DEDICATORIA

Este presente proyecto de investigación se la dedico con todo mi amor y cariño a mi esposo Reinaldo por su apoyo y esfuerzo en esta travesía.

A mi amado hijo Sebastián por ser mi frente de motivación e inspiración para superarme.

A mis padres quienes con sus palabras de aliento me animaron a seguir adelante para cumplir mis ideales.

A mis hermanos: Vanessa y Adrián por estar conmigo en todo momento, por sus consejos y por todos los valores y principios inculcados en mí.

BERMEO SAMANIEGO TALÍA BRIGITTE

DEDICATORIA

Este presente proyecto de investigación se la dedico a Dios, por ser mi guía en todo momento, por darme la valentía y lucha para poder culminar exitosamente este proceso muy importante en mi vida.

Con mucho amor y cariño a mis padres, por brindarme su apoyo incondicional, su paciencia y su sacrificio durante estos largos años, porque a pesar de la distancia nunca me dejaron sola.

A mi hermana Seleny Dioses Castillo, por estar siempre aconsejándome y dándome ánimos para seguir luchando por mis sueños y metas.

A mis Abuelitos, ya que en su momento me apoyaron completamente, sé que desde el cielo se sienten muy orgullosos de mí, disfruté mucho de su sabiduría, sus enseñanzas y todo lo bueno que me brindaban, estuvieron cuando más los necesité y sé que ahora sonríen junto a mí por haber culminado este proceso de formación profesional.

DIOSES CASTILLO DAJHANA YHARUSKA

RESUMEN

El experimento fue realizado en la finca Procel, con la finalidad de determinar la influencia de la edad del cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. Ex Vaupel) Moran) sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo. Los tratamientos incluyeron plantaciones de pitahaya de 5, 10 años y bosque secundario como sistema de referencia; se tomó muestras de suelo, las cuales fueron analizadas en laboratorio obteniéndose indicadores físicos (textura, Da, Ksat, Pt, Pa, Pr), químicos (pH, $Al^{+3} + H^+$, Al^{+3} , MO, Nt, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) y biológicos (número de lombrices, Biomasa). Los resultados reflejan suelos con clase texturales similares entre todos los tratamientos como textura Franco en el horizonte superficial (0-10 cm) y Franco arenosa sub-superficial (10-30 cm). Los parámetros físicos asociados a la fertilidad muestran valores por lo general óptimos en ambas profundidades y en todos los tratamientos lo que demuestra que a pesar del cambio de uso de la tierra no se presentaron problemas de compactación del suelo y por el contrario existe un ambiente edáfico para un adecuado crecimiento de raíces y de microorganismos. Los parámetros químicos evidenciaron en todos los tratamientos suelos con alto contenido de materia orgánica y su alta correlación con el Nt ($r=0,84$) demuestra que constituye una fuente importante para el desarrollo de las plantas. Se observó un mejoramiento en las variables químicas asociadas a la fertilidad (pH, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) con el uso de pitahaya con respecto al Bosque secundario, lo cual está relacionado al uso de enmiendas y abonos orgánicos e inorgánicos.

Palabras claves: Propiedades del suelo, Fertilidad, Pitahaya, Amazonia ecuatoriana, Calidad.

ABSTRACT

The experiment was carried out in the Procel farm, with the purpose of determining the influence of the age of the cultivation of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. Ex Vaupel) Moran) on the physical, chemical and biological parameters of the soil. The treatments included pitahaya plantations of 5, 10 years and secondary forest as reference system; Soil samples were taken, which were analyzed in the laboratory obtaining physical indicators (texture, Da, Ksat, Pt, Pa, Pr), chemicals (pH, $\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$, Al^{+3} , MO, Nt, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) and biological (number of earthworms, Biomass). The results reflect similar textural class soils among all treatments such as texture Franco on the surface horizon (0-10 cm) and sandy sub-surface loam (10-30 cm). Physical parameters associated with fertility generally show values optimal in both depths and in all treatments, which shows that despite the change in land use there were no problems of soil compaction and on the contrary, there is an edaphic environment for adequate growth of roots and microorganisms. The chemical parameters showed in all treatment's soils with a high content of organic matter and their high correlation with the Nt ($r = 0.84$) demonstrates that it constitutes an important source for the development of the plants. An improvement in the chemical variables associated with fertility (pH, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) was observed with the use of pitahaya with respect to the secondary Forest, which is related to the use of organic and inorganic amendments and fertilizers

Keywords: Soil properties, Fertility, Pitahaya, Ecuadorian Amazon, Quality

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.4 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	4
1.5 OBJETIVOS	4
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	4
CAPÍTULO II.....	5
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.1.1 BASES TEÓRICAS	5
2.1.2.1 EL RECURSO SUELO	5
2.1.2.2 IMPORTANCIA DEL SUELO.....	5
2.1.2.3 FUNCIONES DEL SUELO	5
2.1.2.3.1 Producción de alimentos y biomasa.....	6
2.1.2.3.2 Escenario indispensable para los ciclos biogeoquímicos.	6
2.1.2.3.3 Almacenamiento o fijación de carbono.	6
2.1.2.3.4 Almacenamiento y filtración de agua.	6
2.1.2.4 FERTILIDAD INTEGRAL DEL SUELO	6
2.1.2.5 PARÁMETROS DEL SUELO ASOCIADOS A LA FERTILIDAD	7
2.1.2.5.1 Físicas	7
2.1.2.5.2 Químicas	7
2.1.2.5.3 Biológicas	8
2.1.2.6 EL CULTIVO DE LA PITAHAYA AMARILLA.....	8
2.1.2.6.1 GENERALIDADES	8
2.1.2.6.2 ORIGEN DE LA PITAHAYA AMARILLA	8
2.1.2.6.3 CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS	9
2.1.2.6.5 VALOR NUTRITIVO.....	11
CAPÍTULO III	12
3.1 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	12
3.1.1 LOCALIZACIÓN	12
3.1.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	12

3.1.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	12
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS	15
CAPÍTULO IV.	16
RESULTADOS Y DISCUSION	16
CAPÍTULO V.	34
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
CAPÍTULO VI.	36
BIBLIOGRAFIA	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores promedios de la textura del suelo bajo distintas plantaciones de pitahaya a dos profundidades.....	16
Tabla 2. Variables físicas asociadas a la fertilidad del suelo bajo distintas plantaciones de.. pitahaya.....	17
Tabla 3. Correlaciones entre variables a nivel (0-10 cm) de profundidad.....	31
Tabla 4. Correlaciones entre variables a nivel (10 -30 cm) de profundidad.....	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación relativa del cantón Palora y la finca Procel.....	12
Figura 2. Esquema de muestreo sistemático para el estudio de las propiedades del suelo en cada uso de tierra seleccionado.....	13
Figura 3. Comportamiento del pH en las diferentes plantaciones y bosque secundario.....	20
Figura 4. Comportamiento de Acidez ($Al^{+3} + H^{+}$) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.....	21
Figura 5. Comportamiento del Aluminio intercambiable (Al^{+3}) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.....	22
Figura 6. Comportamiento de la Materia Orgánica (MO, %) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.....	23
Figura 7. Comportamiento del Nitrógeno total (Nt, %) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.....	24
Figura 8. Comportamiento del Fosforo (P, mg kg ⁻¹) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.....	25
Figura 9. Comportamiento del Potasio (K ⁺ meq 100 g s) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.....	25
Figura 10. Comportamiento del Calcio (Ca^{2+}) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.....	26
Figura 11. Comportamiento del Magnesio (Mg^{2+}) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.....	27
Figura 12. Comportamiento del N° de lombrices en las diferentes plantaciones y bosque secundario.....	28
Figura 13. Comportamiento de la hojarasca en las diferentes plantaciones y bosque secundario.....	29

CAPITULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

La Región Amazónica Ecuatoriana (RAE), comprende el 2 % de la cuenca del río Amazonas, con una extensión territorial de 116.441 Km², representando en superficie la región natural más grande del Ecuador con aproximadamente el 45 % del territorio Nacional (Nieto y Caicedo, 2012). Por sus bosques naturales y la extraordinaria biodiversidad constituye un ecosistema de gran interés local y global (Martin y Pérez, 2009). En este contexto, las condiciones de clima extremadamente lluvioso en esta zona, con suelos poco fértiles y susceptibles al lavado de nutrientes y a la erosión, explican la poca aptitud de la región para actividades agropecuarias tradicionales, pero sí para sistemas productivos análogos al bosque o para sistemas conservacionistas (Bravo, Benítez, Burgos, Alemán, Torres y Marín, 2015).

Entre los cultivos agrícolas la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. Ex Vaupel) Moran) ha crecido a ritmos acelerados y ha logrado alcanzar mercados internacionales, cuyas necesidades de producción requieren de un gran cuidado y uso de fertilizantes orgánicos y químicos en grandes cantidades, aplicaciones que poco a poco han ido deteriorando la composición química y textura de los suelos (Crane & Balerdi, 2005).

El consumo de pitahaya a nivel mundial es altamente cotizado, principalmente en países orientales como Tailandia, Indonesia y Vietnam. Ecuador aporta con su cuota de participación creciente en las exportaciones de pitahaya, cerrando sus exportaciones anuales al 2014 con 128.13 TM de pitahaya exportada, lo que representa 1'243.000 USD (Banco central del Ecuador, 2015). En el Cantón Palora se producen 12 millones de kilos de pitahaya amarilla, de los cuales se exporta cerca del 80%. En el Cantón Palora existen 1.528 hectáreas sembradas de las cuales 664 están en producción (Súarez, Pico, Caicedo, Delgado, 2018).

En el Ecuador hay cultivos tanto de pitahaya amarilla como de pitahaya roja. La pitahaya amarilla se encuentra en el Noroccidente de Pichincha, Imbabura y en la región Amazónica. Mientras la pitahaya roja se encuentra cultivada en la provincia del Guayas (Pozo, 2011).

En cuanto a los nombres científicos de las pitahayas sembradas en el país, existe confusión. Ya que, a la pitahaya amarilla, algunos autores la denominan *Hylocereus triangularis* (Pozo, 1999; Asistencia Agroempresarial Agribusiness, 1992).

Sin embargo Neill¹ (2020) asegura que la especie cultivada en Palora se trata de la variedad: *Selenicereus megalanthus*.

Las altas tasas de deforestación y expansión de fronteras generan grandes impactos sobre la biodiversidad y conservación de los recursos naturales (Bravo et al., 2015). La disminución del contenido de macro y micro nutrientes y el aumento en la susceptibilidad a la erosión hídrica a medida que se prolongan los años de agricultura y se incrementan las prácticas tales como monocultivo y siembra convencional, evidencian el deterioro de la calidad del suelo en relación a los sitios bajo bosque nativo que son los que presentan el máximo potencial (Campitelli, Aoki, Gudelj, Rubenacker y Sereno, 2010).

Gran parte del proceso microbiano que contribuyen a la fertilidad de los agro ecosistemas y ciclado de los nutrientes ocurren en el suelo. La cantidad y calidad de la materia orgánica edáfica juegan un papel fundamental en el buen desarrollo y sustentabilidad de los sistemas agrícolas debido a que impacta significativamente sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Di Ciocco, Sandler, Falco, Penón y Coviella, 2013).

Sin embargo, en muchas localidades de la región se vienen desarrollando otros sistemas agrícolas, que requieren la optimización del manejo integral para obtener rendimientos sostenibles.

Por ello, la degradación que presentan los suelos requieren de un manejo integrado para mejorar su capacidad productiva, situación que demanda que los técnicos, profesionales y responsables de producción agropecuaria amplíen sus conocimientos relacionados con la conservación para lograr un equilibrio en el sistema suelo-planta-animal posibilitando una producción agroecológica obteniendo beneficios económicos y sociales (Sánchez, Hernández y Ruz, 2011). En esta realidad, uno de los inconvenientes principales es la falta de conocimientos y estudios de suelo de carácter científico que permitan soportar y mejorar las prácticas agronómicas que los productores desarrollan, basados en sus propias experiencias.

Sin embargo, algunos investigadores han centrado sus estudios en el tratamiento pos cosecha y medios de conservación de la fruta y en contraste con aquello en la actualidad existen muy pocos artículos científicos y de revisión que centren sus investigaciones en la caracterización de las propiedades del suelo como indicadores de su fertilidad, en el cultivo de pitahaya amarilla en Ecuador.

¹Neill, D. (2020). Comunicación personal.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las características físicas, químicas y biológicas del suelo deben ser conocidas por el productor agrícola debido a que el crecimiento, desarrollo de los cultivos, cantidad y calidad de las cosechas están en relación directa con los nutrimentos de este. Los análisis de suelo no solo cumplen un papel importante para la dosificación en el uso de fertilizantes y por lo tanto en la disminución de los costos de producción del agricultor; sino también, en la conservación o mejoramiento de la calidad del suelo y el agua. Este procedimiento de análisis resulta aparentemente costoso, pero saldría más caro ambientalmente y presupuestalmente realizar rutinas de manejo en el cultivo sin basarse primero en estos resultados; ya que el empleo de prácticas inadecuadas provoca la degradación de los suelos y como consecuencia, el deterioro de la calidad edáfica (Lal, Blum, Valentine & Stewart, 1998).

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las condiciones de clima extremadamente lluvioso en la región amazónica ecuatoriana, con suelos poco fértiles y susceptibles al lavado de nutrientes y a la erosión, explican la poca aptitud de la región para actividades agropecuarias tradicionales, pero sí para sistemas productivos análogos al bosque o para sistemas conservacionistas (Bravo et al., 2015). La alta precipitación y temperatura hace que se genere un proceso de máxima alteración que favorece el lavado de nutrientes principalmente bases cambiables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) y propicia el enriquecimiento de óxidos de hierro y aluminio, así como la presencia de arcillas de baja actividad como la caolinita (Custode y Sourdat, 1986). En síntesis, los suelos por naturaleza son de baja fertilidad, ácidos, con altas concentraciones de aluminio intercambiable y baja disponibilidad de nutrientes. En términos prácticos significa que cualquier cambio de uso de la tierra que implique la intervención del bosque para la siembra de cultivos en un esquema convencional, requerirá de la aplicación de fertilizante para obtención de ciertos niveles de producción (Bravo et al., 2017).

Bajo esta perspectiva, el cantón Palora se ha convertido en el mayor productor del cultivo de pitahaya con una superficie cercana a las 2000 ha, de gran importancia socioeconómica como modo de vida para los habitantes de la zona por su gran potencial productivo y posibilidad de exportación. Sin embargo, la falta de conocimientos de los productores en cuanto a la optimización de las distintas prácticas agronómicas del cultivo, en especial la fertilización hace necesario profundizar el estudio de las propiedades como indicadores del

suelo, para evitar el deterioro de la calidad del suelo y propiciar un manejo integrado del cultivo.

En el Cantón Palora existen escasos estudios de suelo en los sistemas de producción de pitahaya en diferentes edades del cultivo y más aún del diagnóstico de su fertilidad por lo cual se desconoce su potencial agrícola, tomando en cuenta que todos los suelos no poseen las mismas características, es la razón principal por la cual la presente investigación plantea realizar un análisis de los parámetros relacionados a la fertilidad del suelo.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo puede afectar la edad de la plantación de pitahaya amarilla sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos asociados a la fertilidad del suelo?

1.5 OBJETIVOS:

1.5.1 OBJETIVO GENERAL.

- Evaluar el impacto de la edad del cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) sobre los parámetros del suelo asociados a la fertilidad en la finca “Procel”, Cantón Palora, Provincia Morona Santiago.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo como indicadores de impacto de uso de la tierra con plantaciones de pitahaya amarilla (*S. megalanthus*).
- Establecer las relaciones de las propiedades del suelo asociadas a la fertilidad en distintas plantaciones del cultivo de pitahaya amarilla (*S. megalanthus*) y bosque secundario.

CAPÍTULO II.

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 BASES TEÓRICAS

2.1.2.1 EL RECURSO SUELO

El recurso suelo a lo largo de los años ha proporcionado el sustento para la población humana. Sin embargo, su crecimiento desmedido ha generado una demanda de alimentos que aumenta día a día sobre el recurso. Es por ello que se buscan alternativas para conservar los suelos y evitar el manejo inadecuado del mismo (Sánchez, et al., 2011).

La formación del suelo se ha llevado a cabo tras un proceso evolutivo de desintegración de las rocas superficiales sometidas a intemperismo físico y químico y su transformación en partículas más pequeñas, actuando de una manera conjunta con los seres vivos dando como resultado un conjunto de partículas de diversos tamaños y llenos de características químicas como elementos necesarios para la vida (Rodríguez, Luengas y Trujillo, 2016).

2.1.2.2 IMPORTANCIA DEL SUELO

Según la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2016), el suelo es un recurso natural finito y no renovable que presta diversos servicios ecosistémicos o ambientales, entre ellos y a manera de ejemplo, el relacionado con su participación en los ciclos biogeoquímicos de elementos clave para la vida como carbono, nitrógeno, fósforo, etc., que continuamente y por efecto de la energía disponible, pasan de los sistemas vivos a los componentes no vivos del planeta.

No obstante, lo más conocido, es que el suelo es el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad mundial (Silva y Correa, 2009).

2.1.2.3 FUNCIONES DEL SUELO

Los suelos, como parte de los ecosistemas y de los agro ecosistemas, prestan importantes funciones o servicios que mantienen a estos y que apoyan las actividades sociales y económicas de las personas (Burbano, 2016). Las siguientes son las funciones que cumple el suelo:

2.1.2.3.1 Producción de alimentos y biomasa.

Tal vez, la más evidente de las funciones del suelo es el soporte y suministro de nutrientes para las plantas a fin de producir alimentos y biomasa en general. (Burbano, 2016).

2.1.2.3.2 Escenario indispensable para los ciclos biogeoquímicos.

Los ciclos biogeoquímicos que ocurren en la naturaleza, son mecanismos indispensables para que haya condiciones estables en la tierra y para que se dé la vida. Estos ciclos que involucran elementos como carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros; son vitales y el suelo tiene una posición central e insustituible en los mismos. Sin estos ciclos no se daría el paso continuo de los elementos químicos de los sistemas vivos del planeta a otros que no lo son (Burbano, 2016).

2.1.2.3.3 Almacenamiento o fijación de carbono.

Por la importancia que tiene el carbono y dadas las circunstancias mundiales actuales del cambio climático, surge como una función aparte del suelo, aquella que se relaciona con el carbono.

El suelo es el mayor sumidero de carbono en la naturaleza. La fijación del carbono por el suelo- mal llamada “secuestro de carbono” o “captura de carbono”- impide que el CO₂ vaya a la atmósfera, siendo que este es uno de los gases de efecto invernadero que propician el cambio climático. Con la intermediación de las plantas y la participación de los organismos del suelo, el carbono se transforma en materia orgánica que se acumula en el suelo por amplios periodos de tiempo. Este carbono almacenado en el planeta en el primer metro de suelo, se sabe, es una y media veces superiores al acumulado en la vegetación (Burbano, 2016).

2.1.2.3.4 Almacenamiento y filtración de agua.

El suelo capta, infiltra y almacena el agua en el ámbito del ciclo hidrológico y permite así la recarga de los acuíferos. En estas circunstancias, el suelo influye en la calidad del agua, ya que amortigua y atrapa ciertos contaminantes e impide que lleguen a las reservas de agua. El suelo, tiende a modular indirectamente la temperatura y la humedad, y por ello puede incidir en la mejora del aire (Burbano, 2016).

2.1.2.4 FERTILIDAD INTEGRAL DEL SUELO

La fertilidad del suelo se define como el estado en relación a la capacidad que posee de suministrar elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, sin presentar concentraciones tóxicas de ningún elemento. Tanto las necesidades de elementos esenciales

como la tolerancia a elementos tóxicos varían con el tipo de planta, por lo que el nivel de fertilidad no puede expresarse solamente en relación al suelo, sino que debe referirse también al cultivo. Es decir, suelos aparentemente infértiles para un determinado cultivo puede resultar muy productivo cuando se cultiva otro tipo de plantas (Ansorena, 2005).

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, es decir, la capacidad de brindar condiciones estructurales adecuadas para el sostén y crecimiento de los cultivos, químicas para proporcionarle la capacidad para suministrar los nutrientes apropiados, en cantidades adecuadas y balanceadas y biológicas vinculadas con los procesos biológicos del suelo, relacionados con los organismos del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Solís, 2011).

2.1.2.5 PARÁMETROS DEL SUELO ASOCIADOS A LA FERTILIDAD

2.1.2.5.1 Físicas

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la fertilidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente. Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros (Bravo et al., 2017; Singer y Ewing, 2000).

Los indicadores físicos que se emplean en las evaluaciones de la calidad del suelo están relacionados, por un lado, con propiedades que reflejen como el suelo acepta, retiene y proporciona agua a las plantas; por otro lado, a las condiciones que limitan el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración y el movimiento del agua dentro del perfil y promover el intercambio óptimo de gases (Etchevers, Hidalgo, Vergara, Bautista y Padilla, 2009).

2.1.2.5.2 Químicas

Los indicadores químicos del suelo hacen referencia a condiciones que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos (Soil Quality Institute, 1996).

Algunos parámetros son la disponibilidad de nutrientes, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable (Soil Quality Institute, 1996).

2.1.2.5.3 Biológicas

Los indicadores biológicos poseen gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macro organismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Encierran también funciones como la tasa de respiración, ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana (Soil Quality Institute, 1996).

La importancia de la evaluación de las propiedades biológicas del suelo, se relaciona estrechamente con la descomposición de la materia orgánica derivada de los residuos vegetales y animales, así como el reciclaje de la misma, ya que los subproductos de su acción influyen de forma directa en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Astier-Calderón, Mass-Moreno y Etchevers-Barra, 2002).

2.1.2.6 EL CULTIVO DE LA PITAHAYA AMARILLA

2.1.2.6.1 GENERALIDADES

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. Ex Vaupel) Moran) es una Cactaceae semi-epífita de gran importancia económica y uno de los recursos genéticos nativos más importantes desde el punto de vista etno-botánico y económico. Es un fruto exótico apetecido por su sabor y por su exuberante color y forma siendo considerado como uno de los frutos promisorios de exportación.

Es una planta xerofítica, caracterizada por ser un cactus trepador, con tallos triangulares largados y flores encarnadas. La planta produce frutos ovoides comestibles que antes de ser cosechados tienen espinas en sus mamilas de color verde al comienzo y amarillos en la madurez, con pulpa blanca y semillas pequeñas de color negro comestibles (Guzmán-Piedrahita, Pérez & Patiño, 2012).

2.1.2.6.2 ORIGEN DE LA PITAHAYA AMARILLA

Se desconoce con exactitud el origen de la pitahaya amarilla; sin embargo, el pasado 22 de junio del 2018, el Servicio Nacional de Derechos Intelectuales de Ecuador entregó el certificado de denominación de origen a la pitahaya de Palora, una mención que le da al

producto un sentido de identidad y pertenencia único, como el producto estrella que es, y que resulta vital como apoyo al cultivo y la comercialización de esta fruta tropical (Cámara de Agricultura, 2019).

2.1.2.6.3 CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

- Sistema radicular

La planta de pitahaya posee dos tipos de raíz, las primarias forman mantos de raicillas que se incrustan en el suelo y las secundarias se exhiben fuera del suelo, pero no sus puntas. Las raíces primarias crecen siguiendo el nivel del suelo, a profundidades entre 5 y 25 cm, con un área de expansión de aproximadamente 30 cm de diámetro (Lezama, Tapia, Muñoz, y Zepeda, 2005).

- Tallo

López y Guido (2002), indican que los tallos son suculentos, de epidermis o superficie exterior gruesa, característica que permite que se desarrollen bien en zonas de baja precipitación. El cierre de estomas, la presencia de mucílago y otras sustancias en los tallos, regulan la pérdida excesiva de agua en la época seca, así como en las horas más calientes del día. Los tallos, llamados cladodios o vainas, tienen hábitos trepadores y se ramifican en varios segmentos que pueden llegar a crecer hasta dos metros de largo en algunos clones. Los tallos presentan aristas las cuales son llamadas costillas, así como espinas, que dependiendo de la cantidad y forma de inserción de las mismas sirven para identificar los clones.

- Flores

La flor de la pitahaya es tubular, perfecta, blanca y mide unos 20 cm de largo, se abre una sola vez en horas de la noche y su aroma atrae muchos insectos. Se auto fecunda pero también puede cruzarse (Becerra, 1992).

- Fruto

Es una baya de forma ovoide, redondeada o alargada, de 10-12 cm de diámetro; la corteza tiene brácteas escamosas de consistencia carnosa y cerosa; presenta abundantes semillas pequeñas (1 mm) brillantes, distribuidas en toda la pulpa (Lezama et al., 2005).

La formación del fruto, desde la polinización hasta el estado de recolección, tarda entre cuatro y ocho meses dependiendo de la temperatura (Becerra, 1992).

- Semilla

El fruto posee gran cantidad de pequeñas semillas de origen sexual y color negro con alto poder germinativo, en condiciones óptimas de humedad y temperatura. La multiplicación de pitahaya por medio de semilla es posible, pero el crecimiento y desarrollo de la vaina primaria de estas plantas es demasiado lento, alcanzando apenas 30 cm de longitud a los ocho meses de sembrada la semilla. La producción se inicia hasta los seis o siete años, por lo que este sistema de propagación no es usado (López y Guido, 2002).

2.1.2.6.4 CONDICIONES AGROECOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DEL CULTIVO

- Temperatura

La temperatura óptima para un buen desarrollo fisiológico y productivo de pitahaya está entre 18 – 22 °C, aunque también producen a temperaturas mayores y menores, pero con rendimientos mínimos (Agribusiness, 1992).

- Luminosidad

La pitahaya reacciona positivamente a la exposición solar con buen desarrollo vegetativo y gran producción de flores. A la sombra, la producción de frutos es escasa. La duración de la luminosidad en relación con la temperatura influye tanto en el crecimiento de la planta como en la inducción floral, fecundación de las flores y ritmo de absorción de elementos nutritivos; también tiene mucho que ver con los grados brix de la fruta y en consecuencia en la calidad de la misma, (Pozo y Sánchez, 2011).

- Precipitación

En comparación con el resto de cactáceas, los niveles de precipitación requeridos por la pitahaya son altos; los óptimos entre: 1 200 a 2 500 mm por año, lo que da una necesidad de 100 mm a 200 mm/mes. Un rango de pluviosidad menor se suplirá con riego, contrariamente, la excesiva humedad favorecerá el desarrollo de bacteriosis y antracnosis al tallo (Agribusiness, 1992).

- Humedad relativa

El cultivo de la pitahaya prospera con el 70 - 80 % de humedad relativa (Pozo y Sánchez, 2011).

- Altitud

En sentido altitudinal los mejores resultados se obtienen entre los 700 y 1 900 msnm, aunque crecen plantas de pitahaya desde los 500 hasta 2 500 msnm (Agribusiness, 1992).

- Suelos

Los suelos deben tener buen drenaje, como buena disponibilidad de humedad, por ello que, los suelos de textura franca: franco arenosos y francos son los mejores. El pH que prefiere la pitahaya es el de suelos ligeramente ácidos con rangos de 5.5 a 6.5 (Pozo y Sánchez, 2011).

2.1.2.6.5 VALOR NUTRITIVO

Sus principales atributos son: sabor, su carácter exótico, las propiedades laxantes y un gran valor alimenticio. Es rica en calcio, fósforo, potasio y vitamina C, comparada con la manzana, plátano, naranja y piña (Argüello, 1997). Es una rica fuente de agua, calorías, ácido ascórbico, fósforo y carbohidratos; cada 100 g de pitahaya contienen 89.4 g de agua, 36.00 calorías, 25.00 mg de ácido ascórbico, 19.00 mg de fósforo y 9.20 g de carbohidratos; no obstante, es deficiente en hierro y vitamina A, pero presenta un alto contenido de sodio y potasio. El valor energético de los tallos es superior al de algunas verduras comunes (zanahoria, lechuga) y el contenido de hierro es similar al que se encuentra en las espinacas crudas (Castillo, 2006).

CAPÍTULO III

3.1 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se localizó en la finca Procel Km 3 1/2 Vía Tarqui - Palora, Morona Santiago (Figura 1). El área posee un clima variado tropical húmedo con una temperatura promedio de 22.5 ° C y una precipitación media anual que va desde 3 000 a 4 000 mm, los suelos que predominan esta región pertenecen al orden Inceptisol suborden Andepts, gran grupo Hydrandepts (Nieto y Caicedo, 2012).

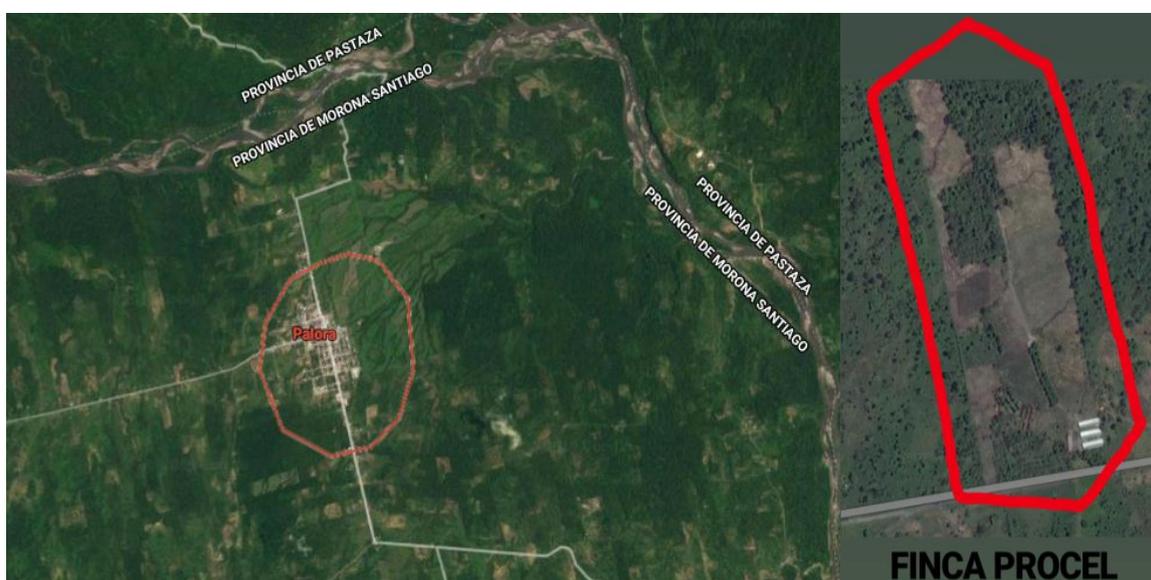


Figura 14. Ubicación relativa del cantón Palora y la finca Procel

3.1.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de tipo experimental con un enfoque científico ya que se recolectó muestras de suelo y de vegetación en campo en distintas plantaciones de pitahaya de dos edades y de Bosque secundario, las cuales posteriormente se procesaron, para la determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos asociados a la fertilidad.

3.1.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El método que se utilizó también fue experimental, a través de la toma de muestras para la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos asociados a la fertilidad del suelo como se detalla a continuación:

Esquema de muestreo de Campo

Para la recolección de la información de campo se usó un esquema de muestreo sistemático sugerido por Bravo et al., 2017 (Figura 2), siguiendo la siguiente secuencia:

- 1) Establecimiento de un transecto que cubriera toda la variabilidad topográfica y vegetación de cada sitio de muestreo.
- 2) Localización sobre el transecto de tres puntos de muestreo, de manera equidistante y en función del tamaño de la parcela.
- 3) Establecimiento de una subparcela de 10 x 10 m en cada punto de muestreo (P1, P2 y P3), en la cual se recolectan cinco submuestras de suelo a dos profundidades (0-10 cm y 10-30 cm). Dichas muestras conformaran la muestra compuesta por punto que se usaron para la evaluación de parámetros químicos.
- 4) En la parte central de la subparcela se colocó un cuadrante donde se tomará la muestra de biomasa, las muestras no alteradas a tres profundidades (0-10,10-20 y 20-30 cm) para evaluación de parámetros físicos y se realizó el conteo del número de lombrices.

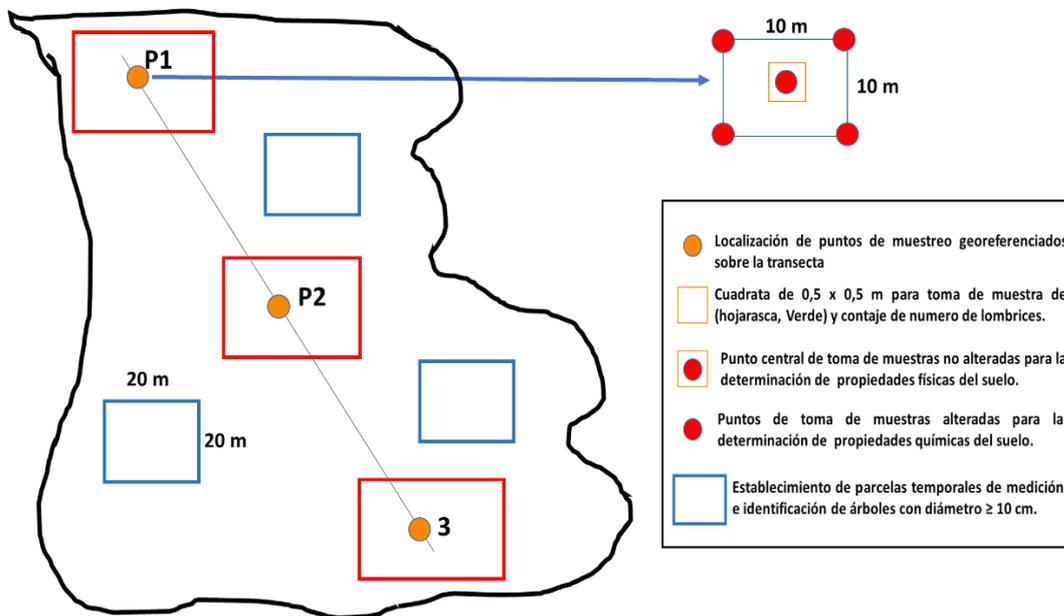


Figura 15. Esquema de muestreo sistemático para el estudio de las propiedades del suelo en cada uso de tierra seleccionado.

- Análisis Físicos

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

- Análisis Químicos.

El pH se midió por potenciometría (relación suelo-agua 1:2,5), la acidez y Al^{3+} intercambiable fueron medidos por titulación (McLean, 1965). El nitrógeno total se midió por el método de kjeldahl, las bases cambiables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), y contenido de fósforo (P) fueron medidos por la metodología de Olsen modificado (Bertsch 1995).

- Propiedades Biológicas del Suelo y Vegetación

Se recolectó la biomasa de hojarasca del suelo contenida en una cuadrata de 0,25 m² en el centro de cada subparcela de muestreo, en la cual se midió el peso fresco de la biomasa y luego se llevó en bolsas de plástico a la estufa para su secado durante 24h a 105°C hasta obtener peso constante de su materia seca. También se cuantificó el número de lombrices por m².

- Tratamientos de datos

El conjunto de datos de las propiedades asociadas a la fertilidad del suelo se analizó por edades del cultivo de pitahaya y profundidades, mediante un diseño completamente aleatorizado. Como primer paso se realizó un análisis de la normalidad de los datos usando la prueba de Will-Shapiro. El grado de relación entre las propiedades físicas, químicas y biológicas asociadas a la fertilidad de suelo en cada una de las dos profundidades edáficas consideradas, se evaluó mediante el coeficiente de correlación de Pearson (Sokal & Rohlf, 1995).

TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS PLANTACIONES DE PITAHAYA DE 5 Y 10 AÑOS EN LA “FINCA PROCEL”.

Pitahaya de 5 años:

Fumigaciones: Botón floral: Cada 3 días

Flores y frutos: Cada 5 días

Planta completa: Cada 5 días

Fertilización: Abono orgánico cada 2 meses.

Abono inorgánico cada 45 días.

Control de malezas: Cada 15 días.

Pitahaya de 10 años:

Fumigaciones: Botón floral: Cada 3 días

Flores y frutos: Cada 5 días

Planta completa: Cada 5 días

Fertilización: Abono orgánico cada 2 meses.

Abono inorgánico cada 45 días.

Control de malezas: Cada 15 días.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Para la toma de muestra en campo se utilizó los siguientes materiales y equipos: Toma muestra de suelo tipo Uhland, cilindros, papel aluminio, fundas ziploc, fundas plásticas, pala, machete, marcadores y baldes.

Para el análisis de los parámetros físicos y químicos en laboratorio se manipuló: Espectrómetro de absorción atómica, estufa, plato poroso, balanza electrónica, meta de difusión, potenciómetro, vasos de precipitación, buretas de titulación, embudos, tamiz y botellas.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSION

PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

El término textura se refiere al tamaño relativo de las partículas del suelo y es indicadora de la finura o aspereza del suelo, más específicamente, la textura es la proporción relativa de los diferentes grupos dimensionales o fracciones (Porta, López-Acevedo y Poch, 2010), la cual influye sobre otras propiedades del suelo como la porosidad, permeabilidad, retención de nutrientes, entre otros. Al respecto en la Tabla 1, se presentan los valores promedios de las distintas partículas y su clasificación textural.

Tabla 1. Valores promedios de la textura del suelo bajo distintas plantaciones de pitahaya a dos profundidades.

PROFUNDIDAD 0 - 10 cm				
TRATAMIENTO	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
PH - 5	52,33±7,51a	35,00±4,58a	12,67±3,06a	Franco
PH - 10	52,33±6,43a	33,67±7,64a	14,00±1,73a	Franco
BS	50,33±5,77a	28,67±2,89a	21,00±5,00a	Franco

PROFUNDIDAD 10 - 30 cm				
TRATAMIENTO	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural
PH - 5	55,00±11,79a	33,67±9,07a	11,33±2,89a	Franco arenoso
PH - 10	53,67±7,64a	30,33±4,51a	16,00±3,46a	Franco arenoso
BS	53,00±8,54a	31,00±5,57a	16,00±3,46a	Franco arenoso

PH-5: Pitahaya de 5 años; **PH-10:** Pitahaya de 10 años; **BS:** Bosque Secundario. *Letras distintas entre tratamientos denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$.

En relación con la textura se evidenció dos clases texturales a distintas profundidades: superficial (0 - 10 cm) y sub-superficial (10 - 30 cm), siendo la clase textural categorizada como franca en el horizonte superficial y de franco arenosa en horizonte subsuperficial. Las clases texturales obtenidas en el laboratorio con predominio de las fracciones gruesas (arenas) difieren del comportamiento textural a nivel de campo que está asociado a una clase textural fina (arcillosa). Dichos resultados están asociados al alto contenido de materia orgánica de los suelos muestreados la cual forma uniones fuertes con las partículas de arena,

limo y arcilla que no permiten que el dispersante usado en la determinación de la textura las separe adecuadamente (Pla, 2010).

Los resultados de algunas propiedades físicas asociadas a la fertilidad del suelo bajo plantaciones de pitahaya de 5, 10 años y como tratamiento testigo el bosque secundario se muestran en la Tabla 2. Se puede observar que la densidad aparente, presenta valores bajos en las dos profundidades (0 - 10 cm) y (10 - 30 cm), lo que implica que es un suelo poroso, bien aireado y con buen drenaje (Kooijman, Jongelans & Sevink, 2005). En el horizonte superficial, la mayoría de los indicadores físicos asociados a la fertilidad mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en función de los tratamientos.

Tabla 2. Variables físicas asociadas a la fertilidad del suelo bajo distintas plantaciones de pitahaya.

PROFUNDIDAD 0-10 cm			
VARIABLES	PH-5	PH-10	BS
Da Mg m⁻³	0,42±0,04a	0,42±0,04a	0,27±0,06b
Ksat cm h⁻¹	40,18±66,46a	11,34±9,32a	12,40±16,52 ^a
Pt (%)	82,84±1,11ab	78,97±4,35a	87,06±2,92b
Pa (%)	13,43±1,52a	10,95±0,86a	2,56±0,59b
Pr (%)	69,41±0,93a	68,02±4,52a	84,50±2,34b
PROFUNDIDAD 0-30cm			
VARIABLES	PH-5	PH-10	BS
Da Mg m⁻³	0,38±0,03a	0,44±0,10a	0,33±0,04a
Ksat cm h⁻¹	52,64±41,77a	0,70±0,95a	0,59±0,39a
Pt (%)	81,71±1,79a	82,03±2,99a	84,05±2,92a
Pa (%)	13,61±2,82b	7,56±4,69ab	1,73±0,06a
Pr (%)	68,10±4,47a	74,48±3,96ab	82,32±2,86b

PH-5: Pitahaya de 5 años; **PH-10:** Pitahaya de 10 años; **BS:** Bosque Secundario. **Da:** Densidad aparente; **Ksat:** conductividad hidráulica saturada; **Pt:** Porosidad total; **Pa:** porosidad de aireación; **Pr:** porosidad de retención. *Letras diferentes denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$.

En correspondencia con la densidad aparente se puede apreciar que fue significativamente menor ($0,33 \text{ Mg m}^{-3}$) en el uso con Bosque secundario con respecto a las plantaciones con Pitahaya. Sin embargo, los valores obtenidos tanto por tratamiento y en ambas profundidades son considerados bajos cuando se comparan con el valor crítico ($1,2 \text{ Mg m}^{-3}$) señalado por algunos investigadores para esta clase textural (Pla, 2010), lo cual indica que no existe problemas de compactación y por el contrario le confiere una adecuada aireación que facilita la penetración del agua y de las raíces. Resultados similares bajo distintos sistemas de manejo agrícolas y ganaderos han sido obtenidos en condiciones amazónicas los cuales

indican que los bajos valores de densidad aparente están relacionados con la presencia de un alto contenido de materia orgánica asociada a la historia de uso o manejo con Bosque, al tipo de estructura granular predominante (Bravo et al., 2017; Nieto y Caicedo, 2012).

A pesar que la conductividad hidráulica saturada no mostró diferencias estadísticas por tratamiento en ambas profundidades, los valores confirman una alta velocidad de penetración del agua en el suelo; obteniendo valores mayores la plantación de pitahaya de 5 años en comparación a los demás tratamientos. Estos valores altos observados indican una buena capacidad de transporte de agua, solutos y sustancias químicas en el suelo (Bastos y Oliveira, 2003). Al analizar este parámetro asociado a la permeabilidad del suelo se registran valores altos en los usos de pasto con y sin árboles por encima del límite crítico de $0,5 \text{ cm h}^{-1}$, señalado por Pla (2010). Dicho comportamiento está relacionado con la condición textural y estructural que favorece la penetración y movimiento de agua en el perfil del suelo (Bravo et al., 2017). Tanto en el Bosque como PH-5 se observó una disminución brusca con la profundidad del valor de la conductividad hidráulica saturada lo que pudiera limitar la velocidad de infiltración en especial en zonas de alta pluviosidad. Por tanto, esos grandes volúmenes de agua se pueden convertir en un factor potencial de escorrentía y erosión en zonas de pendientes o encharcamiento en áreas planas. Tales resultados están asociados a la disminución de la porosidad de aireación y al cambio en el tipo de estructura que pasa de granular en superficie a blocosa débil en la segunda profundidad (Bravo et al., 2015).

En cuanto a la porosidad del suelo, la porosidad total presentó valores altos ($> 50\%$) en todos los tratamientos y en ambas profundidades, lo que indica que existe una buena retención y disponibilidad de agua, además de su capacidad para contener aire, por lo tanto, existirá un buen desarrollo de las raíces del cultivo (Acevedo y Martínez, 2003). Los análisis de porosidad total bajo los distintos usos del suelo solo presentaron diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$, en el horizonte superficial, con una gran fracción del volumen total representada por los poros de retención (P_r) y menor proporción de macro poros (P_a), lo cual les confiere a estos suelos una alta capacidad de retención de humedad, indistintamente del uso de suelo.

La porosidad de aireación presentó diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$, siendo mayor en la PH - 10 y el BS en el horizonte superficial, lo cual está asociado a la densidad aparente, la estructura granular, sin embargo se observó una disminución con la profundidad a valores por debajo del 10% considerado como límite crítico (Pla, 2010) en el suelo con BS

y PH - 5 lo cual puede representar serias limitaciones al flujo de agua, de aire, a la actividad biológica y a la penetración de raíces (Bravo et al., 2017; Pla, 2010).

En general, la fertilidad física de los suelos, evaluada a través de los índices estructurales sugieren que la mayoría de los usos de la tierra se caracterizan por presentar bajos valores de D_a , alta capacidad de infiltración y captación de agua relacionada con los altos valores de K_{sat} y de los poros de retención (P_r , microporos) y una alta capacidad de aireación reflejada por su porosidad total y de aireación (P_a , macroporos). Por tanto, desde una perspectiva integral los valores de los parámetros físicos indican que a pesar del cambio de uso de la tierra no se presentan problemas de compactación del suelo y por el contrario existe un ambiente edáfico para un adecuado crecimiento de raíces y de microorganismos. Desde la perspectiva de degradación física para algunas zonas de la Amazonía se ha señalado el proceso de erosión hídrica como unos de los principales problemas ambientales derivados del cambio de uso de la tierra (Bravo et al., 2015).

PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Proceso de acidificación del suelo

En la Figura 3, 4 y 5 se presentan las variables usadas para la caracterización del proceso de acidificación del suelo en los distintos usos de suelo. En relación al pH (Figura 3) los valores promedio mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en ambas profundidades, siendo el BS con menores valores de pH en comparación con los usos con pitahayas (PH - 5 y PH - 10), categorizándolos como suelos muy ácidos y ácidos respectivamente.

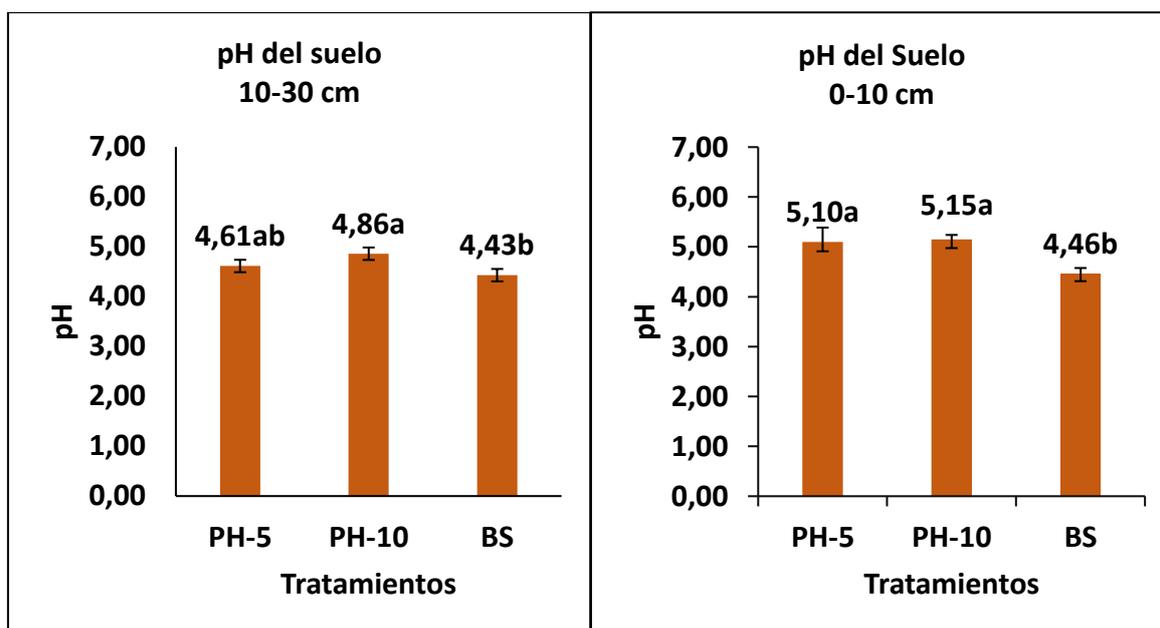


Figura 16. Comportamiento del pH en las diferentes plantaciones y bosque secundario. *Letras diferentes denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$.

Existen varios procesos en el suelo que promueven la reducción del pH y ocurren naturalmente dependiendo del tipo de suelo, del tipo del cultivo y las condiciones de manejo. Al respecto, se observa que indistintamente del tratamiento evaluado, el pH disminuye incrementando el proceso de acidificación, lo cual es característico de la zona y está relacionado con las altas precipitaciones que presenta la región amazónica (Bravo et al., 2017). Se ha destacado, que la acidificación en regiones tropicales húmedas como la Amazonía ecuatoriana, con un clima caracterizado por altas precipitaciones ejerce una influencia primordial sobre la edafogénesis que favorece la lixiviación de las bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), lo que induce a un predominio de minerales poco alterables y de arcillas simples como el cuarzo, caolinita, halloysita, gibsitita y óxidos de hierro, confiriéndoles ciertas características morfológicas y el descenso de los parámetros asociados a la fertilidad principalmente el pH (Custode y Sourdat, 1986; Gardi et al., 2014).

Se ha señalado ampliamente que uno de los principales factores en el desarrollo de la acidez del suelo es la presencia del aluminio (Al^{3+}) en la solución del suelo. Las figuras 4 y 5 muestran valores de acidez y aluminio intercambiable Al^{3+} cuyos resultados no reflejaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$), sin embargo, para la primera profundidad el BS presentó el valor más alto ($1,33 \text{ meq } 100 \text{ g s}^{-1}$) en comparación con la PH - 5 y PH - 10, lo que se corresponde con el pH. Valores mayores a uno de acidez intercambiable son considerados tóxicos para las plantas, lo que confirma que el aluminio constituye la principal fuente de acidez de la mayoría de los suelos.

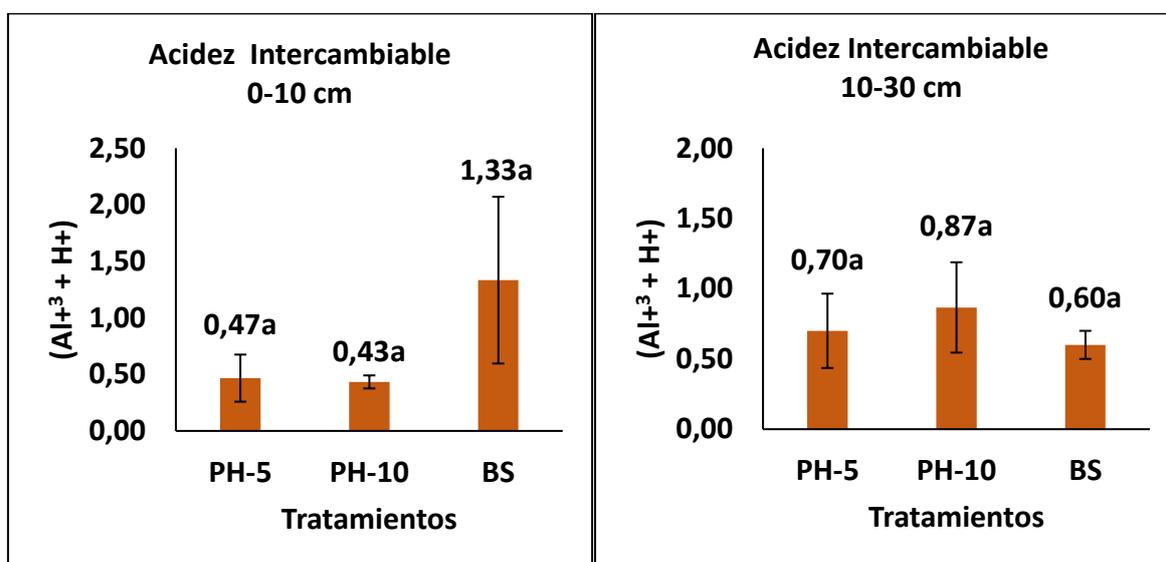


Figura 17. Comportamiento de Acidez ($Al^{3+} + H^{+}$) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.

*Letras diferentes denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$

Para la variable de aluminio intercambiable (Figura 5), los valores más altos en la profundidad de 0 - 10 cm se registró en el bosque secundario ($0,57 \text{ meq } 100 \text{ g s}^{-1}$), y los menores valores de aluminio en pitahaya de 5 y 10 años ($0,17 - 0,20 \text{ meq } 100 \text{ g s}^{-1}$). Para la segunda profundidad (10 - 30 cm) los valores bajos se presentaron en la pitahaya de 5 años y en el bosque secundario. Según Jaramillo, (2002) el mayor valor de acidez intercambiable en la profundidad de 0-10 cm puede estar relacionado con la descomposición de materia orgánica y de pH entre 6,1 – 6,5 son óptimos para el excelente crecimiento de la planta, con valores de $pH < 5.5$ en estos suelos existe una mayor posibilidad de que se puedan presentar toxicidades, principalmente por el aluminio intercambiable.

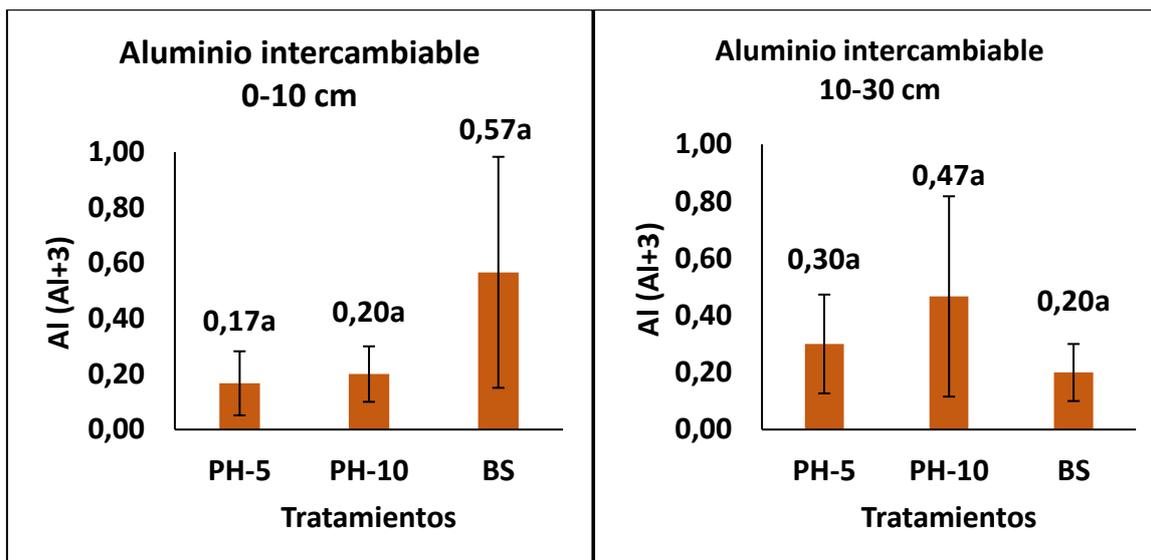


Figura 18. Comportamiento del Aluminio intercambiable (Al^{+3}) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.

*Letras diferentes denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$

Contenido de Materia orgánica del suelo

En relación a la materia orgánica, se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), solo en el horizonte superficial, siendo el bosque secundario con mayor concentración en comparación con los usos con el cultivo de pitahaya cuyos valores fueron similares. Se puede apreciar (Figura 6) que la materia orgánica en ambas profundidades presenta valores ($< 5.0\%$), los cuales son categorizados como altos. Este gran aporte orgánico sobre y debajo de la superficie del suelo del bosque, está muy relacionado con las coberturas de bosques caracterizadas por una gran diversidad de especies de plantas, cuya cantidad y calidad de hojarasca y raíces contribuyen fuertemente a los ciclos biogeoquímicos mejorando los contenidos de algunos nutrientes en especial el nitrógeno (Bravo-Medina et al. 2017). En el caso de la siembra con pitahaya el gran aporte de abonos orgánicos usados durante varios años en el plan de fertilización es el que incorpora materia orgánica al suelo.

Según Silva, (1998) la materia orgánica contribuye al crecimiento de las plantas a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. También tiene una función nutricional en la que sirve como una fuente de N, P y S para el crecimiento de las plantas, una biológica en la que mejora profundamente la actividad de la micro flora y la micro fauna, y una función física en lo que promueve una buena estructura, con lo cual mejora las labores de labranza, aireación y la retención de humedad (Bravo et al., 2017). La materia orgánica (MO) es el mayor reservorio de Nitrógeno edáfico por lo que, en general un mayor contenido de MO estará asociado a un mayor potencial entrega de N del suelo. Sin

embargo, esta relación no siempre se presenta de manera lineal debido a la complejidad de las vías de transformación del N en el suelo y a la heterogeneidad de la MO (Robertson & Groffman, 2015).

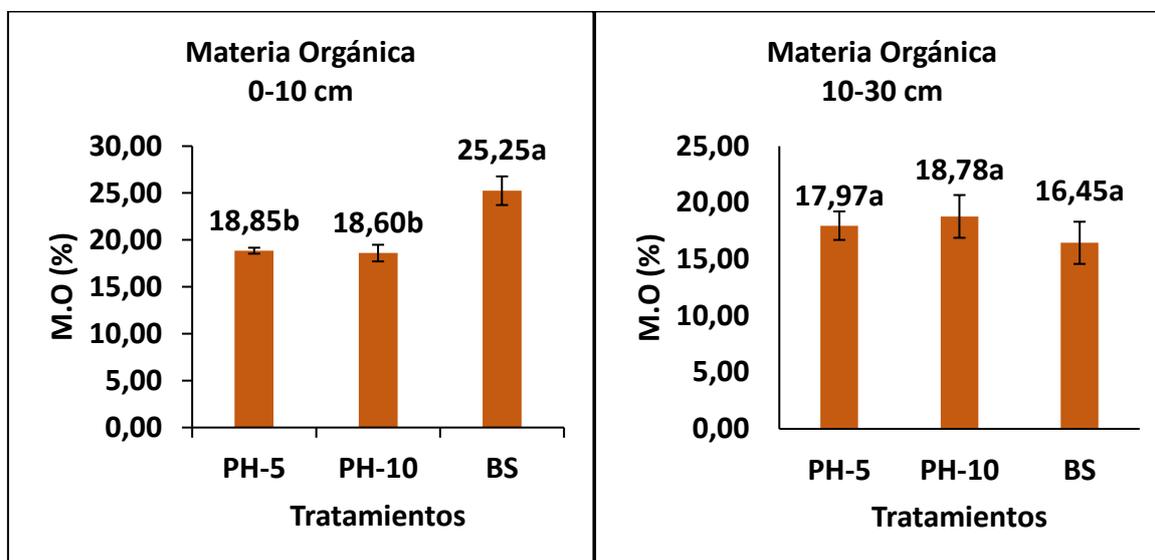


Figura 19. Comportamiento de la Materia Orgánica (MO, %) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.

*Letras diferentes denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$

Contenido de Nitrógeno total en el suelo

La concentración de nitrógeno total en el suelo (Figura 7) presento un patrón similar al contenido de materia orgánica mostrando solo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el horizonte superficial con mayor concentración en el BS seguido por la PH - 5 y la PH - 10. Los valores registrados son categorizados como altos, sobre todo en el Bosque (1.05 %) y PH-5 (0,82 %), lo cual evidencia el papel de la materia orgánica en cuanto al aporte de este elemento esencial para el desarrollo de las plantas. En los sistemas agrícolas, la fertilización nitrogenada suele ser una alternativa costosa, pero a menudo necesaria, para solucionar las deficiencias edáficas. Asimismo, el exceso de compuestos nitrogenados en los suelos puede degradar la calidad del ambiente (Benimeli, et al., 2019).

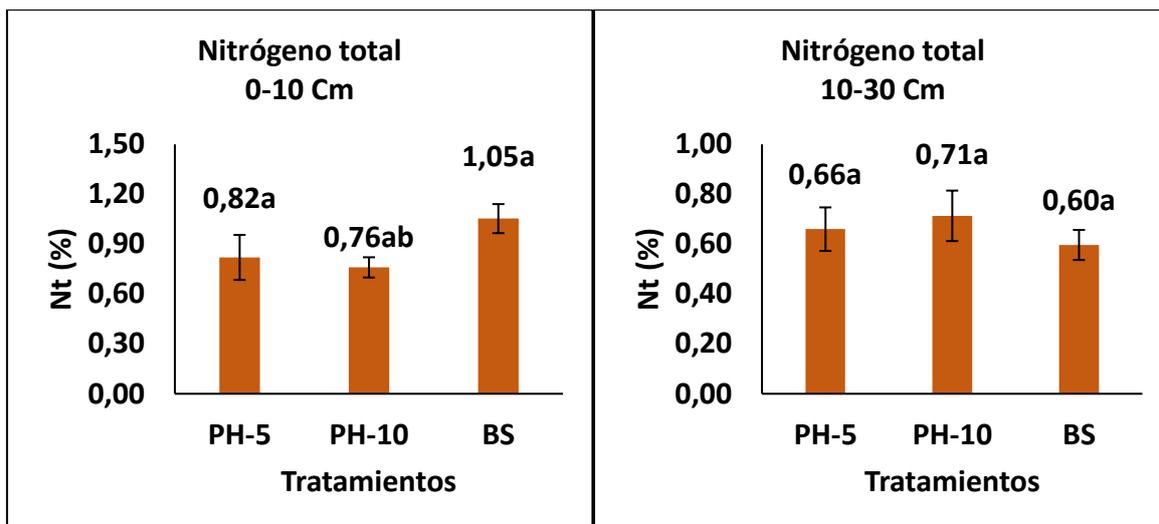


Figura 20. Comportamiento del Nitrógeno total (Nt, %) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.

*Letras diferentes denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$

Contenido de Fósforo Disponible (P)

En la Figura 8 se muestra el contenido de fósforo disponible (P) para los distintos tratamiento y profundidades consideradas. Se aprecia diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con mayores valores en las plantaciones de pitahaya de 5 años y 10 años categorizados como altos ($P > 20 \text{ mg kg}^{-1}$) en comparación con el bosque secundario, cuyos valores son considerados bajos ($< 10 \text{ mg kg}^{-1}$). Las altas concentraciones en los sistemas con pitahaya probablemente están asociado al manejo de la fertilización que ha generado un impacto positivo con respecto al bosque. Al comparar los altos contenidos de materia orgánica de estos suelos con el contenido de este nutriente en el uso con Bosque, se podría señalar que el fósforo aportado por los residuos orgánicos inmediatamente es utilizado por las plantas, impidiendo una acumulación excesiva en el suelo. Los resultados de este estudio coinciden con trabajos previos en distintos paisajes de la Amazonía y bajo diferentes usos de la tierra que ponen en evidencia los bajos contenidos de P en condiciones amazónicas lo cual es un factor limitante en la productividad del ecosistema (Bravo-Medina et al., 2017).

El fósforo en las plantas forma parte de moléculas que proporcionar energía en las reacciones químicas como puede ser la adenosina trifosfato (ATP). Realiza una función clave en la fotosíntesis, la respiración celular y todo el metabolismo energético. (Balboa, Esposito, Castillo y Balboa, 2009)

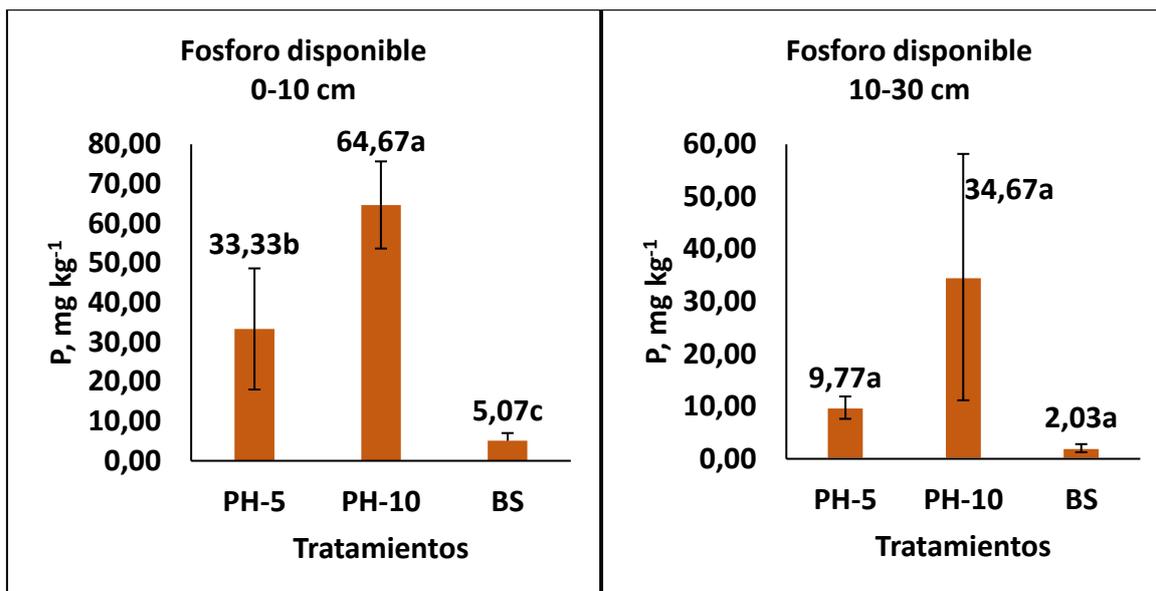


Figura 21. Comportamiento del Fosforo (P, mg kg⁻¹) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.

*Letras diferentes denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$

Contenido de Bases Intercambiables, potasio(K⁺), Calcio (Ca²⁺) y Magnesio (Mg²⁺)

Potasio Intercambiable

El contenido de potasio intercambiable vario significativamente ($P \leq 0,05$) en función de los tratamientos en ambas profundidades mostrando un patrón similar, mostrando la siguiente tendencia en el horizonte superficial PH - 5 (0,39 meq 100 g s⁻¹) > PH - 10 (0,29 meq 100 g s⁻¹) > (0,17 meq 100 g s⁻¹) categorizado de altos a bajos. Para el horizonte subsuperficial la tendencia observada fue PH - 5 (0,27 meq 100 g s⁻¹) > PH - 10 (0,22 meq 100 g s⁻¹) > (0,08 meq 100 g s⁻¹), clasificados de moderados a bajos.

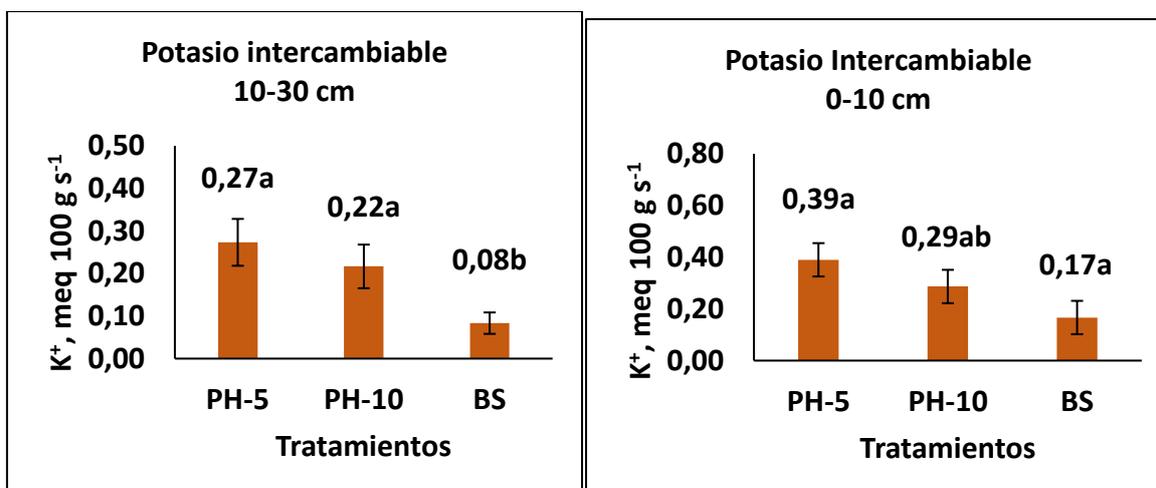


Figura 22. Comportamiento del Potasio (K⁺ meq 100 g s) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.

*Letras diferentes denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$

Según Ruiz et al., (2005), la calidad y cantidad de arcillas de un suelo son los principales parámetros que definen el contenido total de K^+ de un suelo. En general, los suelos con dominancia de arcillas del tipo 2:1 (vermiculita) contienen mucho más potasio que los suelos con predominio de caolinita. Los resultados reflejan un mejoramiento de la concentración de potasio en los sistemas de siembra con pitahaya con respecto al BS, lo cual puede ser atribuido principalmente a la aplicación de abonos dentro del plan de manejo de la fertilización en el cultivo de pitahaya. Resultados similares han sido reportados para la Amazonía ecuatoriana donde un cambio de uso produce un mejoramiento de la concentración de bases intercambiables con respecto a los usos con Bosque (Bravo et al., 2017).

Calcio Intercambiable

El contenido de Ca^{2+} intercambiable exhibió un patrón similar al K^+ mostrando diferencias significativas, en función de los tratamientos en ambas profundidades (Figura 10). El orden obtenido en función de los tratamientos fue: PH - 5 > PH - 10 > BS para el horizonte superficial con niveles alto en la siembra de pitahaya y de bajo en el bosque secundario, mientras que para el segundo horizonte (10 - 30 cm) PH - 10 > PH - 5 > BS categorizado de medios a bajos (<2,0 meq 100 g s^{-1}). Independientemente, del tratamiento se observó una disminución con la profundidad con mayor magnitud en los sistemas con pitahaya.

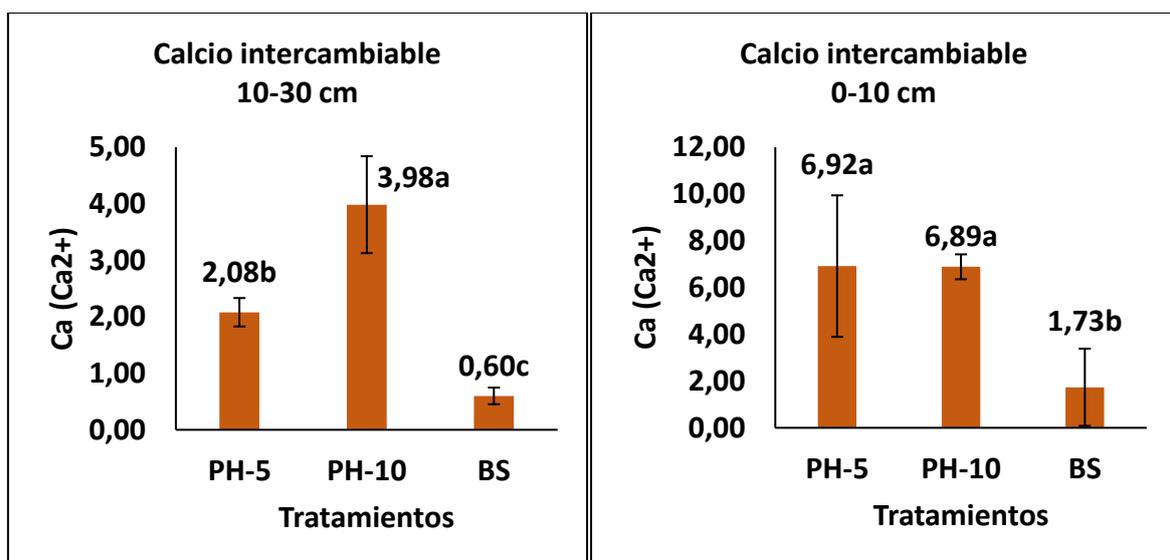


Figura 23. Comportamiento del Calcio (Ca^{2+}) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.

*Letras diferentes denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$

Magnesio Intercambiable (Mg^{2+})

El contenido de Mg^{2+} intercambiable exhibió un patrón similar al Ca^{2+} mostrando diferencias significativas, en función de los tratamientos en ambas profundidades (Figura 11). Se obtuvieron dos grupos estadísticamente similares y el orden obtenido en función de los tratamientos fue: PH-5 > PH-10 > BS para el horizonte superficial con niveles medio en la siembra de pitahaya y de bajo en el bosque secundario, mientras que para el segundo horizonte (10-30 cm) PH-10 > PH-5 > BS categorizado de bajos (< 0.5 meq 100 g s⁻¹). Igualmente, indistintamente del tratamiento se observó una disminución con la profundidad con mayor magnitud en los sistemas con pitahaya. Según Fageria (2013), la absorción de Mg está influenciada por la cantidad del elemento disponible en la solución del suelo, el pH del suelo, el porcentaje de saturación de Mg en el total de la capacidad de intercambio catiónico y tipo de suelo.

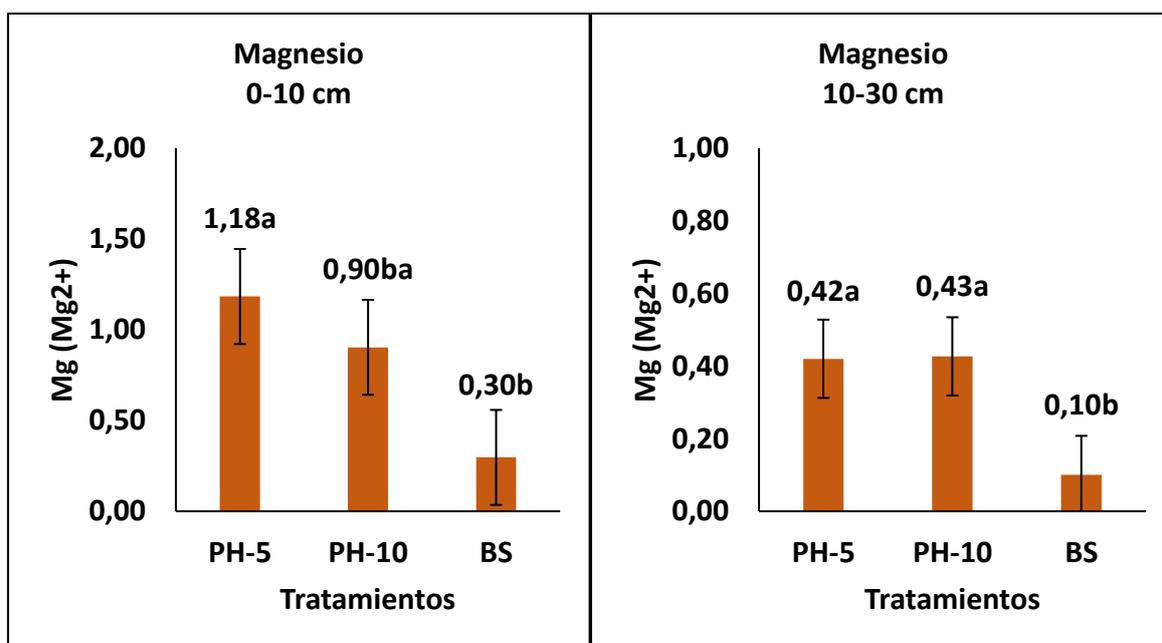


Figura 24. Comportamiento del Magnesio (Mg^{2+}) en las diferentes plantaciones y bosque secundario.

*Letras diferentes denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$

Los resultados de la evaluación de las propiedades químicas del suelo reflejan en gran medida la situación local de la Amazonía, con ambientes edáficos generalmente muy ácidos, alto contenido de materia orgánica, alta presencia de Al^{3+} , baja disponibilidad de P y de bases intercambiables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) coincidiendo con previos estudios realizados en la zona, reciclaje de nutrientes es de especial importancia en bosques secundarios en sistemas distróficos, en los cuales la poca cantidad de nutriente disponible determina, en parte, la

duración de las etapas de sucesión ya que actúan como un fertilizante de descomposición lenta. (Martín y Pérez 2009; Bravo-Medina et al.,2017),

Propiedades biológicas del suelo

Numero de lombrices

Las lombrices de tierra son los organismos más importantes del suelo, especialmente en ecosistemas productivos, debido a su influencia en la descomposición de la materia orgánica, desarrollo de la estructura del suelo y el ciclo de nutrientes. En cuanto al número lombrices (m²) no se detectó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos (Figura 12). La plantación de pitahaya de 10 años presento un mayor número de lombrices (104), seguido por la pitahaya de 5 años (88) y el BS (41). Según Ibáñez (2011), cuando las condiciones ambientales lo permiten, y las lombrices de tierra hacen acto de presencia en el suelo, la fertilidad física química, y especialmente la biológica del suelo, resultan ser notoriamente mejoradas con respecto a la producción agraria, ya que estos anélidos son muy beneficiosos para la tierra.

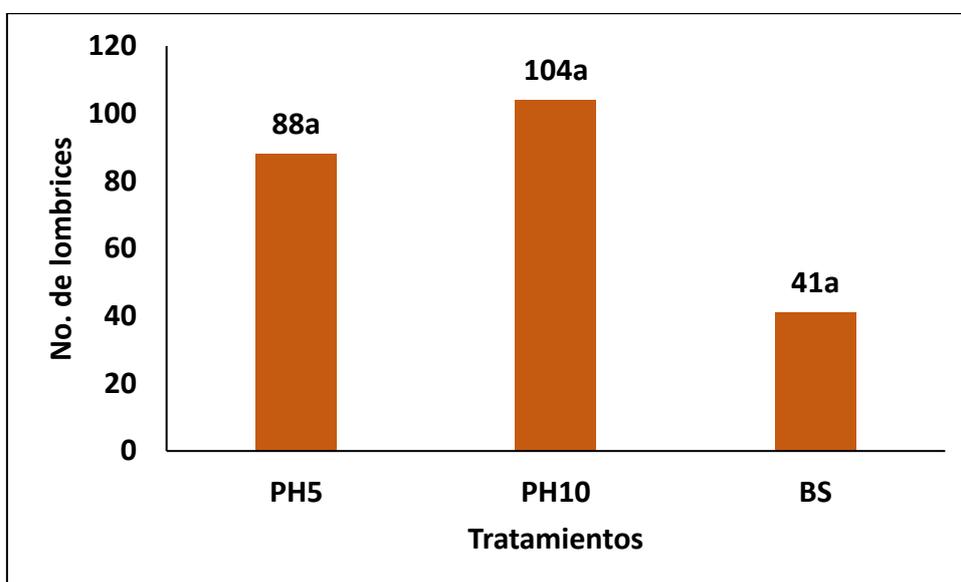


Figura 25. Comportamiento del N° de lombrices en las diferentes plantaciones y bosque secundario.

**Letras diferentes denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$*

Diferentes estudios han demostrado efectos significativos de una amplia diversidad de especies de lombrices de tierra en muchas especies de plantas (Scheu, 2003; Lavelle et al., 2006). Al respecto, se señala que el mejoramiento de la producción primaria se atribuye a

cinco procesos principales: 1) Mejora la liberación de nutrientes en la rizosfera de las plantas. 2) Estimulación de microorganismos mutualistas, micorrizas y microorganismos fijadores de N. 3) Mejora del vigor de la planta y protección contra plagas y enfermedades, sobre y bajo tierra. 4) Efectos positivos sobre la estructura física del suelo y 5) Producción de promotores del crecimiento de las plantas por microorganismos.

En relación a la Biomasa sobre el suelo (Figura 13) si se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. La plantación de pitahaya de 10 años y el bosque secundario mostraron valores similares en el peso de la biomasa con valores de ($5\ 132,67 - 5\ 255,87\ \text{kg ha}^{-1}$), mientras que la pitahaya de 5 años registró con un peso menor de ($398,53\ \text{kg ha}^{-1}$) lo cual está asociado al manejo agronómico del cultivo relacionado al control de malezas. Sin embargo, es importante señalar que en el caso de la pitahaya con 10 años al momento de realizar el muestreo se localizó una gran cantidad de especies de leguminosas rastreras entre plantas, la cual genera gran cantidad de biomasa.

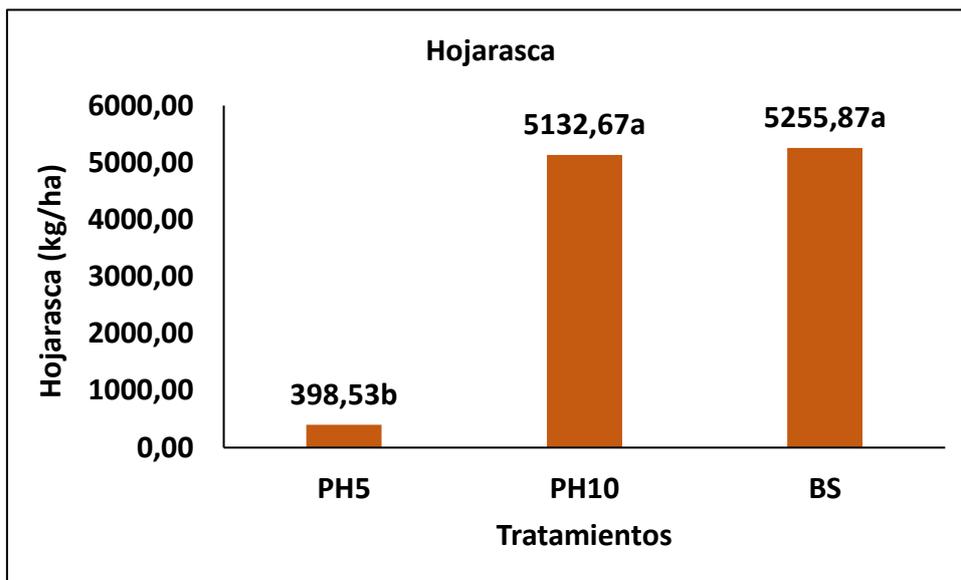


Figura 26. Comportamiento de la hojarasca en las diferentes plantaciones y bosque secundario.

**Letras diferentes denotan diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$.*

CORRELACIONES ENTRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO ASOCIADA A SU FERTILIDAD

El grado de asociación entre las propiedades del suelo relacionadas con su fertilidad se muestra en la tabla 3. Se puede apreciar que las relaciones entre las diferentes variables oscilaron desde correlaciones bajas, moderadas y altas en ambas profundidades. Para interpretar la relación entre variables se debe realizar tanto en el valor absoluto (alta $>0,70$; media $0,30 - 0,69$ o baja $<0,30$) y la magnitud (- o +). En base a ello, el contenido de arcilla se relacionó significativa y positivamente con la porosidad total ($r= 0,72$) y la porosidad de retención ($r=0,2$) con correlaciones categorizadas como altas, mientras que con la porosidad de aireación la relación entre ambas variables fue negativa ($r=-0,73$). En términos prácticos significa que medida que aumenta el contenido de arcilla se incrementa la Pt, Pr y como consecuencia disminuye la porosidad de aireación (Pa). La porosidad y retención de agua son dos parámetros que se encuentran estrechamente vinculados ya que la capacidad de retención de agua en el suelo es dependiente del número de poros, de la distribución de tamaño de poros y de la superficie específica de cada suelo (Anicua et al., 2009).

Igual comportamiento se observó entre la materia orgánica y el nitrógeno total con un coeficiente de correlación $r=0,85$, lo cual indica que un incremento del nivel de MO mejora o incrementa la disponibilidad de nitrógeno como elemento fundamental para el desarrollo de las plantas (Anicua et al., 2009).

En cuanto a densidad aparente se puede observar que está relacionada con la porosidad de aireación, pH, fósforo y calcio y con la materia orgánica ($r=-0,81$). Algunos estudios han mostrado resultados similares en cuanto a la relación negativa de la Da con la MO lo cual indica que el incremento de los niveles de materia orgánica disminuye la densidad aparente y como consecuencia mejora la porosidad; mejorando el desarrollo y crecimiento de las raíces (Bravo et al., 2017; Dick, 2004).

El pH se encuentra relacionado positivamente con las bases intercambiables indicando que a medida que se eleva el pH del suelo se mejora la concentración de calcio, el potasio y el magnesio. Los suelos estudiados mostraron un mejoramiento del pH con los cultivos de pitahaya en comparación con el bosque lo que demuestra que el pH suelo afecta de modo notable en la disponibilidad y la absorción de los nutrientes por las plantas.

CORRELACIONES

Tabla 3. Correlaciones entre variables a nivel (0 - 10 cm) de profundidad.

VARIABLES	(0-10 cm)																			
	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	Da Mg m ⁻³	K _{sat} cm h ⁻¹	PT, %	Pa %	Pr, %	pH	Al ⁺³ + H ⁺ Al ⁺³	MO, %	Nt, %	P, mg kg ⁻¹	K+ meq 100 g s	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Lombrices No.	Hojakg ha ⁻¹		
ARENA %	1																			
LIMO %	-0,62	1,00																		
ARCILLA %	-0,49	-0,39	1,00																	
Da Mg m ⁻³	-0,04	0,51	-0,52	1,00																
K _{sat} cm h ⁻¹	-0,58	0,56	0,06	0,11	1,00															
Pt, %	0,01	-0,66	,722*	-0,53	-0,15	1,00														
Pa, %	0,08	0,58	-,733*	,866**	0,23	-0,56	1,00													
Pr, %	-0,04	-,695*	,824**	-,803**	-0,22	,866**	-,898**	1,00												
pH	0,02	0,45	-0,53	,781*	0,43	-0,62	,807**	-,817**	1,00											
Al ⁺³ + H ⁺	-0,04	-0,52	0,62	-0,62	-0,37	0,65	-,670*	,749*	-,750*	1,00										
Al ⁺³	-0,09	-0,43	0,59	-0,54	-0,36	0,57	-0,57	0,65	-0,66	,979**	1,00									
MO, %	-0,11	-0,62	,810**	-,807**	-0,19	,775*	-,915**	,962**	-,835**	,859**	,767*	1,00								
Nt, %	-0,59	-0,15	,854**	-0,58	0,25	0,62	-,723*	,763*	-0,63	,683*	0,62	,841**	1,00							
P, mg kg ⁻¹	-0,04	0,50	-0,51	,724*	0,24	-,843**	0,64	-,834**	,848**	-,671*	-0,57	-,780*	-0,61	1,00						
K+ meq 100 g s	0,20	0,26	-0,52	0,54	0,41	-0,36	,684*	-0,60	,813**	-0,49	-0,45	-0,61	-0,48	0,46	1,00					
Ca ²⁺	-0,12	0,49	-0,41	,752*	0,53	-0,54	,782*	-,760*	,957**	-0,57	-0,47	-,721*	-0,45	,799**	,812**	1,00				
Mg ²⁺	-0,13	0,55	-0,46	0,65	0,58	-0,45	,825**	-,738*	,883**	-0,54	-0,44	-,724*	-0,44	0,61	,880**	,931**	1,00			
Lombrices No.	0,09	0,19	-0,32	0,40	0,15	-0,26	0,65	-0,53	0,60	-0,34	-0,17	-0,57	-0,56	0,51	0,39	0,62	0,64	1,00		
Hojarasca_kg ha ⁻¹	0,19	-0,61	0,46	-0,41	-0,42	0,17	-0,66	0,49	-0,33	0,23	0,19	0,44	0,15	-0,02	-0,58	-0,42	-0,65	-0,19	1	

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral); ** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Da: Densidad aparente; **Ksat:** conductividad hidráulica saturada; **Pt:** Porosidad total; **Pa:** porosidad de aireación; **Pr:** porosidad de retención; **Al+3 + H+:** acidez intercambiable; **Al+3:** aluminio intercambiable; **MO:** materia orgánica; **Nt:** nitrógeno total; **P:** fósforo; **K:** potasio; **Ca:** calcio; **Mg:** magnesio

En la tabla 4. Se observa el grado de asociación del suelo relacionado con su fertilidad, se puede apreciar que entre las diferentes variables oscilaron datos lo que nos indicó correlaciones bajas, moderadamente y altas entre ambas profundidades, para la interpretación de la relación entre variables se considera tanto el valor absoluto (alta > 0.70 , media $0.30-0.69$ o baja < 0.30) y la magnitud (- o +).

En base a ello el contenido de conductividad hidráulica saturada se relacionó significativamente y positivamente con la porosidad de aireación ($r=0.68$) y difirió negativamente con la porosidad de retención ($r=0.70$), en términos generales significa que a medida que aumenta el contenido de conductividad hidráulica saturada, aumenta el contenido de Pa y como consecuencia disminuye el contenido de la Pr. Se comprobó que el comportamiento de la conductividad en el suelo es un resultado de la estructura más que de la textura, debido a que se ve más afectada por el sistema poroso secundario (Fuentes et al., 2015).

En cuanto a la variable pH, se evidenció correlación positiva con calcio y magnesio esto puede estar influenciado por enmiendas que recibe el suelo de las plantaciones de pitahaya cada 45 días.

Igual comportamiento se observó entre el nitrógeno total con el fósforo y calcio lo que indicó una correlación positiva y significativa, a pesar de que el suministro de nitrógeno al suelo es sensitivo a diversos factores que controlan la mineralización potencial del nitrógeno (por ejemplo, las propiedades del suelo y las prácticas de manejo) y a condiciones ambientales (por ejemplo, humedad y temperatura) que regulan la actividad biótica (Zebarth, Dury, Tremlay & Cambouris, 2009).

Tabla 4. Correlaciones entre variables a nivel (10 - 30 cm) de profundidad.

	(10-30) cm																
	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	Da Mg m ⁻³	K _{sat} cm h ⁻¹	PT %	Pa %	Pr %	pH	Al ⁺³ + H ⁺	Al ⁺³	MO, %	Nt, %	P, mg kg-1	K+ meq 100 g. Ca ²⁺	Mg ²⁺	
ARENA %	1,00																
LIMO %	-,916**	1,00															
ARCILLA	-,759*	0,43	1,00														
Da Mg m ⁻³	-0,19	0,12	0,23	1,00													
K _{sat} cm h ⁻¹	0,41	-0,18	-0,62	-0,16	1,00												
PT, %	-0,07	0,01	0,14	0,02	-0,39	1,00											
Pa %	-0,12	0,33	-0,26	0,16	,683*	-0,30	1,00										
Pr, %	0,08	-0,27	0,27	-0,13	-,709*	0,61	-,939**	1,00									
pH	0,11	-0,17	0,02	0,43	-0,15	0,09	0,33	-0,24	1,00								
Al ⁺³ + H ⁺	-0,36	0,42	0,14	0,01	-0,17	-0,47	0,21	-0,34	0,06	1,00							
Al ⁺³	-0,37	0,42	0,16	-0,09	-0,18	-0,42	0,26	-0,36	0,20	,957**	1,00						
MO, %	0,42	-0,30	-0,47	0,35	0,26	-0,26	0,19	-0,25	0,13	0,44	0,32	1,00					
Nt, %	-0,40	0,45	0,15	0,07	-0,16	-0,07	0,47	-0,41	0,46	,799**	,853**	0,29	1,00				
P, mg kg-1	-0,07	0,02	0,12	0,06	-0,20	-0,42	0,20	-0,32	0,60	,735*	,843**	0,33	,726*	1,00			
K+ meq 100 g s	0,03	0,21	-0,41	0,25	0,52	-0,65	,781*	-,883**	0,28	0,53	0,48	0,50	0,50	0,42	1,00		
Ca ²⁺	-0,16	0,11	0,19	0,52	-0,10	-0,28	0,45	-0,48	,823**	0,53	0,61	0,36	,693*	,834**	0,53	1,00	
Mg ²⁺	-0,07	0,18	-0,13	0,32	0,36	-0,36	,847**	-,835**	,719*	0,39	0,48	0,27	0,66	0,62	,785*	,834**	1,00

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral); ** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Da: Densidad aparente; **Ksat:** conductividad hidráulica saturada; **Pt:** Porosidad total; **Pa:** porosidad de aireación; **Pr:** porosidad de retención; **Al+3 + H+:** acidez intercambiable; **Al+3:** aluminio intercambiable; **MO:** materia orgánica; **Nt:** nitrógeno total; **P:** fósforo; **K:** potasio; **Ca:** calcio; **Mg:** magnesio.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- A pesar que la pitahaya es un monocultivo, se observó al analizar los parámetros físicos, químicos y biológicos; que el suelo no se encuentra erosionado, al contrario, se miró la presencia de suelos porosos, bien aireados y con buen drenaje lo que confirma que no existe compactación ni daño en los suelos en el transcurso de los años.
- En las relaciones de las propiedades del suelo, las de mayor relevancia fueron: pH y contenido de densidad aparente; el pH demostró correlación con los micro elementos: calcio, potasio y magnesio, esto es un indicador de que existe notable disponibilidad y absorción de nutrimentos por parte de las plantas, y la densidad aparente a medida que aumenta afecta la retención de humedad, lo que limita el desarrollo y crecimiento de las raíces, ya que esta se encuentra afectada por el espacio poroso.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios que permitan profundizar la relación de las propiedades del suelo con el rendimiento de pitahaya amarilla.
- Realizar estudios de suelo en otras zonas de producción del cultivo de pitahaya, en plantaciones de diferentes años para conocer el comportamiento a nivel provincial y validar los resultados.

CAPÍTULO VI.

BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, E., Martínez, E. (2003). Sistema de labranza y productividad de los suelos, en Acevedo, E.: *Sustentabilidad en Cultivos Anuales*. Santiago, Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N° 8, p. 13-25.
- AGRIBUSINESS. Asistencia agroempresarial agribusiness, EC. (1992). *Manual técnico del cultivo de la pitahaya*. Quito, EC. Corporación Andina de Fomento. 29 p.
- Anicua, S. R., Gutiérrez, C., Sánchez, G., Ortiz, S., Volke, H., Rubiños, P. (2009). Tamaño de partícula y relación micro morfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura Técnica en México* 35(2): 147–156.
- Ansorena, J. (2005). *Fertilidad del suelo: acidez y complejo de cambio*. laboratorio agrario diputación foral de gipuzkoa. (En línea). Consultado 20 de diciembre del 2019.
- Argüello, P. (1997). *Períodos prolongados de sequía en pitahaya*. México DF., MX. Universidad Autónoma de Chapingo. 200 p.
- Astier-Calderón, M., 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.
- Balboa, G., Esposito, G., Castillo, C., Balboa, R. C. (2009). Nivel crítico de fósforo y azufre en suelos del sur de Cordoba para el cultivo de soja. *INPi - Informaciones agronómicas del Cono Sur* N° 43.
- BCE. Banco Central del Ecuador. (2015). *Información estadística exportaciones. Series históricas de las exportaciones*.
- Bastos, M., Oliveira, M. (2003). *Densidad de probabilidad como herramienta en la caracterización de la conductividad hidráulica saturada de los suelos*. Universidad de Federal de Lavras. Departamento de Ciencia do Solo. C.P. 37, Campus Universitario, Lavras, Minas Gerais, Brasil.
- Becerra, L. (1992). *El cultivo de la pitahaya*. Bogotá, CO. Federación Nacional de Cafeteros. 19 p.

- Benimeli, M., Plasencia, A., Corbella, R., Andina, D., Sanzano, A., Sosa, S., Ullivari, J. (2019). El nitrógeno del suelo. Cátedra de edafología Facultad de Agronomía y Zootecnia-Universidad Nacional de Tucumán.
- Bertsch, P. M. (1995). Caracterización de la materia orgánica disuelta y coloidal en la solución del suelo: una revisión. Formas y funciones de carbono en los suelos forestales, 63-88.
- Bravo, C., Benítez, D., Burgos, J. C. V., Alemán, R., Torres, B., Marín, H. (2015). Caracterización socio-ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana: Caso Pastaza y Napo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*,4(1),03-31.
- Bravo, C., Torres, B., Alemán, R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 37(2), 247-264.
- Bravo-Medina, C., Marín, H., Marrero-Labrador, P., Ruiz, M. E., Torres-Navarrete, B., Navarrete-Alvarado, H., Changoluisa-Vargas, D. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonia Ecuatoriana. *Bioagro*, 29(1), 23-36.
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Rev. Cienc. Agr.* 33(2):106 - 116.
- Cámara de Agricultura. (2019). Ecuador: Denominación De Origen Para La Pitahaya Amazónica De Palora. URL: <http://www.agroecuador.org/index.php/blog-noticias/item/140-ecuador-denominacion-de-origen-para-la-pitahaya-amazonica-de>
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A., Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del suelo*. 28. 223-231.
- Casanova, E. (2005). Introducción a las Ciencias del Suelo. (pp. 487) Caracas: CDCH UCV.
- Castillo, R. (2006). Aprovechamiento de la pitahaya: bondades y problemáticas. Quintana, MX. *Caos ciencia* 1: 13-18.

- CONABIO. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. (2016). Biodiversidad Mexicana. En: Ecosistemas. Procesos ecológicos. URL: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/procesose.htm>; consultado: 23 de diciembre del 2019.
- Crane, J., Balerdi, B. (2005). The pitaya (*Hylocereus undatus* and other spp.) in Florida. Florida, US. University of Florida. p. 2,9
- Custode E., Sourdat, M. (1986). Paisajes y suelos de la Amazonia ecuatoriana: entre la conservación y la explotación. Revista del Banco Central del Ecuador, 325-337. Ecuador 1986: Coloquio, Quito.
- Di Ciocco, C. A., Sandler, R., Falco, L., Penón, E., Coviella, C. (2013). Actividad nitrogenasa, respiración edáfica y propiedades físico-químicas en suelos pampeanos con diferentes impactos productivos. CONEBIOS III. 24-26/4/13. Río Cuarto, Córdoba. Argentina.
- Dick, R. P. (2004). Soil biological, chemical and physical dynamics during transition to nonthermal residue management grass seed systems. Online Internet. Oregon, GSCSSA. Progressreports FY00. Disponible en: <http://gscssa.wsu.edu/progress/00/100.htm>.
- Etchevers, J., Hidalgo, C., Vergara, M., Bautista, M., Padilla, J. (2009). Calidad de suelo: conceptos, indicadores y aplicación en agricultura. Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México. (Ed). Universidad Nacional Autónoma de México UNAM Colección Geográfica para el siglo XXI. Serie Libros de Investigation, 3, 196.
- Fageria, N. K. (2013). Magnesium. The Role of Plant Roots in Crop Production. Editorial CRC Press. pp 325-326.
- Fuentes, I., Casanova, M., Seguel, O., Padarian, J., Nájera, F., Salazar, O. (2015). Preferential flow paths in two alluvial soils with long-term additions of pig slurry in the Mediterranean zone of Chile. Soil Research 53(4), 433-447 <http://dx.doi.org/10.1071/SR14264>
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Muñoz Ugarte, O. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el

Caribe. Luxemburgo: Comisión Europea, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.

Guzmán-Piedrahita, A., Pérez, L., Patiño, A. (2012). Identification of plant phytoparasite nematodes in yellow pitahaya. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 16(2), 149-161.

Ibáñez, J. J. (2011). Las Lombrices de Tierra y Su importancia en el Suelo. Un universo invisible bajo nuestros pies. Disponible en: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/05/31/138374>.

Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Medellín- Colombia.

Klute, E. (1986). Métodos de análisis de suelos: Parte 1: Métodos físicos y mineralógicos, SSSA Book Series 5.1.

Kooijman, A. M., Jongelans, J., Sevink, J. (2005). Parent material effects on Mediterranean Woodland ecosystems in NE Spain. *Catena* 59:55-68.

Lal, R., Blum, W., Valentine, C., Stewart, B. (1998). Methods for assessment of soil degradation. In: *Advances in Soil Science*, Lewis Publishers, Boca Raton, p. 558.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Rossi, JP. (2006). Invertebrados del suelo y servicios ecosistémicos. *Revista europea de biología del suelo*, 42, S3-S15.

Lezama, A., Tapia, A., Muñoz, G., Zepeda, V. (2005). El cultivo de la pitahaya. Texcoco, MX. Consultado 24 de diciembre del 2019. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/El%20cultivo%20de%20la%20Pitahaya.pdf>.

López, H., Guido, A. (2002). Guía tecnológica: Cultivo de la Pitahaya. Managua, NI. Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria. 28 p.

Martin, N. J., Pérez, G. (2009). Evaluación agro productiva de cuatro sectores de la Provincia de Pastaza en la Amazonía Ecuatoriana. *Cultivos Tropicales* 30: 5-10.

- McLEAN, E. O. (1965). Aluminum. In: BLACK, C.A. (Ed.) *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical methods*. Madison: ASA, p.978-998.
- Nieto, C., Caicedo, C. (2012). Análisis del contexto geográfico, socioeconómico y ambiental de la Región Amazónica. En, *Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazonia Ecuatoriana* (pp. 19-36). Joya de los Sachas, Ecuador.
- Pla, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. *Propiedades Mecánicas. Suelos Ecuatoriales*. 40 (2), 75-93
- Porta, J., López-Acevedo, M., Poch, R. *Introducción a la edafología uso y protección del suelo*; ediciones mundi-prensa Madrid. Barcelona. México. 126-134 p.
- Pozo, E. (1999). Posibilidades del cultivo de la pitahaya roja y amarilla. *Revista Cultivos Controlados* 1(2): 14-16.
- Pozo, E., Sánchez, J. (2011). Evaluación del desarrollo de los esquejes de pitahaya en las cuatro fases lunares con dos tipos de sustratos en la parroquia Río Verde, Santo Domingo de los Tsáchilas. Guaranda, EC. Universidad Estatal de Bolívar. 70 p.
- Robertson, G. P., Groffman, P. M. (2015). Nitrogen transformations. In: Paul. E.A (ed). *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Fourth edition. Academic Press, Burlington, Massachusetts, USA. pp 421-446.
- Rodríguez, E. M. G., Luengas, A. P., Trujillo, M. M. P. (2016). Caracterización Agrológica del Suelo y Diagnóstico de su Fertilidad en la Estación Experimental del Campus Nueva Granada, Cajicá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 5(1-2), 82-104. URL: <https://doi.org/10.18359/rfcb.2123>.
- Ruiz, S. R., Sadzawka, R. A. (2005). *Nutrición y Fertilización Potásica en Frutales y Vides*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. 80 p.
- Sánchez, S., Hernández, M., Ruz, F. (2011). Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. *Pastos y Forrajes*, 34(4), 375-392.
- Scheu, S. (2003). Efectos de las lombrices de tierra en el crecimiento de las plantas: patrones y perspectivas: el 7º simposio internacional sobre ecología de lombrices de tierra · Cardiff · Gales. *Pedobiología*, 47 (5-6), 846-856.

- Silva, A. (1998). La materia orgánica del suelo. Montevideo: Facultad de Agronomía. 34p.
- Silva, S., Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*. 23:13-34.
- Singer, M.J., Ewing, S. (2000). Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Solís, M. (2011). Levantamiento edafológico y agrológico con fines de planificación agropecuaria de la hacienda Bernabé Pedro Vicente Maldonado Ecuador. (Tesis de Pregrado). Universidad Central del Ecuador. Ecuador p. 30-35.
- Soil Quality Institute. (1996). Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
- Sokal, R. R., Rohlf, F. J. (1995). *Biometry: the principles and practice of statistic in biological research*. 3rd ed. W.H. Freeman and Company, New York, USA. 887 pp.
- Suárez, C., Pico, J., Caicedo, C., Delgado, A. (2018). Prospección de enfermedades fúngicas sobre pencas de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en el Cantón Palora. Universidad Técnica de Manabí.
- Zebarth, B. J., Dury, C. F., Tremly, N., Cambouris, A. N. (2009). Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. *Soil Science Society of America Journal*. 89: 113-132.