UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LAVIDA

INGENIERÍA AMBIENTAL

Denominación del título a obtener

INGENIERA AMBIENTAL

Título del proyecto de investigación

ANÁLISIS DE LA FERTILIDAD INTEGRAL Y CAPTURA DE CARBONO DEL SUELO BAJO DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS A PEQUEÑA ESCALA EN LA PROVINCIA DE PASTAZA-ECUADOR.

Autor:

JENNY PAOLA GARAY MONTAÑO

FRANKLIN GROMANQUISHPETOQUETON

Director del proyecto

Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina. Ph.

PUYO-ECUADOR

2020

DECLARACION DE AUDITORIA Y SECCION DE DERECHOS

Quienes escriben Garay Montaño Jenny Paola, portadora de la cedula de identidad No 2200512982 y Quishpe Toqueton Franklin Groman, portador de la cedula de identidad No 1600785297, hacemos constar que somos autores del proyecto de investigación con el título "**ANÁLISIS DE LA FERTILIDAD INTEGRAL Y CAPTURA DE CARBONO DEL SUELO BAJO DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS A PEQUEÑA ESCALA EN LA PROVINCIA DE PASTAZA ECUADOR**" el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente bajo la dirección del asesor de dicho trabajo, Dr. Carlos Alfredo bravo medina en tal sentido, se manifiesta la originalidad de la conceptualicen de trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectualmente de otros actores sean referenciados debidamente en el texto de dicho trabajo, a la vez cedemos los derechos a la Universidad Estatal Amazónica que puede realizar publicaciones sobre la misma así como su almacenamiento tanto físico y electrónico.

En el cantón Pastaza, a los 21 días del mes de septiembre del 2020.





Garay Montaño Jenny Paola

C.I: 2200512982

Quishpe Toqueton Franklin Groman

C.I:1600785297

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DEINVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Yo, Carlos Alfredo Bravo Medina, con número de cedula 1757015373 certifico que el egresado Garay Montaño Jenny Paola y Quishpe Toqueton Franklin Groman realizaron el Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado "ANÁLISIS DE LA FERTILIDAD INTEGRAL Y CAPTURA DE CARBONO DEL SUELO BAJO DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS A PEQUEÑA ESCALA EN LA PROVINCIA DE PASTAZA ECUADOR", previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental bajo mi supervisión.

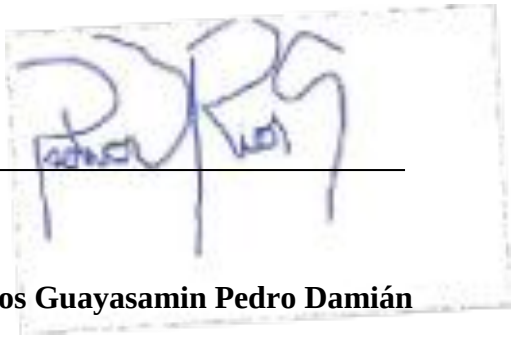


Dr. Bravo Medina Carlos A, PhD.

1757015373

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: "ANÁLISIS DE LA FERTILIDAD INTEGRAL Y CAPTURA DE CARBONO DEL SUELO BAJO DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS A PEQUEÑA ESCALA EN LA PROVINCIA DE PASTAZA ECUADOR", fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.



Msc. Ríos Guayasamin Pedro Damián

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Msc. Guerrero Rubio Jessy Paulina

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Msc. Mejía López Andrea Daniela

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: "ANÁLISIS DE LA FERTILIDAD INTEGRAL Y CAPTURA DE CARBONO DEL SUELO BAJO DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS A PEQUEÑA ESCALA EN LA PROVINCIA DE PASTAZA ECUADOR", fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Msc. Ríos Guayasamin Pedro Damián

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Msc. Guerrero Rubio Jessy Paulina

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Msc. Mejía López Andrea Daniela

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

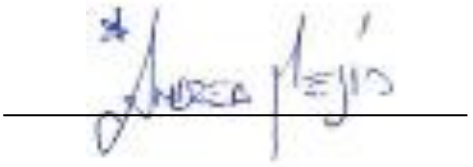
El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: "ANÁLISIS DE LA FERTILIDAD INTEGRAL Y CAPTURA DE CARBONO DEL SUELO BAJO DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS A PEQUEÑA ESCALA EN LA PROVINCIA DE PASTAZA ECUADOR", fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Msc. Ríos Guayasamin Pedro Damián

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Msc. Guerrero Rubio Jessy Paulina

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Msc. Mejía López Andrea Daniela

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Oficio No. 282-SAU-UEA-2020

Puyo, 21 de septiembre de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El proyecto de investigación correspondiente a los egresados GARAY MONTAÑO JENNY PAOLA con C.I. 2200512982 y QUISHPE TOQUETON FRANKLIN GROMAN con C.I. 1600785297, con el Tema: **"ANÁLISIS DE LA FERTILIDAD INTEGRAL Y CAPTURA DE CARBONO DEL SUELO BAJO DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS A PEQUEÑA ESCALA EN LA PROVINCIA DE PASTAZA ECUADOR",** de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director del proyecto Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina, PhD., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 9%, Informe generado con fecha 9 de enero de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,



Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI PLAGIO

Quien suscribe el presente **Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina** con CI: **1757015373**, certifica que el Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "**Análisis de la fertilidad integral y captura de carbono del suelo bajo diferentes sistemas productivos a pequeña escala en la provincia de Pastaza-Ecuador**", ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del _9_ %.

En el cantón Pastaza, a los 01 días del mes de septiembre del 2020.



Dr. Carlo Alfredo Bravo Medina
CI: **1757015373**
Director del Proyecto de Investigación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios porque gracias a él podemos vivir una vida llena de experiencias, aprendizajes, logros, nuevas oportunidades, culminar las metas propuestas, gracias a esto podemos decir que los frutos se reflejan gracias a la dedicación, perseverancia y esfuerzo he podido culminar mi carrera profesional.

A mis padres Kennedy y Geovanna por ser pilar fundamental que me motivaba día a día a lograr el objetivo, ellos quienes siempre me brindaron amor incondicional, corrigiendo falencia que como humanos cometemos, confiaron en mí y en las aspiraciones que podía lograr con esfuerzo y dedicación. A mis hermanos quienes con palabras de aliento siempre apoyaron mi dedicación brindándome palabras de apoyo en los buenos y malos momentos, celebrando triunfos y pérdidas. A Jenny Garay gracias por formar parte de esta etapa de mi vida siempre apoyándome incondicionalmente en los malos y buenos momentos de mi carrera.

Al Doctor Carlos Bravo un agradecimiento personal por permitirme trabajar con tan prestigiada persona, colaborando en temas académicos y brindarme parte de su tiempo para la elaboración y culminación de este proyecto.

A la Universidad Estatal Amazónica por abrirme sus puertas y permitirme ser parte de tan dichosa comunidad académica educativa durante estos 5 años de formación profesional, a los docentes y compañeros de quienes en el diaria vivir fui aprendiendo nuevos conocimientos y costumbres, sin dejar de lado las nuevas experiencias y momentos vividos que permitieron pasar la amistad más allá del aula de estudio, gracias por formar parte de mi trayectoria académica.

Franklin Groman Quishpe Toqueton

DEDICATORIA

A **Dios** que con su amor y bondad infinito me permite son reír ante los logros que son resultado del esfuerzo y dedicación planteada, cuando caigo y me pones a prueba que debo aprender de mis errores, dándome cuenta que los pones frente a mí para que mejore como ser humano y crezca de diversas maneras.

A mi **Padre** le agradezco por el esfuerzo y dedicación gracias a tu apoyo total he culminado tan ansiada meta, gracias por estar presente en esta importante experiencia de mi vida ofreciendo y buscando lo mejor para mí, a mi **Madre** por darme la dicha de la vida, por cada momento vivido son simplemente únicos, por corregirme cada error cometido, por la oportunidad de permitirme disfrutar de la vida cada mañana al despertar. Infinitas gracias a mis padres.

Franklin Groman Quishpe Toqueton

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, quien es el que nos provee la dicha de la vida y con ella las experiencias que se adquiere durante el trascurso de la vida, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados que con dedicación y esfuerzo se ha logrado.

A mi madre María Marlene Montaño es la mejor madre que me pudieron dar, gracias por su amor eterno e incondicional, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ella he logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que soy, es un orgullo y privilegio ser su hija, y darme cuenta que las adversidades no son impedimento para poder cumplir tus sueños y metas. A mis hermanas Dolores y Carmen por estar siempre presente, ser como mi segunda madre siempre acompañándome y por el apoyo moral. A la familia Quishpe Toqueton y en especial a su hijo Franklin Q. por abrirme las puertas de su hogar y hacerme sentir como en ella, por demostrarme que el apoyo puede venir de personas que menos te lo esperas.

Al Dr. Carlos Bravo un agradecimiento personal por permitirme trabajar con tan prestigiada persona, colaborando en temas académicos y brindarme parte de su tiempo para la elaboración y culminación de este proyecto, despertando en mí el deseo de superación personal y profesional, al departamento de vinculación gracias por estrecharme su mano con ayudas que como estudiantes necesitamos y adquiriendo nuevos conocimientos.

A la Universidad Estatal Amazónica por permitirme estudiar en tan prestigiosa institución educativa abriéndome las puertas hacia el conocimiento, permitiéndome formar parte de esta comunidad educativa durante los 5 años que dura mi preparación profesional, a los docentes y compañeros de quienes aprendí sobre conocimientos nuevos y costumbres de diferentes culturas , sin dejar de lado las nuevas experiencias y momentos vividos que permitieron pasar la amistad más allá del aula las cuales las compartí con mis amigas Xiomara Padilla, Michelle Crespo, Adriana Bazurto, Gabriela Cabeza y Mercy Tigre, formando amistades que duraran fuera del área académica, gracias por estar conmigo.

Jenny Paola Garay Montaño

DEDICATORIA

La presente tesis dedico primeramente a **Dios** por haberme dado vida, salud y sabiduría a lo largo del estudio de mi carrera en ingeniería ambiental.

A **mi Madre** que sin ella no hubiese logrado tan ansiada meta que aporta en mi vida profesional, **mamá** gracias por estar a mi lado en esta etapa, tu apoyo y entusiasmo que siempre me brindaste para seguir adelante y no decaer en los propósitos que me plante, gracias por permitirme vivir esta experiencia, por tu amor incondicional, tu esfuerzo invaluable, tú que me has proporcionado todo y cada cosa que necesite, aplico tus enseñanzas día a día de verdad tengo mucho por agradecerte.

Tu ayuda fue pilar fundamental para la culminación de esta tesis te doy las gracias **Madre**.

Jenny Paola Garay Montaño

Resumen

El suelo es recurso natural finito no renovable que cumple múltiples funciones entre las cuales se destaca la de regulación como el secuestro de carbono y de soporte como la fertilidad que influye en el desarrollo y producción de los cultivos. En base a ello, el objetivo de esta investigación consistió en analizar los parámetros que intervienen en la fertilidad integral, la captura de carbono (suelo y hojarasca) y la reserva de nutrientes bajo ocho sistemas de producción agrícola. Se realizó un muestreo sistemático a dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm, en donde se evaluaron propiedades físicas (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr) y propiedades químicas (pH, Acidez, Al^{3+}, CO, P, K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}). En general, tanto los parámetros físicos y químicos asociados a la fertilidad mostraron mejores condiciones en la primera profundidad (0- 10 cm) con respecto a la segunda capa (10-30 cm), lo cual está asociado principalmente a los cambios en el contenido de materia orgánica entre sistemas de producción agrícola y profundidad. La fertilidad química mostro un comportamiento irregular sin ningún patrón definido en los sistemas de producción agrícola exhibiendo valores de pH ácidos a muy ácidos, niveles altos a medios de acidez y aluminio intercambiable y de moderada a baja disponibilidad de nutrientes. La captura de carbono mostro diferencias significativas entre SPA con rangos que oscilaron de un mínimo de 3,85 Mg C ha^{-1} (SPA-3) a un máximo de 21 Mg C ha^{-1} (SPA-7) en el horizonte superficial, mientras que en el segundo horizonte los valores estuvieron entre 1,76 Mg C ha^{-1} (SPA-3) y 12,48 Mg C ha^{-1} (SPA-8), reflejando la importancia de este recurso en el proceso de mitigación del cambio climático. Las diferencias en concentraciones de nutrientes influenciaron sus niveles de reserva en el suelo, mostrando mayor reserva de nitrógeno total con SPA-8 y de P disponible en SPA- 3, mientras que las mayores reserva bases cambiables (K, Ca, Mg) se encontraron con SPA-7 y SPA-3 con respecto al resto de los sistemas.

Palabras claves: *carbono orgánico, nutrientes, condiciones del suelo, Amazonia Ecuatoriana.*

Abstract

The soil is a finite non-renewable natural resource that provides multiple functions, among which the regulation such as carbon sequestration and support such as fertility that influences the development and production of crops stands out. Based on this, the objective of this research was to analyze the parameters that intervene in integral fertility, carbon capture (soil and litter) and nutrient reserves under eight agricultural production systems. A systematic sampling was carried out at two depths 0-10 cm and 10-30 cm, where physical properties (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr) and chemical properties (pH, Acidity, Al3 +, CO, P, K + were evaluated, Ca2 +, Mg2 +). In general, both the physical and chemical parameters associated with fertility showed better conditions in the first depth (0-10 cm) with respect to the second layer (10-30 cm), which is mainly associated with changes in the content. Of organic matter between agricultural production systems and depth. Chemical fertility showed an irregular behavior without any defined pattern in agricultural production systems exhibiting acidic to very acidic pH values, high to medium levels of acidity and exchangeable aluminum and moderate to low availability of nutrients. Carbon capture showed significant differences between SPA with ranges that ranged from a minimum of 3.85 Mg C ha-1 (SPA-3) to a maximum of 21 Mg C ha-1 (SPA-7) in the surface horizon, while in the second horizon the values were between 1.76 Mg C ha-1 (SPA-3) and 12.48 Mg C ha-1 (SPA-8), reflecting the importance of this resource in the mitigation process of the climate change. The differences in nutrient concentrations influenced their reserve levels in the soil, showing a greater reserve of total nitrogen with SPA-8 and of P available in SPA-3, while the largest reserves of exchangeable bases (K, Ca, Mg) were found with SPA-7 and SPA-3 with respect to the rest of the systems.

Keywords: *organic carbon, nutrients, soil conditions, Ecuadorian Amazon.*

Tabla de contenido

Capítulo 1: Introducción 1

1.1 Planteamiento del problema de la investigación 3

1.2 Objetivos 4

1.3 Justificación 5

2 CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 4

2.1 Fertilidad integral del suelo 4

2.1.1 Fertilidad del suelo y su relación con la planta 4

2.1.2 Presencia o distribución de nutrientes en el suelo 6

2.1.3 Elementos esenciales para una buena distribución de nutrientes en elsuelo. 6

2.1.4 Factores asociados a la fertilidad del suelo en la amazonia 7

2.2 Proceso de la captura de carbono en el suelo 8

2.2.1 Influencia de los sistemas de producción sobre el secuestro de carbono 8

2.2.2 Comportamiento del secuestro de carbono según su uso de suelo 9

2.2.3 El secuestro de carbono bajo los diferentes usos del suelo 10

3 CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 14

3.1 Localización del área de estudio 14

3.2 Tipo de Investigación 16

3.3 Métodos de investigación 16

3.3.1 Parámetros Físicos 18

3.3.2 Parámetros químicos 18

3.3.3 Secuestro de carbono en los distintos compartimentos 18

3.3.4 Calculo de Reserva de Nutrientes 20

4 CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS y DISCUSIÓN 21

4.1 Caracterización de la fertilidad física mediante indicadores estructurales bajo los diferentes sistemas productivos estudiados 21

4.1.1 Parámetros físicos 21

4.2 Caracterización la fertilidad química como parámetros asociados a procesos de acidificación y disponibilidad de nutrientes 28

Parámetros químicos 28

4.3 Proceso de acidificación 28

4.4 Disponibilidad de nutrientes 35

4.5 Bases intercambiables 36

4.6 Determinación del secuestro de carbono en los compartimientos suelo y hojarasca bajo diferentes sistemas productivos 41

4.7 Cuantificación de la reserva de nutrientes en el suelo bajo diferentes sistemas productivos. 45

5 Conclusiones y Recomendaciones 53

5.1 Conclusiones 53

5.2 Recomendaciones 54

6 Referencias 55

Índice de figuras

Figura 1. Localización de los ocho sistemas productivos agrícola en la Provincia de Pastaza 14
Figura 2. Mapa altitudinal de los diferentes sistemas de producción agrícola..... 16
Figura 3. Esquema de muestreo sistemático para la evaluación de la fertilidad integral del suelo en sistemas productivos a pequeña escala 17
Figura 4. Valores promedios de densidad aparente del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 22
Figura 5. Valores promedios de Ksat del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 24
Figura 6. Valores promedios de Pt del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 25
Figura 7. Valores promedios de Pa del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 26
Figura 8. Valores promedios de Pr del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 28
Figura 9. Valores promedios del pH en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 29
Figura 10. Valores promedios de la Al^{+3} +H^{+1} en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 31
Figura 11. Valores promedios del Al^{+3} en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 32
Figura 12. Valores promedios de MO del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 34
Figura 13. Valores promedios de P del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 36
Figura 14. Valores promedios de K^{+1} del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 37
Figura 15. Valores promedios de Ca^{+2} del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 39
Figura 16. Valores promedios de Mg^{+2} del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 40

Figura 18. Valores promedios de COT del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola 42
Figura 19. Valores promedios del secuestro de carbono en el compartimiento del suelo en los ocho sistemas de producción agrícola 43
Figura 20. Valores promedios del secuestro de carbono en el compartimiento de la hojarasca en los ocho sistemas de producción agrícola 44
Figura 21. Valores promedios de la reserva de nutriente del Nt en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola en los primeros 30 cm 46
Figura 22. Valores promedios de la reserva de nutriente del P en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola en los primeros 30 cm 47
Figura 23. Valores promedios de la reserva de nutriente del K en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola en los primeros 30 cm 49
Figura 24. Valores promedios de la reserva de nutriente del Ca en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola en los primeros 30 cm 50
Figura 25. Valores promedios de la reserva de nutriente del Mg en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola en los primeros 30 cm 52

Índice de tablas

Tabla 1. Los nutrientes esenciales, sus formas disponibles y su papel en el crecimiento y desarrollo de la planta 5
Tabla 2. Emisiones de GEI en la agricultura 10
Tabla 3. Tasa anual de carbono bajo diferentes tipos de bosques 11
Tabla 4: Porciento de degradación de suelo y pérdida de carbono en suelos agrícolas. 11
Tabla 5. Prácticas recomendadas para el secuestro de carbono 13
Tabla 6. Coordenadas de los puntos de muestreo y los productos más principales 15

Indice de Anexos

Anexo 1. Cultivos principales con la cantidad de necesidad nutricional en una hectárea 67

Anexo 2. Niveles críticos para interpretación de parámetros físicos..... 67

Anexo 3. Límites de los rangos críticos en los análisis químicos..... 68

Índice de Apéndices

Apéndice A. Fotografías de campo y laboratorio del trabajo del proyecto de investigación 69

Apéndice B. Arreglo productivos de los ocho sistemas de producción agrícola en diferentes zonas en la provincia de Pastaza.....72

Capítulo 1: Introducción

La Cuenca Amazónica alberga gran parte de la flora y fauna, con alrededor de 7.78*106km^2, conformada por 9 países (Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Guyana Francesa, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela) con rangos altitudinales desde 0 hasta aproximadamente 5690m.s.n.m. En la amazonia la variante de transformación con mayor impacto es la deforestación generando distintos procesos de degradación como erosión hídrica, alteración del balance de calor atmosférico y la pérdida de calidad en diferentes servicios ecosistémicos que puede prestar el recurso suelo (Borja. M, Aragón.O, Josse. C., 2017).

Ecuador posee una extensión de 256.370km^2 comprendida por cuatro regiones, la cual representa una de las mayores reservas ecológicas para la humanidad debido fundamentalmente a la gran biodiversidad de flora y fauna y los servicios ecosistémicos que provee (Bravo *et al*., 2017) y donde la región amazónica representa un 45 % con una extensión de 116.304,07km^2, . Las condiciones de clima extremadamente lluvioso, con suelos poco fértiles y susceptibles al lavado de nutrientes y a la erosión, explicarían la poca aptitud de la región para actividades agropecuarias tradicionales, pero si para sistemas productivos análogos al bosque o para sistemas conservacionistas. Desde esta perspectiva en la Amazonia se debe mantener una siembra de sistema agroforestal ya que gracias a la materia orgánica dado por el bosque es cual compensa los minerales en estos suelos (Bravo *et al*. , 2015).

El Ecuador dentro de la ley de producción agraria menciona que "El Ecuador es un país esencialmente agrícola" ya que depende de alguna medida la supervivencia de casi el 56 por ciento de los 7 millones de habitantes que tenía el Ecuador en el año 1973 (Maldonado, 1980).Esta ley da o permite a iniciativas de productividad de siembra de manera intensiva con el afán de que la amazonia ecuatoriana sea habitada por colonos, quitando de una u otra menara el derecho a los nativos e indígenas de la zona. Llevando así uno de los factores que afecta a la amazonia como lo es la deforestación partir de esto comienza las denominadas tierras "baldías", desarrollo de proyectos agro-industriales y la implementación de políticas de concesión de áreas de bosques para la explotación de madera y de otros recursos naturales no renovables (petróleo y minería). Sin embargo, para la región amazónica ecuatoriana el cambio de uso de bosque a sistemas agrícolas y pecuarios tiene que tener en cuenta diversas restricciones, las cuales están

ligadas a la cantidad de nutrientes que contiene el suelo, su capacidad de funcionamiento biofísico y de resistencia a las agresiones meteorológicas y físicas (Bravo et al., 2017b).

Frente a todos los acontecimientos que se han dado con el pasar de la historia, el recurso suelo ha enfrentado la deforestación dejando su suelo desnudo, incrementando la compactación del suelo y afectando su calidad y fertilidad (Bravo et al., 2017a).Cuando se habla del estudio de los suelos en función de la fertilidad se integra disciplinas tales como la física, química y la biología del suelo que mediante la interacción definen la disponibilidad de los nutrientes para las plantas (McGrath, Spargo y Penn, 2014).

El manejo de la tierra y el uso de la misma es un factor el cual influye en las características y propiedades asociadas a su fertilidad. Por ello, independientemente del tipo de uso que se le quiera dar o el tipo de arreglo agrícola que se quiera establecer se debe enfatizar que el objetivo final en toda producción sostenible es utilizar y manejar los suelos de manera que se asegure la provisión de bienes y servicios que son necesarios para la vida y salud humana la cual a su vez se disminuirá la degradación del suelo (Pla, 2013)

Bajo esta perspectiva, se considera al suelo como uno de los recursos naturales con mayor importancia y que puede proporcionar servicios de soporte como la fertilidad, así como de regulación a través del proceso de captura de carbono o secuestro de carbono (Power, 2010). Estas funciones que cumple el suelo le confieren el potencial para mitigar el efecto invernadero a través de la acumulación de carbono orgánico (Valenzuela et al., 2018) y la minimización de emisiones de gases de efecto invernadero como el CO_2 (Ghimire et al.,2017).

Bajo todos estos acontecimientos históricos que han sido poco estudiados en los suelos amazónicos, el presente proyecto muestra cómo se encuentra la fertilidad integral y la captura de carbono en los 8 sistemas productivos a pequeña escala en la provincia de Pastaza como base para el óptimo desarrollo de las plantas y así poder mantener una soberanía alimentaria dentro de los sistemas y el demostrar cual es el aporte de este tipo de sistemas productivos dentro de la captura de carbono.

1.1 Planteamiento del problema de la investigación.

La supervivencia y soporte tanto de las plantas, animales y de la población humana depende principalmente del uso sostenible y de un manejo adecuado del recurso suelo y del agua (Pla, 2010). A través de la historia se ha demostrado como las generaciones han participado en los cambios de los recursos naturales y resulta claro que estos cambios han sido extremos donde el suelo cómo recurso natural se ve impactado de manera excesiva afectando su estructura, su composición y sus propiedades físicas y químicas relacionadas con su fertilidad y el secuestro de carbono. En base a ello, la deforestación constituye uno de los principales conductores de cambio de uso y en muchos casos genera procesos de degradación como la erosión del suelo, perdida de la biodiversidad, pérdida de nutrientes, disminución de la actividad bilógica que afecta las reservas de nutrientes y carbono en el suelo y puede decline de la calidad de vida de las zonas afectadas y sus alrededores otros (FAO, 2015).

Con la deforestación se pierde la estabilidad del suelo, la cual se magnifica por las características climáticas en condiciones amazónicas con alta presencia de lluvias intensas (altas precipitaciones) que son muy frecuentes al menos en la provincia de Pastaza-Ecuador, que pueden aumentar las pérdidas de nutrientes debido al lavado necesarios para el crecimiento y desarrollo por la planta que va a existir por la presencia de las fuertes lluvias en suelos desmoronados

En contraparte, los usos de sistemas de producción agrícola con un enfoque agroecológico con sistemas de cultivos rotativos entre perennes, anuales o cíclicos, bienal y temporal a su vez ayudando de cierta manera a contribuir en la riqueza del suelo o cuando se maneja sembríos sin un sistema agroforestal. El suelo al no mantenerse bajo una cobertura vegetal adecuada pierde un elemento importante que es la materia orgánica la cual ayuda a que la fertilidad del suelo aumente y la presencia de microorganismo que viven bajo una simbiosis entre el suelo y la planta, siendo un tema ambiental que reviste gran gravedad. Los productores de Pastaza vienen luchando por mejorar sus condiciones de vida por medio de la incorporación de diferentes formas de producción. Para realizar estas actividades los habitantes de estos sectores poseen en sus propiedades pequeñas adecuaciones que sirven como un sistema productivo agrícolas. Estos sistemas de producción por lo general se caracterizan por no usar de manera adecuada las buenas prácticas agrícolas como: arreglos de cultivo, manejo racional de la fertilización y el control de enfermedades y plagas, generando una baja productiva con

productos de mala calidad y bajos rendimientos. En esta perspectiva una de las prácticas que causan la degradación ambiental y una baja rentabilidad en los cultivos es el manejo inadecuado de los sistemas productivos (Sifuentes et al., 2018).

1.2 Objetivos

Objetivo General:

Analizar los parámetros que intervienen en la fertilidad integral y la captura de carbono en suelos de sistemas productivos a pequeña escala en la provincia de Pastaza Ecuador.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar la fertilidad física mediante indicadores estructurales bajo diferentes sistemas productivos.

2. Caracterizar la fertilidad química con parámetros asociados a procesos de acidificación y disponibilidad de nutrientes.

3. Determinar el secuestro de carbono en los compartimientos suelo y hojarasca bajo diferentes sistemas productivos.

4. Cuantificar la reserva de nutrientes en el suelo bajo diferentes sistemas productivos.

1.3 Justificación

La fertilidad química del suelo, para las condiciones de la Amazonía ecuatoriana se caracterizan por presentar suelos comúnmente con pH ácidos, con presencia de aluminio intercambiable, altos contenidos de Fe^{2+}, bajos niveles de P disponible y bases cambiables (K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}) y altos contenido de materia orgánica (Bravo et al., 2017). Tal situación implica, que cualquier cambio de uso hacia sistemas de producción agrícola y pecuaria debe considerar dentro de sus prácticas, el manejo agroecológico de la fertilización, a manera de satisfacer de forma adecuada y oportuna las necesidades de los cultivos que integran dichos sistemas y mejorar los niveles de producción.

En la zona existen pocos trabajos que hayan abordado el estudio detallado la fertilidad del suelo como herramienta para optimizar el manejo de la fertilización en sistemas de producción de pequeños productores.

Considerando el enfoque que tiene esta investigación del estudio del suelo físico, químico desde el punto de la fertilización integral, esto ayudara a los productores al momento de planificar los cultivos a ser sembrados ya que tendrán información sobre las características de sus suelos, sabrán la cantidad correcta de abono a ser utilizado, ahorrarían dinero en intentos fallidos, entre otros beneficios.

Al realizar estudios de suelo en áreas donde no se mantengan siembra bajo sistemas agroforestales, donde el rendimiento es mínimo y este a su vez espera suplir las necesidades alimenticia y económicas mediante la venta de sus productos donde la desesperación de los productores conlleva a intentar diferentes técnicas, la cual según la intensidad lleva a sufrir cambios estructurales y una sobre explotación del recurso. A partir de estas acciones el suelo deja de prestar todos los servicios ecosistémicos que brinda en cada una de sus funciones y de brindar una seguridad alimentaria, escenarios así lo hacen acto para que el manejo de la fertilización sea parte de las buenas prácticas agrícolas dentro de un programa integrado, mejorando así las condiciones ambientales.

La necesidad de producir alimentos para satisfacer la demanda de la población creciente sugiere un manejo adecuado de los sistemas de producción y dentro de ello la fertilización es parte fundamental. Estos agricultores al producir a pequeñas escalas bajo sistemas agroforestales, pero sin un manejo y arreglo adecuado donde muy pocos practican una gestión

sostenible del suelo que minimice los problemas de degradación también forman parte del grupo mayoritario de la pobreza rural y grupos vulnerables.

Mediante el análisis de los parámetros físicos, químicos del suelo que tributan en la fertilidad integral, su reserva y el secuestro de carbono dentro de los sistemas productivos se ayudará a mejorar estos suelos y de esta manera al funcionamiento de los sistemas de producción a pequeña escala que es muy común en la provincia de Pastaza.

2 CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Fertilidad integral del suelo.

El recurso suelo es uno de los más importantes del planeta por las distintas funciones que cumple como: hábitat para organismos, ciclo de nutrientes, regulación del clima, purificación del agua, reducción de contaminantes del suelo, retención del carbono y suministro de alimentos para los seres vivos (FAO, 2015; Sanz et al., 2006); esta última función es importante y necesario estudiar desde el punto de vista de la fertilidad y su productividad, tomando en cuenta la relación suelo-agua-planta y manejo (Bravo et al., 2016).

Bajo tales criterios, la fertilidad se puede expresar como la capacidad de suplir los nutrientes necesarios y esenciales para el buen desarrollo y rendimiento de las plantas, implica que exista en la forma y en cantidades que necesitan los cultivos. Como parte de la conceptualización de la fertilidad integral del suelo involucra parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo se encuentren en condiciones que permitan el establecimiento, desarrollo y producción de los cultivos de manera sostenible (Alemán et al., 2018).

2.1.1 Fertilidad del suelo y su relación con la planta

La fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas comprenden el manejo de elementos esenciales para el crecimiento de las plantas y su funcionamiento metabólico, lo cual es fundamental para lograr cumplir su ciclo de vida (McGrath, Spargo y Penn, 2014). Se han señalado, típicamente son 17 elementos que se consideran para satisfacer las necesidades, los cuales se dividen en macro y micro nutrientes (tabla 1). Esta clasificación, está relacionada con su abundancia relativa en el tejido de la planta más que su necesidad para su crecimiento. En base a ello, la concentración de macronutrientes en el tejido de las plantas supera a 0,2%, mientras que los micronutrientes muestran valores por debajo de bajo del 0,01% (Casanova, 2005). Igualmente, las necesidades de Carbono, hidrógeno (H) y Oxigeno(O) son derivados del dióxido de carbono (CO^2) y el agua, los cuales son transformados a través de la fotosíntesis para producir los carbohidratos, encontrándose en concentraciones en el tejido las plantas (McGrath et al., 2014). Tanto los macro como los micro nutrientes son esenciales para la planta,

por lo que la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas abarcan esta gestión esencial de nutrientes proporcionado y adecuado para el metabolismo de la planta, su crecimiento y desarrollo productivo (McGrath et al., 2014).

Tabla 1. *Los nutrientes esenciales, sus formas disponibles y su papel en el crecimiento y desarrollo de la planta.*

		ELEMENTOS	FUNCIÓN EN LA PLANTA
MACRONUTRIENTES	Primarios	NITRÓGENO (N)	Siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento.
		FÓSFORO (P)	Es esencial para la fotosíntesis y para otros procesos químico-fisiológicos Estimula el crecimiento de la raíz, favorece la formación de la semilla, participa en la fotosíntesis y la respiración.
		POTASIO (K+)	Aporta resistencia a las enfermedades, fuerza al tallo y calidad a la semilla.
	Mesonutriente	CALCIO (Ca2+)	Constituyente de las paredes celulares, colabora en la división celular.
		MAGNESIO (Mg2+)	Componente de la clorofila, de las enzimas y de las vitaminas.
		AZUFRE (S)	Esencial en la formación de aminoácidos y vitaminas, aporta el color verde a las hojas.
MICRONUTRIENTES		HIERRO (Fe)	Catalizador en la formación de la clorofila y componente de enzimas.
		COBRE (Cu)	Componente de enzimas, colabora en la síntesis de Clorofila y respiración.
		ZINC (Zn)	Esencial en la formación de auxina y almidón.

	MANGANESO (Mn)	Participa en la síntesis de clorofila.
	BORO (B)	Importante en la floración, formación de frutos y división celular.
	MOLIBDENO (Mo)	Colabora en la fijación de N y en la síntesis de proteínas.
	CLORO (Cl)	Colabora en el crecimiento de raíces.

Fuente: Adaptado de McGrath et al., (2014) y Bravo et al., (2018).

2.1.2 Presencia o distribución de nutrientes en el suelo.

Dentro de los problemas más habituales del suelo están cómo se comportan a la falta de productividad o escases. Los nutrientes que forman el suelo y producen una alteración de sus productos se le denomina disponibilidad de nutrientes. Los factores que aumentan la calidad del cultivo, tales como el estrés hídrico y la salinidad, normalmente reducen la producción, por lo que será necesario establecer un compromiso entre producción y calidad. El manejo de los nutrientes debe garantizar un nivel rentable de producción, así como la obtención de productos seguros, nutritivos, saludables y sabrosos. Estos tipos de procesos afectan los ciclos que cumplen el suelo, la planta y el medio donde se desarrolla, escaseando nutrientes, agua, estructura (Gutiérrez et al., 2015).

2.1.3 Elementos esenciales para una buena distribución de nutrientes en el suelo.

Elementos como nitrógeno, fosforo, carbono son elementos muy importantes para el desarrollo adecuado del suelo, cabe mencionar que cada uno de estos elementos cumple funciones estrictamente específicas para optimizar el suelo, convirtiéndose ciertas veces en amenazas para un desarrollo adecuado de las plantas que produce. Es por ello que las variantes de nutrientes en las plantas y suelo varían de acuerdo a su masa química esto que quiere decir que los elementos salen del suelo mesclado con algunas sustancias perturbadoras en este caso fertilizantes. Dando de cierta manera a conocer que el balance del suelo con los nutrientes se da por factores naturales, estos pueden ser clima, vegetación, seres vivos, suelos, topografía o inducidos esto nos quiere decir variedad de fertilizantes, pesticida de forma orgánica o

inorgánica, labranza, cobertura del suelo esto permitiendo un balance adecuado entre ellos (González y Pomares, 2008)

2.1.4 Factores asociados a la fertilidad del suelo en la amazonia

Los principales tipos de suelos de la Amazónica ecuatoriana, son 4: Inceptisoles, Ultisol, Andisoles, Entisol, también existen pequeñas áreas con presencia de Histosol y Molisol (Nieto y Caicedo., 2012). En donde el orden de Inceptisol es de poca asequibilidad para el cultivo, esto se debe a que estos suelos son jóvenes y por ende poseen pocos horizontes y no muy bien definidos, caracterizados por pH ácidos, baja fertilidad y alta presencia de aluminio y hierro. Sin embargo dentro de la REA los mejores suelos para la agricultura son los de orden Histosol y Molisol, las cuales son muy escasos dentro del territorio (Alemán et al., 2018).

En áreas tropicales la conversión extensiva de bosques a pasturas y la intensificación agrícola son típicamente identificadas como los conductores más importantes de cambio en el uso del suelo, con consecuente pérdida de su fertilidad, calidad y biodiversidad (Valera et al., 2016; Guillaume et al., 2016; Vallejo-Quintero, 2013).

Además, estos cambios pueden desencadenar en otros daños ambientales específicamente el aumento de la erosión del suelo y la degradación de la calidad del agua con impactos negativos sobre la biodiversidad acuática, y las otras funciones estructurales de la materia orgánica del suelo. Al respecto, se ha señalado que la conversión de bosques tropicales en tierras agrícolas conduce a una fuerte disminución de la materia orgánica del suelo, afectando sus funciones como almacenador de C y suministro de fertilidad (Guillaume et al., 2016).

Algunos estudios realizados en la Amazonia ecuatoriana han señalado que debido a la alta presencia de materia orgánica en los primeros 30cm se generan adecuadas condiciones físicas relacionadas con los índices estructurales como baja densidad aparente, alta porosidad lo que facilita la penetración del agua y de las raíces de las plantas (Bravo et al.,2017) . Sin embargo, las propiedades químicas asociadas a la fertilidad como el pH, Al^{+}, H, Al^{3+} la baja disponibilidad de nutrientes (P, K^{+1}, Ca^{2+}, y Mg^{2+}) no presentan condiciones adecuadas y representan unas de las principales limitaciones para el desarrollo de las plantas (Bravo et al., 2017; Paguay, 2015). Por tal razón, muchos expertos sugieren que se cultive bajo sistemas productivos análogos al bosque o bajo sistemas de conservación (Bravo et al., 2015).

2.2 Proceso de la captura de carbono en el suelo.

Se le conoce como captura de carbono al proceso de sustraer el dióxido, CO2 de la atmósfera y depositarlo en el suelo. Para la asimilación del carbono los cultivos lo realizan por medio de la fotosíntesis entrando al suelo como residuo de biomasa aérea y biomasa de raíz. Los dos componentes para la reserva del suelo es: la reserva de carbono orgánico en el suelo (COS) donde del 2 500Gt del carbono acumulado en los suelos 1.550 corresponde a COS, siendo esta la más afectada por la actividad agrícola, su medición se lo puede hacer de manera directa por muestreo de suelo (densidad aparente, profundidad) o por medios de emisiones de CO2 del suelo y el carbono inorgánico del suelo (CIS) posee 950Gt de carbono acumulado en el suelo(Bermejo, 2010). La concentración de carbono es determinada por el aporte de los cultivos la cual se incrementa al intensificar rotaciones de cultivos, en la reducción de la labranza, retención del cultivo y la descomposición de la materia orgánica puede reducirse al cambiar prácticas de labranza e incluir cultivos con residuos de descomposición lenta (Verhulst, Francois y Govaerts , 2015).

2.2.1 Influencia de los sistemas de producción sobre el secuestro de carbono

Sin importar la manera en que se desarrollen los sistemas de producción o en los mejores escenarios de manera agroforestal, los sistemas de usos de suelos de manera tradicional o moderna los árboles combinan la mejor práctica de cultivo para lograr el uso sostenible de la tierra. La actualidad el almacenamiento o captura de carbono se encuentra perturbado lo cual es debido a los gases de efecto invernadero (GEI), por ello es muy importante mitigar los mismos mediante la captura de carbono. Los sistemas de producción son de gran importancia esto ya que componen gran parte del suelo que captura el carbono (Buttoud, 2015). Cabe mencionar que el carbono es el gas que más abunda y perdura en la atmosfera, los cambios de suelo son una de las causas principales de la producción de carbono (FAO, 2003).

El suelo es el segundo depósito de carbono en el mundo por esto hay que tener en cuenta como desarrollamos un sistema productivo y en qué zona se desarrolla, especie a plantar, que sistemas mantienen un equilibrio entre la vegetación y el suelo, de esta manera se fomenta las

practicas sostenibles mejorando la calidad del suelo y el reciclaje de nutrientes que el suelo almacena mediante la captura de carbono. Dentro de un sistema agroforestal entre la vegetación y el suelo se puede capturar o almacenar 0.2 a 3.1 t–ha–1–año–1, aunque este valor puede varear frente a varios factores. Donde los mejores escenarios pudiendo secuestrar hasta 7.0 Gt de carbono en un periodo aproximado de 50 años. Para encaminar un proceso de captura de carbono óptimo en un sistema productivo es necesario tomar en cuenta varios aspectos importantes como el uso de especies locales o nativas lo cual potencializa la biodiversidad y sostenibilidad del suelo, manejos adecuados de suelos mediante buenas prácticas ambientales (Casanova, Aldana y Sánchez 2010).

Es por esto que los sistemas productivos al variar sus productos arbóreos, comestibles e incluso de barreras ayudan a que la captura de carbono sea almacenada de una forma diferente y eficiente llegando a conclusiones que esto en un futuro podría ser de mercado económico ambiental en los productores. De esta forma, se determina el sistema que produce el máximo beneficio productivo, ecológico y financiero (Isaza y Cornejo, 2015).

2.2.2 Comportamiento del secuestro de carbono según su uso de suelo

El suelo bajo diferentes usos agrícola como sistemas de monocultivos, policultivos o agroforestales, pueden afectar de manera diferente la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) hasta la captura de carbono en los suelos. El sector agrícola o la agricultura constituye uno de los sectores que emiten altas concentraciones de emisiones GEI en un 70%. En la (tabla 2), esto se refleja por la alta utilización de fertilizantes químicos los cuales emiten gran cantidad de CO_2 y CH_4 (Umaña, 2012).

Tabla 2. *Emisiones de GEI en la agricultura.*

Actividad	Emisiones/año	Gas de efecto invernadero emitido
Fertilización de suelos (abonos químicos y estiércol)	2.100	Óxido nitroso
Gases procedentes de la digestión del ganado	1.800	Metano
Quema de biomasa	700	Metano, óxido nitroso
Arrozales (inundados)	600	Metano
Estiércol animal	400	Metano, óxido nitroso
Otros (suministro de agua de riego, mecanización, calefacción, etc.)	900	Dióxido de carbono, óxido nitroso
Deforestación para agricultura o ganadería	5.900	Dióxido de carbono

Fuente: *Adaptado* de Worldwatch Institute. Emisiones en millones de toneladas de CO2 equivalente

Autor: (Bermejo, 2010).

2.2.3 El secuestro de carbono bajo los diferentes usos del suelo

2.2.3.1 Suelos de bosques tropicales.

Las investigaciones sobre los procesos de captura de carbono en bosques tropicales o ecosistemas naturales y la relación que tiene el ambiente con este ciclo viene de hace mucho tiempo, no fue sino hasta 1976 que la idea de los bosques como "almacenadores" de las emisiones de combustibles fósiles fue propuesto por primera vez, cuando hablamos de este proceso natural sabemos el valor que tiene en el ambiente, ya que sirve de nivelador de las relaciones ecológicas de la atmosfera como de la tierra, esto quiere decir que la captura de carbono puede darse por ecosistemas boscoso o capturas terrestres almacenando alrededor de 60 a 87 GtC (Gigatoneladas) y los suelos agrícolas alrededor de 23 a 44 GtC aproximadamente

hasta el año 2050. Los bosques tropicales almacenan casi el 75% de carbono del planeta tierra. Resumiendo lo antes mencionado los ecosistemas tropicales son grandes almacenadores de carbono ya sea esta en forma de vegetación viva, materia orgánica, y suelo. Tomando en cuenta el proceso de la forestación, el carbono es de fácil recuperación, entre los factores que más influyen en este proceso están (tabla 3) la ubicación y su clima (Sandoval, Amescua, Vargas, 2004).

Tabla 3. *Tasa anual de carbono bajo diferentes tipos de bosques.*

Biomasa y Suelo	**Tasa anual de Carbono**
Zonas boreales	0.4 a 1.2 t/ha/año,
Zonas templadas	1.5 a 4.5 t/ha/año
Zonas tropicales	4 a 8 t/ha/año

Fuente: Hernández R, Torres y Hernández B. (2014).

2.2.3.2 Suelos agrícolas

Factores que de cierta manera afectan el proceso de captura de carbono en áreas de pastizales son las actividades producidas por el hombre con el fin de beneficiarse (tabla 4), como agricultor que sería el sobrepastoreo y el fuego (Hernández et al., 2014).

Tabla 4: Porciento de degradación de suelo y pérdida de carbono en suelos agrícolas.

Actividades	**% degradación del suelo y perdida de carbono**
Sobrepastoreo	70%
Fuego	30%

Fuente: Hernández et al., (2014).

De cierta manera existen mecanismos o procesos que nos ayudan a la conservación o mejorar estas prácticas agrícolas entre ellas están: disminuir el pastoreo, control adecuado del

fuego en terrenos y fertilizantes no dañinos a la composición del suelo y su estructura, mejorando la calidad del terreno y del suelo (Hernández et al., 2014).

Los estudios agrícolas del comportamiento y composición del suelo nos dan a conocer que las pérdidas de carbono se deben básicamente a dos procesos que son: erosión y mineralización de piedras.

1. La **erosión** que su pérdida anual de porcentaje en toneladas es de 1 a 10 t/ha/año, y extrañamente casos extremos de erosión la pérdida de carbono alcanza las cantidades de 50 t/ha/año. Lo que hace referencia a una pérdida anual de carbono de 150 a 1 500 t/año. hay medidas de protección del suelo que ayudan de cierta manera a proteger y acumular nutrientes en el suelo (materia orgánica), b) la **mineralización de piedras** en este proceso las piedras liberan sustancias de cierta manera perjudiciales para el suelo en menor cantidad que cualquier otro proceso químico natural, sin embargo, se lo toma en cuenta debido a que influye y aumenta los porcentajes de liberación carbono del suelo al unirse al componente suelo. Para poder prevenir y mitigar el control de la erosión del suelo existen ciertos criterios como: el terraceo, las curvas de nivel, el uso de coberturas vegetales, las barreras arbóreas. (Hernández-R et al., 2014).

2.2.3.3 Suelo extracción de recursos minerales.

La mayoría de escenarios relativos al consumo energético mundial, pronostican un aumento son varios los escenarios que se toman en cuanta al hablar de la captura de carbono uno de ellos relativamente es la de los combustibles fósiles las emisiones de CO_2, algunos de los procesos que se encuentran muy relacionados a la captura de carbono es la de mitigar de cierta forma que el ambiente se siga contaminado y como realizamos esto pues entre las estrategias más vistosas están las de optimizar de cierta forma los sumideros biológicos naturales mediante procesos e reforestación y deforestación de manera sostenible con el ambiente y el suelo, de esta forma se captura más carbono y almacenado en la subestructura del suelo, con el fin de aislar este metal de la atmosfera, esta última recibe el nombre de almacenamiento y captura de carbono. Por ello la importancia de la conservación y buen manejo del suelo en las diferentes actividades que realicemos en el mismo (Valderrama, Campusano y Espindola, 2019).

2.2.3.4 Prácticas recomendadas para el secuestro de carbono.

Una buena capacidad de sumidero de carbono por lo general está ligado a la abundancia y tipo de vegetación, el laboreo, las talas masivas, incendios, erosión con unas de las perturbaciones que se producen en el suelo y de manera directo afectando el funcionamiento normal del mismo es por ello que las buenas practica para el secuestro de carbono en el suelo deben ser consideradas (tabla 5) (Macías, Camps y Rodríguez, 2005).

Tabla 5. *Prácticas recomendadas para el secuestro de carbono.*

PRACTICA	Tasa potencial de secuestro de Carbono (t ha^{-1} $año^{-1}$)
Laboreo de conservación	0,1-0,5
Compost y abonos orgánicos	0,05-0,5
Eliminación de barbecho de verano	0,05-0,4
Cosechas protectoras de invierno	0,2-0,5
Agricultura de protección	0,1-0,4
Mejora de variedades y sistemas de cultivos	0,05-0,4
Conservación de agua y acuíferos	0,05-0,3
Mejora en el manejo de pastos	0,05-0,3
Forestación / reforestación	0,08-0,4
Uso de fertilizantes en el suelo y biomasa forestales	0,8-3,0
Restauración de suelos de mina y otros suelos degradados	0,3-1

Fuente: Macías et al., (2005)

3 CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización del área de estudio.

El área de estudio se localizó en 8 zonas de la Provincia de Pastaza localizadas en la parroquia de Fátima, Pomona, Veracruz (comunidad Las Chorreras), Tarqui (comunidad Raku Urku), El Triunfo, Madre Tierra (comunidad San Jose), cantón Arajuno (comunidad Shiwacocha)y cantón Santa Clara(comunidad Cajabamba 2) (Figura 1). El área de estudio, poseen un rango altitudinal que va desde 155 hasta 950 m.s.n.m, con temperaturas desde 20°C hasta 32°C sus precipitaciones varían desde 2500 hasta 4000mm anuales. En cada uno de los lugares mencionados se evaluó 1 sistema productivo agrícola en el que se realizó un inventario florístico (Tabla 6) y el muestreo de suelo en campo para posteriormente realizar los análisis físicos, químicos, captura de carbono y la reserva de nutrientes.

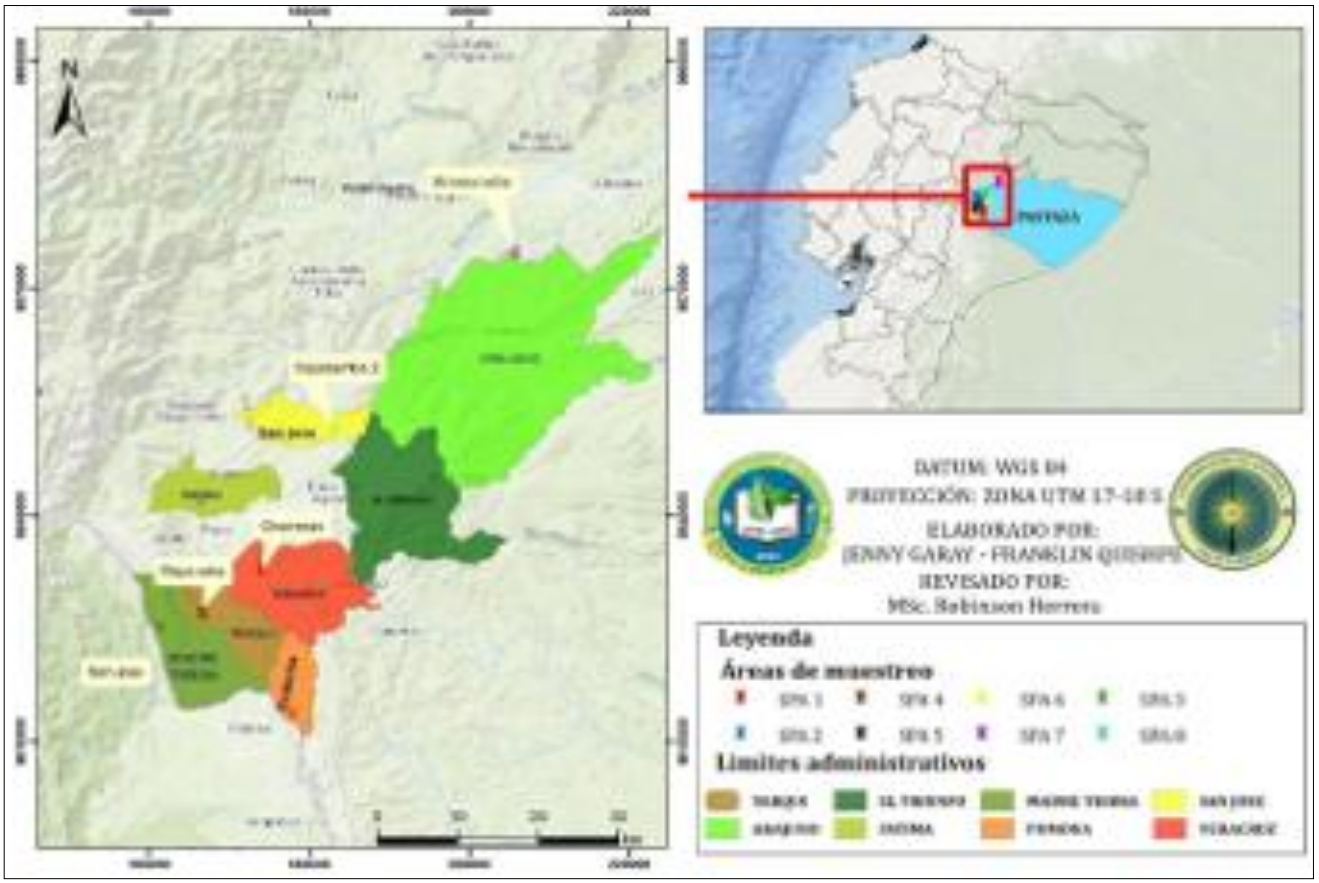


Figura 1. *Localización de los ocho sistemas productivos agrícola en la Provincia de Pastaza*

Tabla 6. *Coordenadas de los puntos de muestreo y los productos más principales.*

FINCA	ESPECIES PRINCIPALES	X	Y	ZONAS DE ESTUDIO
SP1	Caña de azúcar, plátano, piñas, yuca, papa china, cedro, canelo.	178041,57	9813381,6	POMONA
SP2	Hierbaluisa, guanábana, caña, guayusa, piña, yuca, plátano.	166451,03	9841674,9	FATIMA
SP3	Maíz, yuca, ají, cebolla, sandia, plátano, lechuga.	829136	9824871	MADRE TIERRA
SP4	Yuca, maíz, cacao, café, naranjilla, laurel, papachina	174092,01	9832585	VERACRUZ
SP5	Yuca, café, piñas, plátano, barbasco, caña,	833136	9825688	TARQUI
SP6	Plátano barraganete, guayusa, hierbaluisa, limón, guanábana, guayaba	9840605	186555	TRIUNFO
SP7	Chiriguayusa, limón real, naranja, mandarina, papaya, yuca, piñas, plátano	205738	9874395	ARAJUNO
SP8	Papachina, maíz, pitahaya, limón, piñas, papaya, yuca, cebollines, plátano	183068,06	9851391,7	SANTA CLARA

Fuente: Autores SPA: sistema productivo agrícola.

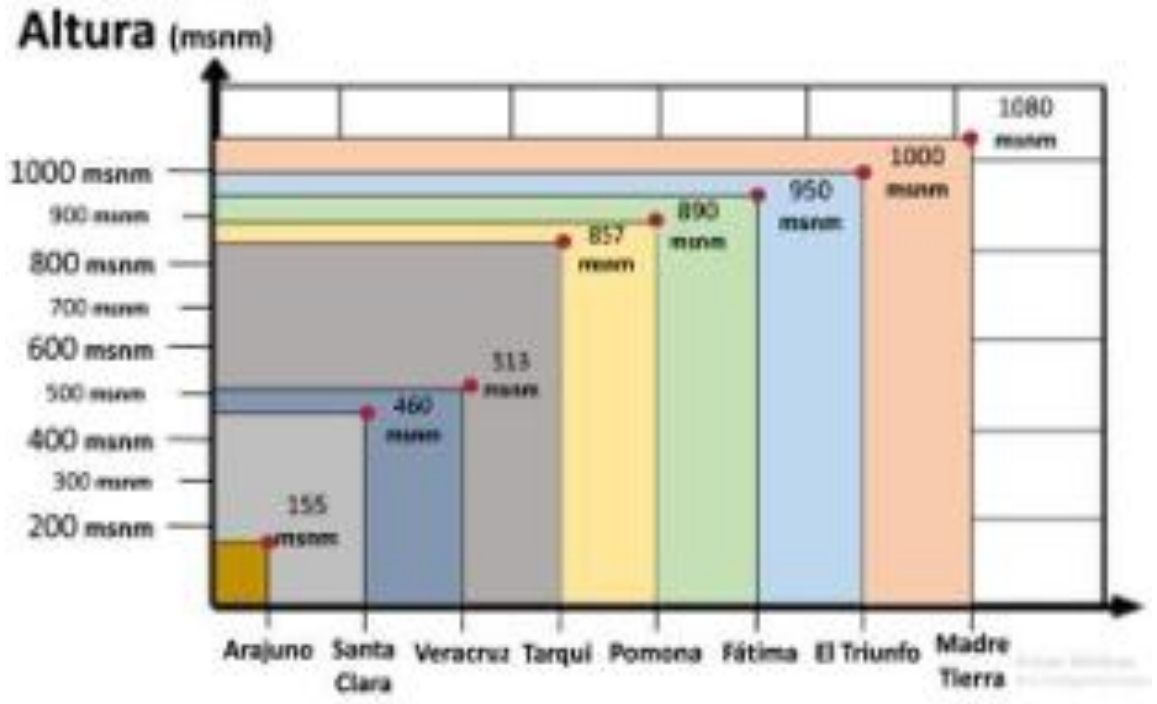


Figura 2. Mapa altitudinal de los diferentes sistemas de producción agrícola.

En el esquema se demuestran los rangos altitudinales para mantener la idea de los sitios muestreado y su diferencia de localidad pudiendo ser influenciado las variaciones climáticas

3.2 Tipo de Investigación.

De acuerdo a la línea base, el proyecto se enmarca en la Gestión y conservación Ambiental, denotando una investigación experimental ya que controlara las variables a ser tomadas. Con tres tipos de investigación entre ellas: **Descriptiva** comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de los sistemas productivos en las diferentes zonas, **exploratoria** porque destaca los aspectos fundamentales de un problema cuando este aún no ha sido abordado, **documental** porque se apoya en fuentes de carácter documental para profundizar en el marco teórico referencial sobre los estudios realizados frentes a la captura de carbono en diferentes zonas de la amazonia.

3.3 Métodos de investigación.

Los métodos de investigación utilizados comprendieron la observación y modelación de los procesos naturales que configuran la fertilidad integral del suelo en función de sus variables físicas y químicas en las 8 zonas de estudio.

- Muestreo de suelo

Usando un esquema del muestreo de suelo sistemático, la cual fue adaptado de Bravo, et al., (2015). En base a ello se realizó la siguiente secuencia:

a) Se determinó la hectárea de estudio.

b) Se dividió la hectárea en tres parcelas tomando en cuenta la distribución de los 3 cultivos más abundantes.

c) Se estableció una subparcela de 20m por 40m.

d) En cada subparcela se ubicaron 3 puntos de muestreo principales y en cada uno se tomaron 6 submuestra (P1, P2, P3, P4, P5, P6) (Figura 1), para luego ser homogenizado y con ello obtener la muestra compuesta a dos profundidades de (0-10 cm) y de (10 – 30cm).

e) En la parte central de las subparcelas se estableció un cuadrante de 0,25 m^2 que definió el área para el muestreo de la hojarasca, y la toma de muestras no alteradas físicas de suelo a tres profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm) para la evaluación de parámetros físicos de fertilidad edáfica. (Díaz, 2016).

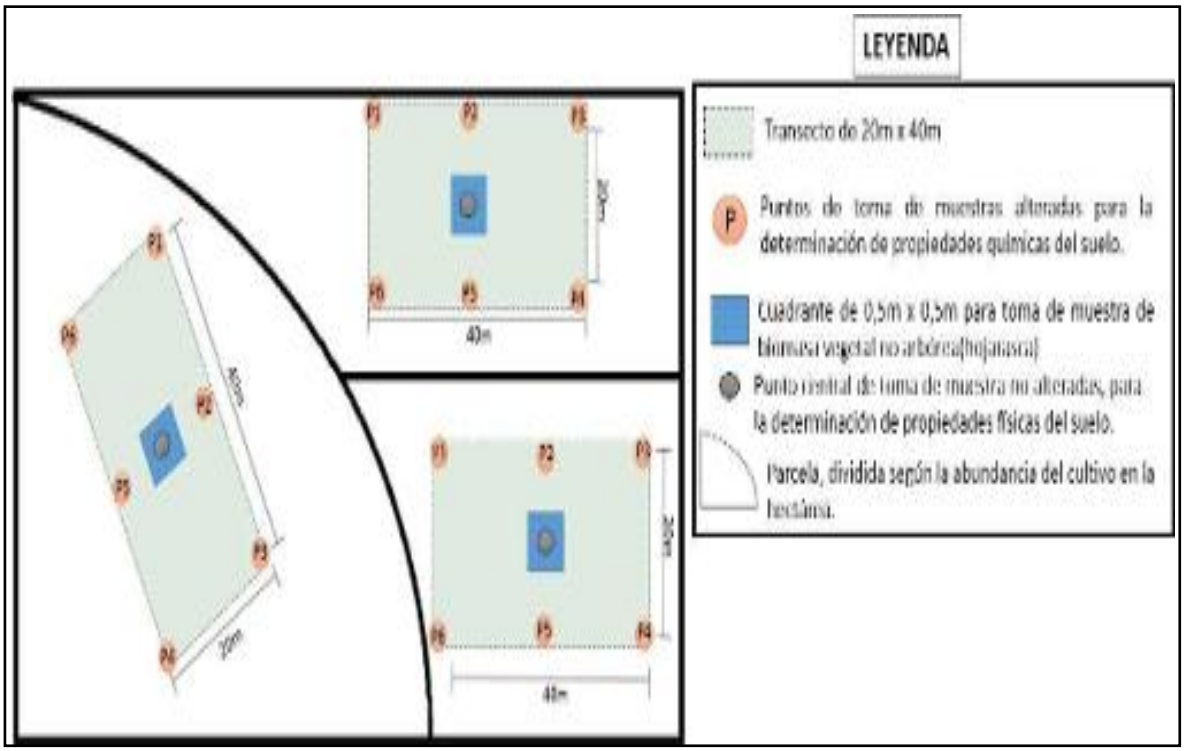


Figura 3. Esquema de muestreo sistemático para la evaluación de la fertilidad integral del suelo en sistemas productivos a pequeña escala.
Fuente: Adaptado de Bravo., et al., (2015).

3.3.1 Parámetros Físicos

Para la determinación de las variables físicas a nivel de laboratorio se tomaron muestras de suelo no alteradas con cilindros de 5 cm de largo y 5 cm de diámetro que fueron recolectados con un barreno tipo Uhland para luego determinar densidad aparente (Da) por el método del cilindro, distribución de tamaño de poros (Pt: porosidad total), porosidad de aireación (Pa: poros de radio mayor a 15 µm), y porosidad de retención (Pr) usando el método de la mesa de tensión a saturación y con un potencial mátrico de -10 kPa (Blake y Hartge, 1986). Se evaluó la conductividad hidráulica saturada (Ksat) por el método de carga variable de acuerdo a la metodología de Pla (2010).

3.3.2 Parámetros químicos

Para la determinación de los parámetros químicos del suelo se utilizaron muestras compuestas en la que se analizaron el pH mediante potenciometría con una relación suelo-agua de 1:2,5, el P junto con las bases cambiables (Ca, Mg y K) se determinaron por el método de Olsen modificado (Bertsch, 1995). El carbono orgánico total (COT) se determinaron mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson y Sommer, 1982), para lo cual se realizaron una oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)1 N con adición de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por el cromo fue medido por titulación usando una solución de sal de Morh 0,5 N ($H_2SO_4 + FeSO_4 + 7H_2O$) (Schulte & Hopkins, 1996).

3.3.3 Secuestro de carbono en los distintos compartimentos

Para la toma de secuestro de carbono de los compartimientos de hojarasca y suelo se midieron:

3.3.3.1 Carbono orgánico del suelo

Como primer paso se determinó la (Da) densidad aparente usando el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986). Para ello, se usaron cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con una toma muestra tipo Uhland, y fueron trasladadas al laboratorio para colocarlas en estufa a 105ºC por 24 horas para obtener el peso seco (Pla, 2010). El carbono orgánico total (COT) se determinaron mediante el método de digestión húmeda Walkley y

Black (Nelson y Sommer, 1982), para lo cual se realizó una oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)1 N con adición de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por el cromo será medido por titulación usando una solución de sal de Morh 0,5 N ($H_2SO_4 + FeSO_4 + 7H_2O$). Con el valor de la densidad aparente (Mg m-3), el valor del carbono y la profundidad de cada intervalo de muestreo (0-10 cm, 10-30 cm) se cuantificaron la cantidad total de carbono almacenado en el compartimiento suelo (CAS).

$$CAS = Da \times CO \times Profundidad \quad (1)$$

3.3.3.2 Carbono de la vegetación no arbórea (Hojarasca)

En los mismos puntos para la toma de muestras de los parámetros físicos se establecieron un marco cuadrado de 0,25 m2 (0,5 x 0,5 m) y se recolecto todo el material localizado dentro del mismo. Posteriormente el material recolectado fue pesado y colocado en bolsas para su secado a 105°C durante 24h en la estufa hasta obtenerse un peso constante. Se calculó la materia seca en términos de kilogramos de materia seca (MS) por hectárea (Kg DM ha − 1), y luego se calculó la cantidad de carbono por hectárea (Kg C ha − 1), utilizando la siguiente ecuación:

$$LB = DM \times CF \quad (2)$$

Donde:

LB es la cantidad de C en la biomasa de la hojarasca en Kg C ha − 1, DM es el peso de la materia seca en Kg, y CF es la fracción de C determinada por el valor de IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) de 0.5.Para facilitar el estudio, se calculó inicialmente Mg C ha − 1, para calcular Mg CO2 ha −1 a partir de ese valor (Huera et al., 2020).

3.3.4 Calculo de Reserva de Nutrientes

La reserva de nutrientes en el suelo (Rn) se calculó a profundidades de 0-10 cm y 10-30 cm utilizando la siguiente ecuación (Bond, 2010):

Y luego se realizó un promedio ponderado para obtener la reserva de nutrientes en la zona de 0-30 cm.

$$Valor\ de\ nutriente: Da\left(\frac{Kg}{m3}\right) * C\left(\frac{mg}{Kg}\right) * profundidad\ del\ suelo\ (m) * 0{,}01 \quad (3)$$

Da=Densidad aparente

C=concentración de nutrientes

4 CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la fertilidad física mediante indicadores estructurales bajo los diferentes sistemas productivos estudiados.

4.1.1 Parámetros físicos

Dentro de las limitantes físicas la compactación del suelo es un problema que se puede intensificar por el sistema de labranza, el tránsito de la maquinaria, el pisoteo de los animales y el fuego (Jorajuría & Draghi, 1997; Botta et al., 2006). De manera general, los parámetros físicos de los sistemas productivos agrícolas estudiados mostraron mejores condiciones en sus índices estructurales en el horizonte superficial es decir a la primera profundidad de 0-10 cm, con respecto al horizonte más profundo a la segunda de 10-30 cm.

4.1.1.1 Densidad aparente (Da)

La densidad aparente o también conocida como densidad volumétrica de suelo es la relación entre la masa del suelo seco y el volumen total (aparente) del mismo. Incluyendo el volumen de los sólidos y los espacios entre partículas, la densidad aparente es un parámetro físico que mantiene una referencia la cual indica la degradación de la estructura del suelo y la capacidad de almacenaje de agua en los horizontes (Lanfranco y Washington, J. 2019).

Atreves del estudio realizado bajo diferentes sistemas productivos a pequeña escala en la provincia de Pastaza los resultados que se obtuvieron de densidad aparente del suelo (Figura 3), se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en ambas profundidades. En el primer horizonte (0-10cm) los valores oscilan desde 0,27 Mg m^{-3} hasta 0,89 Mg m^{-3} los cuales están considerados como óptimos para el desarrollo de las raíces. Dentro de la fertilidad la densidad aparente es una variable de gran significado agrícola ya que el mismo actúa como indicador de la compactación del suelo y la penetración de sus raíces (Bravo et al., 2004). Sin embargo, en el segundo horizonte (10-30 cm), en el cual sus valores promedios oscilan desde 0,48 Mg m^{-3} como valor mínimo y 1,43 Mg m^{-3} valor máximo, el cual representa en un valor límite crítico para el desarrollo normal de las raíces de las plantas en suelos de textura arcillosa. La densidad aparente puede ser interpretada en función de su clase textural (Taboada & Álvarez, 2008). En base a ello, se ha señalado que valores de densidad aparente por encima de valores de 1,8 Mg m^{-3}, menos de 1,54 Mg m^{-3} y de 1,4 Mg m^{-3} puede constituir un factor limitante en

el crecimiento de las raíces para suelos arenosos, limosos y arcilloso respectivamente (Gibson, 2015). Por tanto, considerando que la mayoría de los SPA son de textura arcillosa los valores obtenidos no representa ninguna limitación a la penetración de las raíces (Canqui & Ruis, 2018).

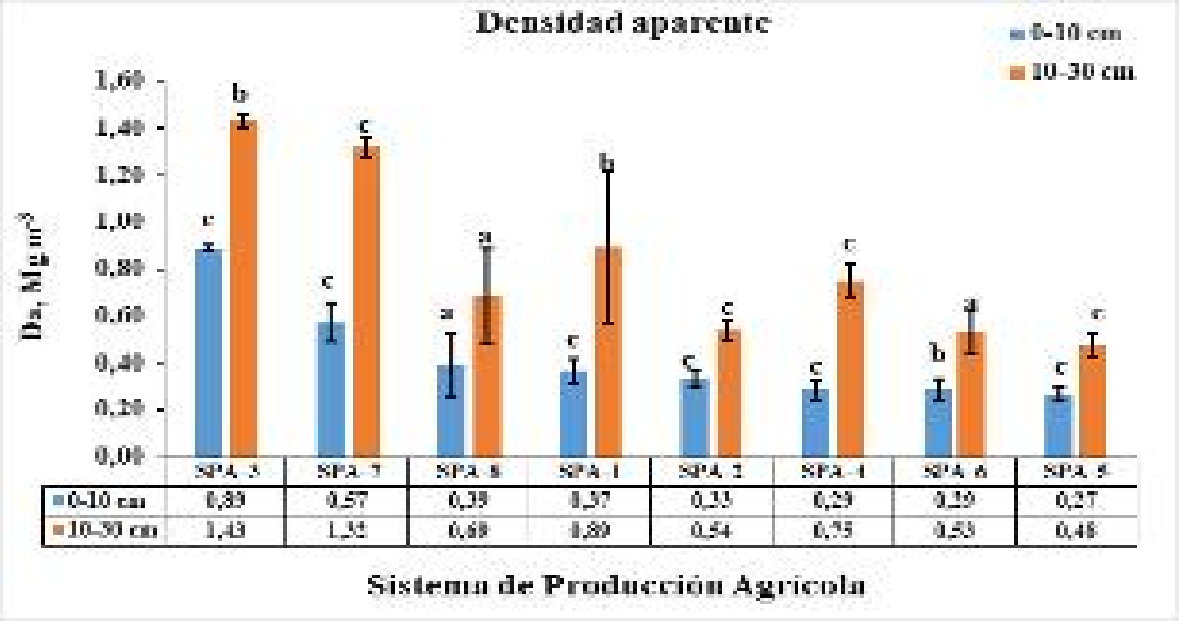


Figura 4. Valores promedios de densidad aparente del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola. SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara. Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey

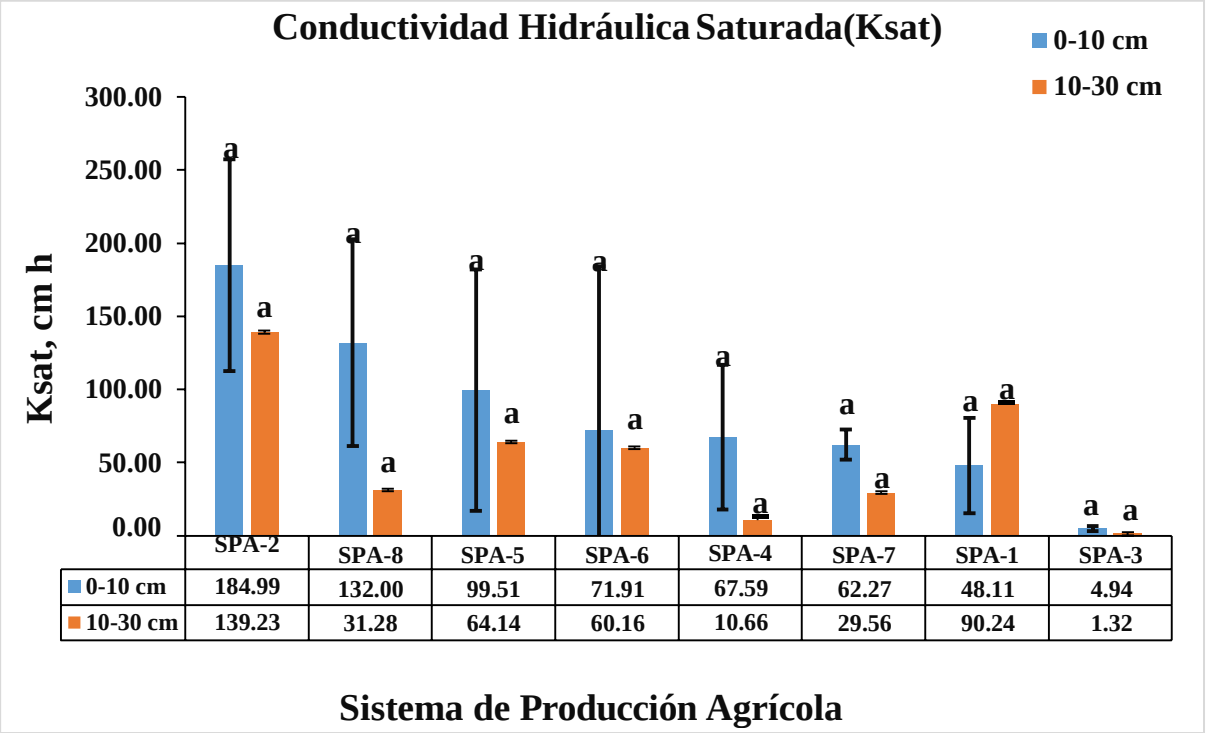
En la (figura 3) el sistema SPA-3 que es correspondiente a Madre Tierra es la que presenta los resultados en la profundidad de 10-30 cm con una Da ligeramente por encima del valor crítico (1,43 Mg m^3) esto está relacionado cambios en la clase textural del suelo con predominio de suelos gruesos o arenosos, con menor retención de humedad que el resto de los sistemas productivos a pequeña escala.(Vera et al., 2012;Álvarez y Taboada, 2008; Martínez et al, 2008) mencionan que ladensidad aparente tiene una fuerte influencia sobre el desarrollo de raíces, la resistencia a la penetración, el movimiento de agua, aire, nutrientes y su disponibilidad".

4.1.2 Conductividad hidráulica saturada (Ksat, cm h-1)

De manera general la conductividad hidráulica está relacionada a la velocidad con la que el agua pasa a través de la masa del suelo, por la unidad de gradiente de carga hidráulica (Delgadillo y Alcalá, 2010). A la conductividad hidráulica saturada (Ks) se la considera como una de las propiedades edáficas más importantes entre la relación del suelo la planta y el agua; la cual a su vez presenta mayor variabilidad (Castiglion et al., 2018). Este a su vez, es uno de los principales parámetros que controlan la infiltración, la escorrentía superficial, el transporte de plaguicidas y la migración de contaminantes hacia las aguas subterráneas esto lleva a la importancia del conocimiento de la conductividad hidráulica tanto saturada como no saturada (Ludwig et al., 2008).

Al analizar los comportamientos de Ksat, cm h^{-1} (Figura 4) por unidad de suelo en relación de la profundidad en cada uno de los 8 sistemas productivos estudiados. Se puede apreciar, que para el horizonte superficial (0-10cm) los valores oscilaron entre 4,94 cm h^{-1} (SPA-3) como mínimo a 184,99 cm h^{-1} (SPA-8). Para el segundo horizonte profundo (10-30 cm) los variaron entre valores de 1, 32 cm h^{-1} (SPA-3) representado un valor mínimo y de 139,23 cm h^{-1} (SPA-2) como el valor máximo para esta profundidad. En relación con este tema tenemos que tomar en cuenta que los suelos de la RAE y los suelos de Pastaza poseen un orden de suelo con mayor porcentaje en suelos Inceptisoles (53,66%) los cuales poseen una saturación mayor de 60% (Alemán et al., 2018).Independiente de la profundidad y el sistema de producción agrícola los valores registrados mostraron rangos óptimos (Ksat >0,05 cm h^{-1}, Pla, 2010), es decir no presentan ninguna limitación, por tanto se considera que no existen problemas y por el contario se favorece la penetración y movimiento de agua en el perfil del suelo (Bravo et al., 2012).

Esto nos da a deducir que no existe un rango diferencial de poros a diferentes profundidades en relación del flujo del agua en el suelo respeto al tamaño y números de poros (Aoki y Sereno, 2005). Las condiciones extremadamente lluviosas hacen que los suelos tengan poca aptitud de siembra convencional. Es por esto que se debería realizar la siembra de manera análogo bajo los sistemas agroforestales, el lavado de nutriente que se da en esta zona es debida a la capacidad de infiltración rápida que se demuestra que existe en estos suelos (Bravo et al., 2015).



	SPA-2	SPA-8	SPA-5	SPA-6	SPA-4	SPA-7	SPA-1	SPA-3
0-10 cm	184.99	132.00	99.51	71.91	67.59	62.27	48.11	4.94
10-30 cm	139.23	31.28	64.14	60.16	10.66	29.56	90.24	1.32

Figura 5. Valores promedios de Ksat del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola.
Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara

4.1.1.3 Porosidad

La porosidad es el porcentaje en volumen del suelo el cual no está ocupado por partículas sólidas, siendo los poros del suelo quienes alojan agua, gases y la actividad biológica del suelo. Sin embargo, aunque se hable de manera general de la porosidad del suelo, lo correcto es hablar de porosidad de los horizontes debido que al igual que la estructura cambia así mismo cambia de una capa a otra o de una profundidad a la otra (Lanfranco y Washington, J. 2019).

4.1.1.4. Porosidad total (Pt)

La Porosidad Total del suelo realiza importantes funciones internas como la determinación de los procesos de infiltración y escurrimiento del agua que circulan por la parte interna del suelo, sin dejar de mencionar que el tamaño de los poros del suelo tiene que ver mucho para que el suelo almacene agua (González-Barrios et al.,2012).

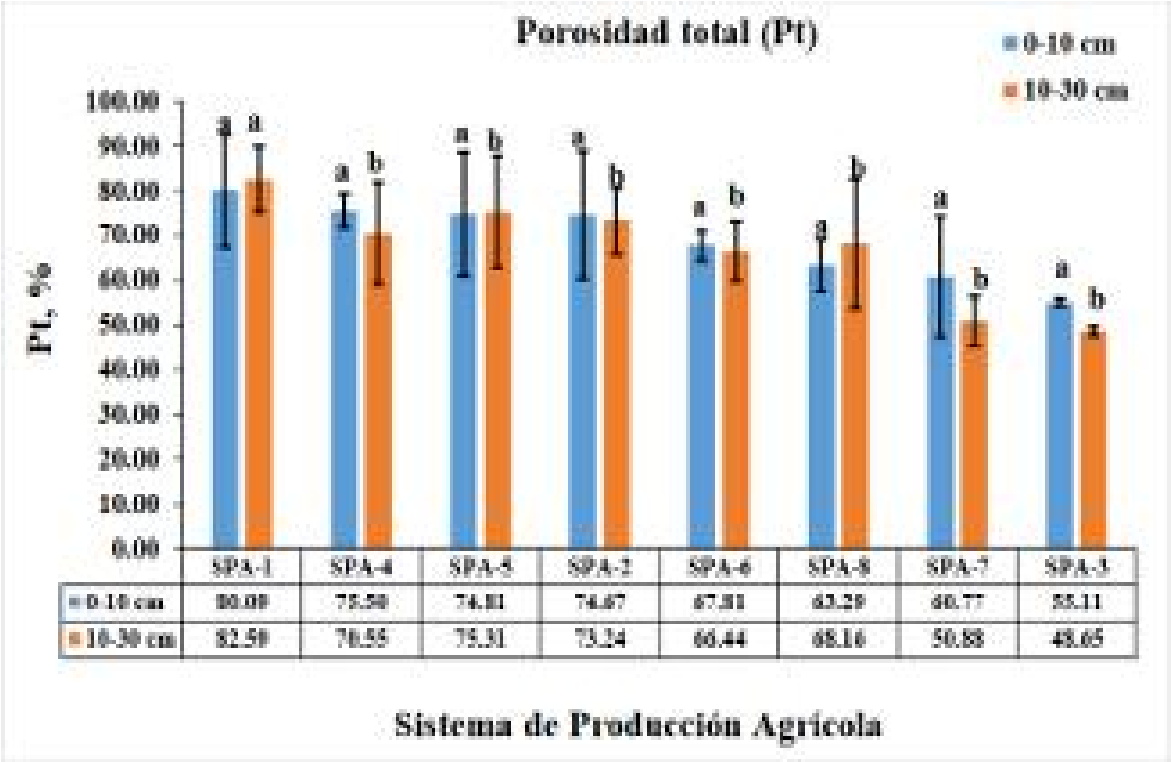


Figura 6. Valores promedios de Pt del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola.
Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara. *Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

Los valores de la porosidad total obtenidos estuvieron muy relacionados con la densidad aparente, sugiriendo que una mayor densidad significó menor porosidad total. Como se puede apreciar, los valores promedios de porosidad total en los sistemas productivos agrícolas a distintas profundidades mostraron diferencias significativas en ambas profundidades (Figura 5). En general, la mayoría de los SPA (Sistemas Productivos Agrícolas) en ambos horizontes mostraron rangos superiores a 50%. La Pt oscilo de 55 a 80 % de 0-10 cm y de 48,65 a 82,59 % de 10-30 cm de profundidad. En ambos horizontes, el SPA-3 fue el sistema de producción agrícola que presentó los valores más bajos en comparación con el resto de los SPA (Figura 5). Al respecto, se ha señalado que valores superiores a 50 % representan condiciones adecuadas de porosidad sin ninguna limitación en las relaciones aire: agua y sin problemas de compactación (Pla, 2010).

4.1.1.5. Porosidad de aireación (Pa)

La porosidad de aireación o macroporos poseen un tamaño mayor a 15 micras, tienen la capacidad de permitir el movimiento de aire y agua (Lanfranco y Washington, J. 2019). En relación a la porosidad del suelo se ha señalado que más que la Pt, es importante su distribución por los efectos que tiene sobre el movimiento de agua y aire (Pla, 2010; Bravo et al., 2017e). Bajo esta perspectiva, la porosidad de aireación (Pa) fue estadísticamente diferente (P < 0,05) sólo en el horizonte superficial (Figura 6).

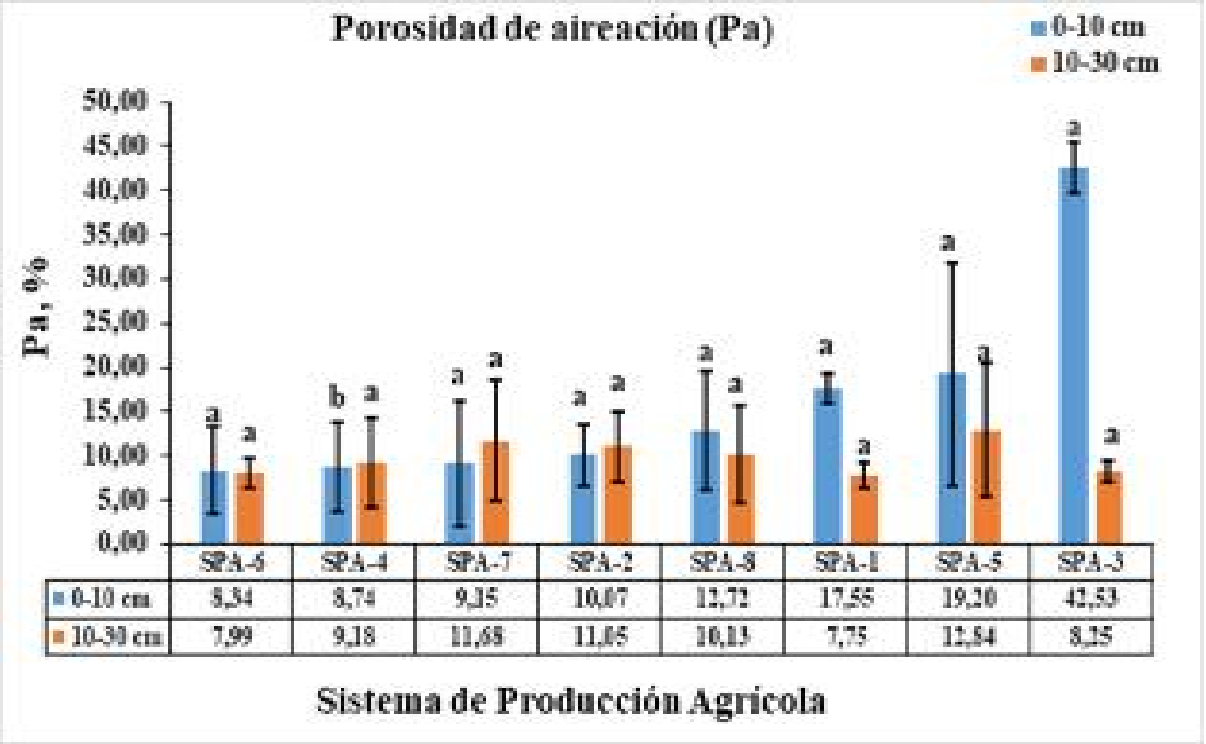


Figura 7. Valores promedios de Pa del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola.
Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara.*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

Para el horizonte superficial, los valores oscilaron de 8,34 % SPA-6 a 42,53 % SPA-3, mientras que para el horizonte subsuperficial en la mayoría de los usos se produjo una disminución sin mostrar diferencias significativas (P ≤ 0,05, Figura 6). En el horizonte superficial de (0-10 cm) los sistemas productivos SPA-2, SPA-4, SPA-6, SPA-7 mostraron valores por debajo del umbral del 10% establecido por Pla (2010), lo que podría representar limitaciones al flujo del agua, de aire, a la actividad biológica y a la penetración de raíces (Bravo et al., 2017b). En el segundo horizonte los sistemas productivos agrícolas que se encontraron por debajo del límite crítico (Pa<10 %) fueron SPA-1, SPA-3, SPA-4, SPA-6 esto a su vez

de muestra que existe una disminución de aire y agua a partir del horizonte subsuperficial. Dentro del análisis el SPA 4 ubicado en la parroquia Madre Tierra y SPA 6 en la parroquia el Triunfo presentaron un flujo poco lento y uniforme con una poca capacidad de velocidad de infiltración y de aireación en ambas profundidades. Sin embargo, al comparar la Kast (Figura 4) observamos que a pesar de los valores bajos de macroporosidad no es una fuerte limitación a la penetración del agua en el suelo. Los sistemas productivos agrícolas que mostraron valores superiores al 10% de macroporos en ambos horizontes fueron el SPA-1, SPA-3, SPA-5, SPA-8 cuyos valores están fuertemente asociados a los niveles de materia orgánica. Según Bravo (2015) menciona que la presencia de materia orgánica contribuye a mejorar varios índices estructurales como la densidad aparente, la porosidad de aireación sobre todo en el horizonte superficial.

4.1.1.6 Porosidad de retención.

Los microporos o poros de retención son los encargados de la retención de humedad en el suelo y está principalmente relacionado con la textura del suelo, siendo así que los suelos arcillosos son los que poseen mayor capacidad de almacenamiento hídrico (Shukla, 2014). Por otra parte, cuando menor es el tamaño de sus poros mayor es la retención o captura de agua. Los valores dados representan en su mayoría porcentajes superiores a 50% lo que significa que tiene una mayor capacidad de captura y almacenamiento de agua en el suelo (Lanfranco y Washington, J. 2019).

De la distribución de tamaño de poros, la Pr o microporos fue la que represento la mayor proporción, lo cual se corresponde con las clases texturales arcillosas. Los resultados del estudio del suelo dentro de los sistemas productivos agrícolas para esta variable presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$, Figura 7) en ambas profundidades. En la capa superficial SPA-1, SPA-2, SPA-4 presentaron mayores valores de Pr con respecto al resto de los sistemas agrícolas reflejando un adecuado ambiente para el crecimiento de las raíces sin problemas de compactación. Los sistemas que mostraron mejores niveles de porosidad de retención fueron SPA-1, SPA-2, SPA-4, SPA-5 contribuyendo a una mayor retención del agua

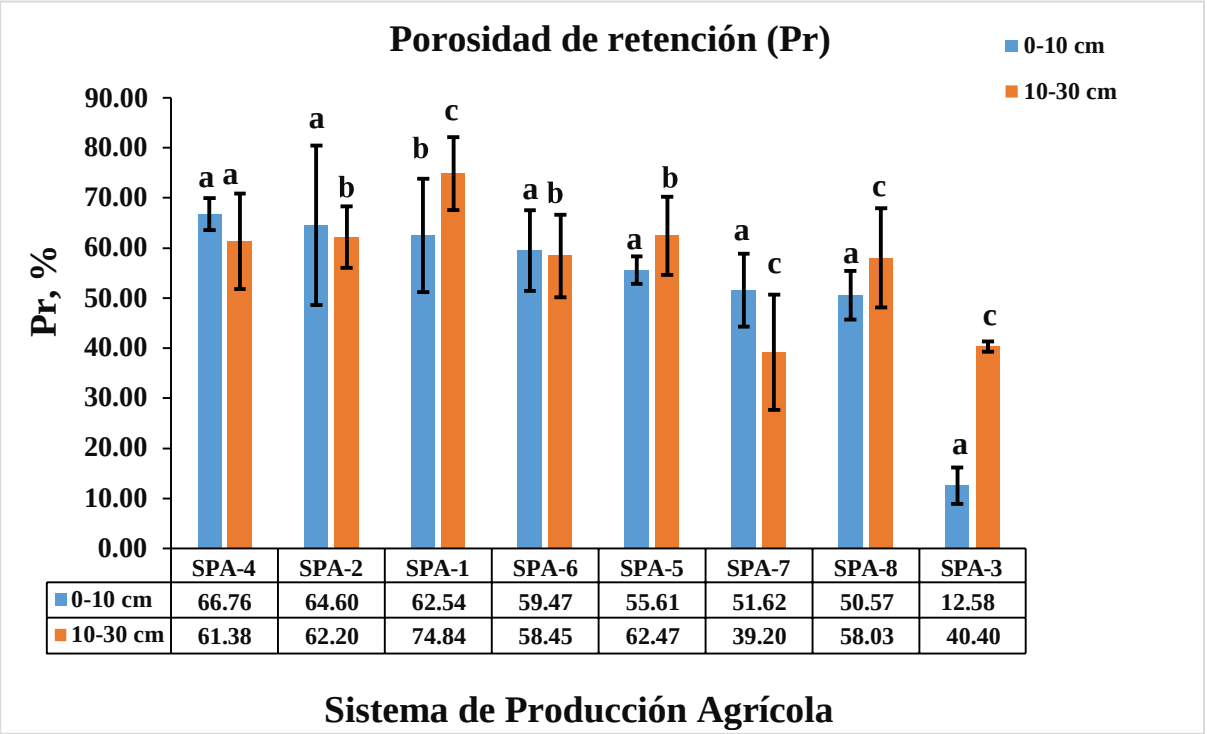


Figura 8. Valores promedios de Pr del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola

Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara.*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

Algunos autores señalan que la Pr es una variable que está mayormente determinada por procesos de formación del suelo y el material de origen, por lo que el cambio de uso de la tierra como factor tiene una baja influencia sobre esta variable (Sales et al., 2018).

4.2 Caracterización la fertilidad química como parámetros asociados a procesos de acidificación y disponibilidad de nutrientes

Parámetros químicos

En relación a los parámetros químicos se obtuvo mejores condiciones en el primer horizonte (0-10 cm) con respecto al segundo horizonte, coincidiendo con resultados de otros estudios realizados en la amazonia ecuatoriana (Bravo et al., 2017; Paguay, 2015).

4.3 Proceso de acidificación

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. El pH del suelo es uno de los atributos que tiene mayor influencia en el crecimiento de las

plantas, ya que afecta la disponibilidad de elementos nutritivos esenciales y tóxicos, la capacidad de intercambio catiónico y tiene influencia sobre la magnitud y composición de las poblaciones de los microorganismos del suelo (Casanova, 2005).

4.3.1 Potencial Hidrógeno (pH)

Uno de los elementos que interviene en el suelo dentro de las medidas de acidez o alcalinidad es el pH, influyendo en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, interfiriendo en las actividades químicas-biológicas y a su vez este factor puede ser el responsable de que los niveles de los elementos no se encuentren dentro de los parámetros adecuados llegando a causar toxicidad (Ibarra et al., 2009). De la misma manera Bravo et al. (2015) menciona que valores extremos pueden afectar la fertilidad del suelo, se relaciona con la disponibilidad de nutrientes, la presencia de microorganismos y de elementos tóxicos.

Los niveles de pH en los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas por efecto a las variantes de cultivos y manejo de los sistemas productivos agrícolas en ambos horizontes (Figura 8). Se aprecia que el pH vario de entre 4,47 (SPA-4) a 5, 28(SPA-8) en el horizonte superficial y de 4,14 (SPA-4) a 5,40 (SPA-1), reflejando en ambos horizontes una condición categorizada de moderada a fuertemente ácida (INIAP, 2012.)

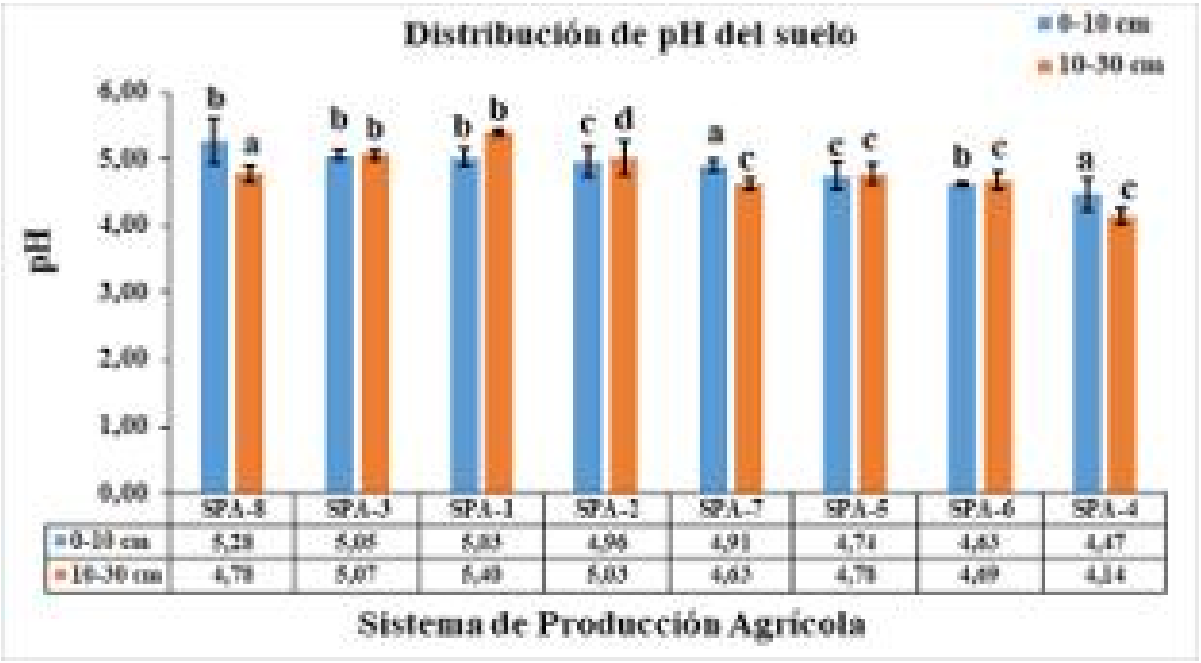


Figura 9. Valores promedios del pH en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola.
SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara. *Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

Resultados similares han sido reportados por diferentes autores en varias localidades de la amazonia ecuatoriana (Huera, 2019; Bravo et al., 2017). 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 caolinita, gibsita 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). La FAO (2013) menciona que al presentarse un pH menor a 5.5 puede expresarse como posible toxicidad de Aluminio (Al) y del Manganeso (Mn) y posibles deficiencias de fósforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Molibdeno (Mo). De manera general en los suelos agrícolas el pH optimo debe variar entre 6.5 y 7.0 con estos valores mantendrán un buen rendimiento y productividad (Prasad and Power, 1997).

4.3.2 Acidez intercambiable (Al^{+3}+H^{+1}, meq/100ml).

La acidez intercambiable en los suelos es el resultado de la presencia de hidrógeno (H^{+}) y Aluminio (Al^{+3}) que causan una disminución en el pH. La alta concentración de Al^{+3} genera toxicidad para las plantas, además de tener un efecto negativo sobre las propiedades químicas del suelo como solubilización, disponibilidad y absorción de nutrientes, ocasionando así una reducción en el crecimiento de las raíces lo cual afecta en forma negativa el crecimiento del cultivo. También reduce la calidad de las cosechas e induce deficiencias nutricionales de: Ca, Mg, P, S y Zn entre otros, por lo cual es indispensable conocer la acidez intercambiable de los suelos y relacionarla con el pH, textura y materia orgánica entre otros (Fassbender1975).

Los resultados obtenidos de la acidez intercambiable dentro de los sistemas productivos agrícolas de manera general muestras valores entre bajos, medios y tóxicos en sus distintos compartimientos y solo mostraron una diferencia significativa en el horizonte superficial (Figura 9).

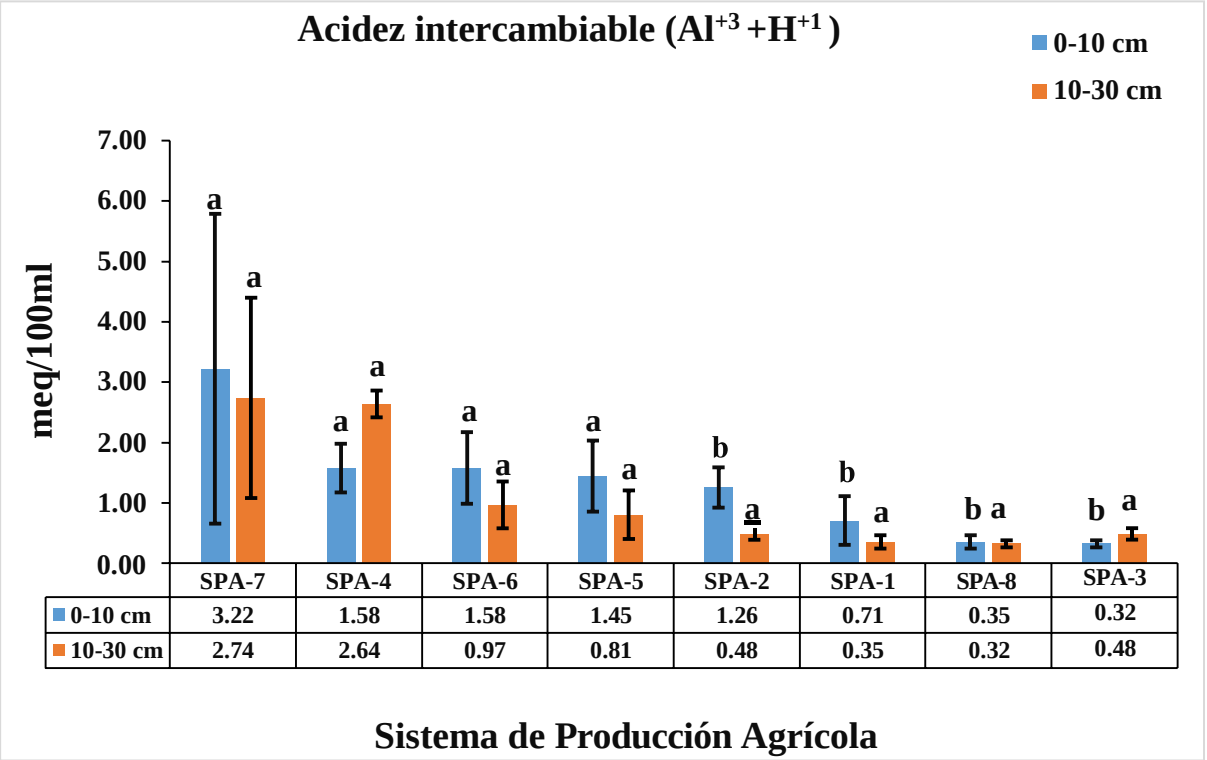


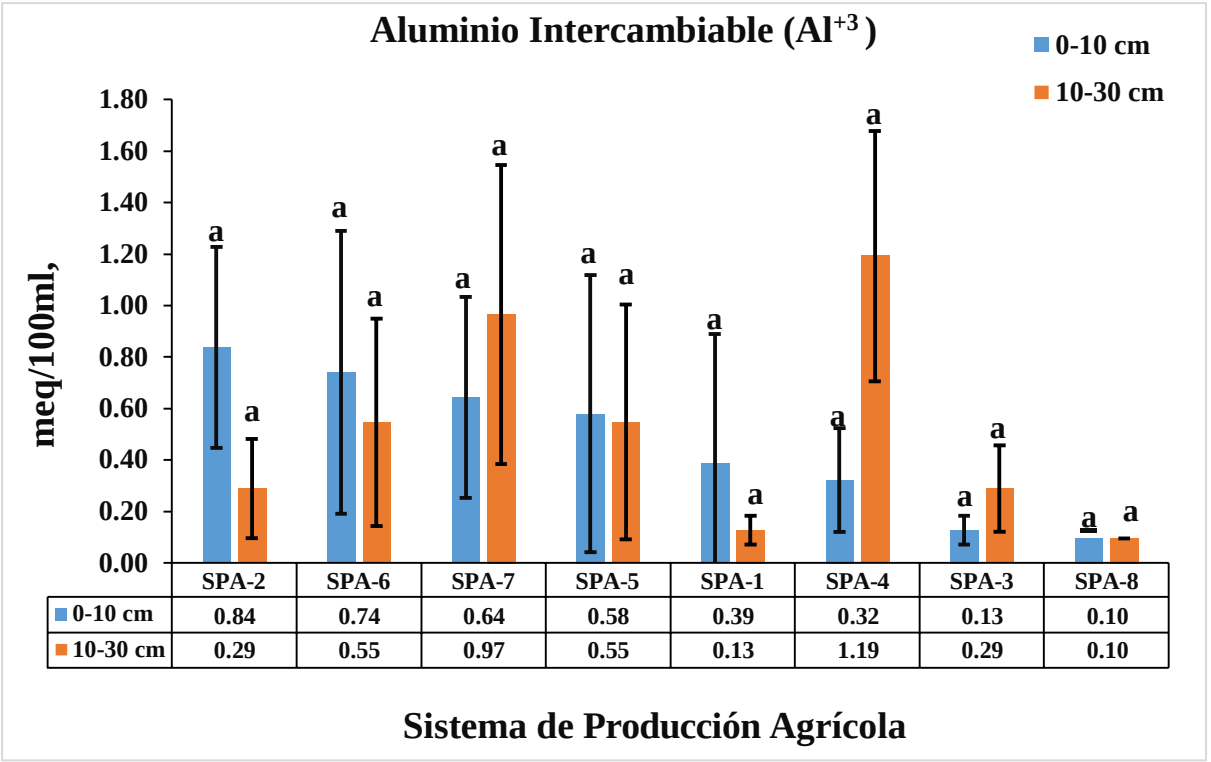
Figura 10. Valores promedios de la Al^{+3} +H^{+1} en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola.

Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara. *Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

Los sistemas productivos agrícolas que mostraron valores de acidez intercambiable en un nivel medio al compararlo con lo que establece el INIAP (2012), en el primer horizonte de (0-10 cm) son SPA-1, SPA-2 y el SPA-5 con valores que van de 0,71 a 1,45 meq/100ml, a su vez los tres sistemas productivos muestran un aumento de acidez intercambiable en el segundo horizonte con valores que van de 0,35 a 0,85 meq/100ml categorizados como bajos, con presencia de aluminio intercambiable de media a baja que pueden representar una ligera toxicidad para las plantas y contribuir a la acidez del suelo. Castro y Munevar (2013) mencionan que se categorizan como tóxicos, cuyos valores disminuyen a una profundidad (10- 30 cm) atribuyéndolo a un rango medio de toxicidad, implicando afectaciones sobre la fertilidad del suelo. Los sistemas productivos SPA-4 y SPA-7 presentaron para ambas profundidades valores superiores a 1,5 meq/100 ml, lo cual representa un nivel toxico (INIAP, 2012), mientras que los sistemas etiquetados como SPA-3 y SPA-8 fueron los que mostraron los niveles más bajos (< 0,5) en los dos horizontes con valores mínimo de 0,32 meq/100ml y de 0,48 meq/100ml.

4.3.3. Aluminio Intercambiable (Al^{+3}, meq/100ml).

Con respecto al aluminio intercambiable (Figura 10) no se presentaron diferencias significativas en las dos profundidades. Los sistemas productivos en el primer horizonte (0-10 cm) muestran rangos entre 0,10 meq/100ml a 0,84 meq/100ml encontrándose entre bajos (< 3.0) y medios (3.0-5.0) (INIAP (2012). En el SPA-4 se muestran valores de 0,32 meq/100 ml categorizado como medio para el primer horizonte y el segundo horizonte 1,19 meq/100 ml categorizado como toxico. El aumento con la profundidad podría estar relacionado con las diferencias en la composición química en los diferentes horizontes, mientras que a nivel superficial en algunos tratamientos a la liberación de iones ácidos por la disminución del pH y el aumento en la materia orgánica (Lozano et al., 2009).



	SPA-2	SPA-6	SPA-7	SPA-5	SPA-1	SPA-4	SPA-3	SPA-8
0-10 cm	0.84	0.74	0.64	0.58	0.39	0.32	0.13	0.10
10-30 cm	0.29	0.55	0.97	0.55	0.13	1.19	0.29	0.10

Figura 11. Valores promedios del Al^{+3} en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola.
Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara

El factor más perjudicial para las plantas en suelos fuertemente ácidos es la toxicidad de Aluminio (Al^{+3}), particularmente cuando el pH es inferior a 5.0 (acido). La toxicidad del Al^{+3} también limita la degradación microbiana de la materia orgánica. En relación con este tema tenemos los valores del pH dentro de los ocho sistemas productivos agrícolas (Figura 8), los cuales en su mayoría presentan un pH menor de 5.5, los cuales pueden precisar de un encalado (substitución del Al^{3+} por Ca^{3+} y Mg^{2+}), o a su vez para un buen manejo de los suelos

ácidos es la siembra de especies tolerantes a la acidez como: la yuca, cítricos, piñas (estas son especies que se presentan en la mayoría de los SPA (Tabla 6)) arroz, ciertas hierbas. Mantener una rotación de cultivo y la diversificación de cultivos es una manera de los suelos ácidos (FAO, 2015). Dentro de este marco los sistemas de producción agrícola lo manejan bajo diferentes tipos de cultivos (Anexo 3).

En los siguientes diagramas se representa los sistemas producción agrícola que han presentado mayor cantidad de aluminio intercambiable y acidez intercambiable en el proceso de acidificación en los horizontes superficiales y en los horizontes inferiores, en los cuales en el SPA-7 se muestran la mayor cantidad de acidez intercambiable en ambos horizontes, en el horizonte superficial de (0-10 cm) presenta una concentración de 3,22 meq/100ml y en el horizonte

4.3.4 Materia Orgánica del Suelo (MO)

La materia orgánica es un factor importante en el comportamiento del suelo. Debido a que aporta gran cantidad de nutrientes necesario para que el suelo interactúe de forma adecuada con la superficie (Casanova, 2005). Los suelos compuestos por bosques tropicales y húmedos contienen la mayor cantidad de materia orgánica (Pascual y Venegas, 2005)

Al observar los resultados (Figura 11) planteados tenemos como datos significativos que la concentración de materia orgánica predomina en los sistemas productivos a este nivel horizonte superior (0-10 cm) basándose en la diferencia significativas $P \leq 0,05$, presentando valores que varían desde los 6,64% a 30,08% caracterizados como altos (>5.0 %) de acuerdo a los anexos planteados por el INIAP (2012). La representación de los valores en el horizonte inferior (10-30cm) presenta concentraciones de materia orgánica elevados a lo establecido esto quiere decir >5.0 %, sin embargo, en el SPA-3 (Madre Tierra) la concentración de materia orgánica sufre un decaimiento notable (3,03%) que se considera medio (3.0-5.0 %), planteado por el INIAP (2012). Al momento de realizar el levantamiento de pruebas de campo se pudo observar un deterioro del campo estudiado debido a su intervención para adecuarlo el terreno para la producción con fines agrícolas y productivos.

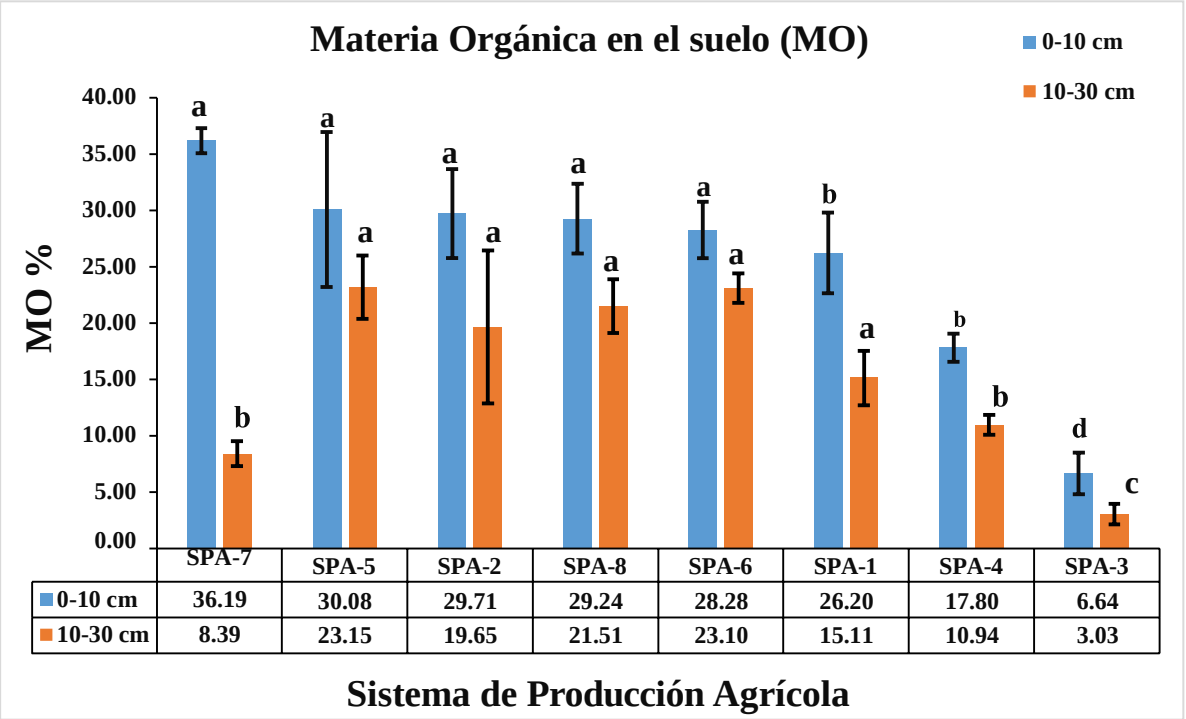


Figura 12. Valores promedios de MO del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola.
Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara.

Cuando mencionamos sobre el contenido de materia orgánica en el suelo este puede cambiar debido al uso que se le esté dando, como ejemplo podemos mencionar cuando un terreno pasa de su estado natural a situación agrícola, el ultimo provocando una erosión en el suelo, perdiendo los componentes principales en las primeras capas de suelo. Esto provoca que con el pasar de los años la materia orgánica y el nitrógeno disminuyan, más común en sistemas productivos agrícolas (Perdomo, 2015).

La materia orgánica ayuda a mejorar la estructura del suelo ya sean fines agrícolas o productivos, para evitar la pérdida de materia orgánica debemos tratar de eliminar la implementación excesiva de pesticidas, quemas, sino lo contario tratar de optimizarlo mediante la aplicación de residuos de los productos o desechos fecales de animales. Para poder realizar el adecuamiento del suelo se realiza un estudio para poder verificar que tipo de nutrientes le hace falta y como aplicar sin empeorar el estado del suelo (FAO, 2013).

4.4 Disponibilidad de nutrientes

4.4.1 Fosforo del Suelo (P, mg/kg^{-1})

El fosforo es un elemento de mucha importancia en la composición del suelo y fundamental para el desarrollo adecuado de la planta. A pesar que aparece en menores cantidades en la planta cumple roles muy importantes como la acumulación de energía y combustibles para el desarrollo de sus actividades bioquímicas esenciales para su desarrollo. El crecimiento y maduración acelerado es otro de los roles importantes que cumple el fosforo en la planta (Sanzano, 2016).

Los valores promedios de P disponible no mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en ningunas de las profundidades, sin embargo, los valores fuero generalmente superior en el horizonte superficial (Figura 12). Los sistemas agrícolas con mayor concentración de P en el horizonte superficial fueron SPA-3 y SPA-8 que corresponden a Madre Tierra y Santa Clara respectivamente con porcentajes superiores a 20 mg.kg^{-1} esto quiere decir que es el estado de suelo es el más óptimo o adecuado en cuanto a porcentaje y concentración de fosforo. Por otra parte, los sistemas SPA-1 (Pomona), SPA-2 (Fátima) y SPA-4 (Veracruz) mostraron valores medios con rangos entre 10 mg.kg^{-1} y 20 mg.kg^{-1} esto significa que el suelo puede aportar el 50 % de los requerimientos del cultivo. Por último, los sistemas con los valores bajos catalogados como crítico fueron los SPA-5(Tarqui), SPA-6(Triunfo) y SPA-7(Arajuno) con valores inferiores a 10 mg.kg^{-1} (INIAP, 2012). Cabe mencionar que la mayor concentración de fósforo en la parte superior podría estar asociado a la cantidad de materia orgánica que presenta el suelo en el cual mediante su proceso de descomposición pasa aporta cierta cantidad de P (Cisneros et al., 2016).

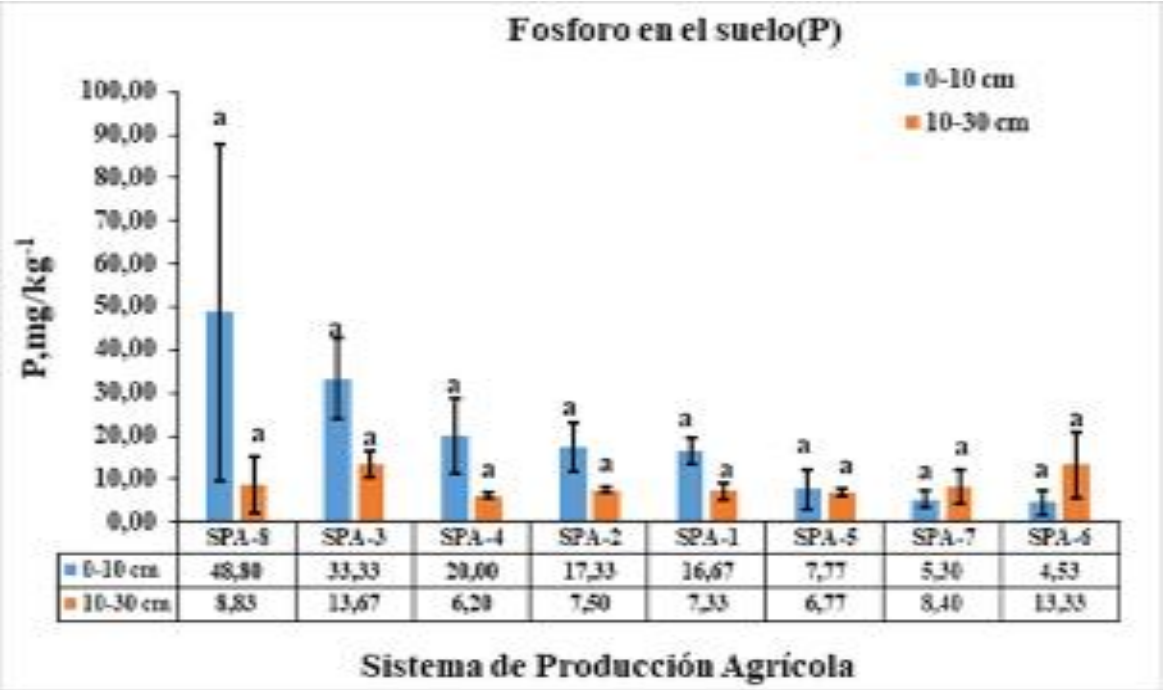


Figura 13. Valores promedios de P del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola.
Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara.

Para el horizonte subsuperficial (10-30 cm) la mayoría de los sistemas como SPA-1 (Pomona), SPA-2(Fátima), SPA-4(Veracruz), SPA-5(Tarqui), SPA-7(Arajuno), SPA-8(Santa Clara) registraron valores por debajo del límite critico (<10 $mg.kg^{-1}$). 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).

4.5 Bases intercambiables.

4.5.1 Potasio intercambiable (K^{+1}, meq / 100ml)

El potasio es considerado un elemento de mucha importancia nutricional para la planta y los organismos vivos. El potasio al igual que el nitrógeno debe presentarse en grandes cantidades dentro del suelo ya la planta. El potasio actúa dentro del suelo como un acelerador catiónico ayudando a la misma como un estimulador de procesos metabólicos a través de las plantas (Conti, 2004).

El contenido de potasio intercambiable (K^+) para los distintos sistemas de producción agrícola no presentaron diferencias significativas en ambos horizontes (Figura 13, P<0,05). En general, lo valores fueron superiores en el horizonte superficial con rangos que oscilaron entre

0,10 a 0,3 meq 100ml^{-1}, mientras que para la segunda capa varió de 0,03 a 0,08 meq 100 ml^{-1} categorizado como niveles de medios a bajos (Figura 13).

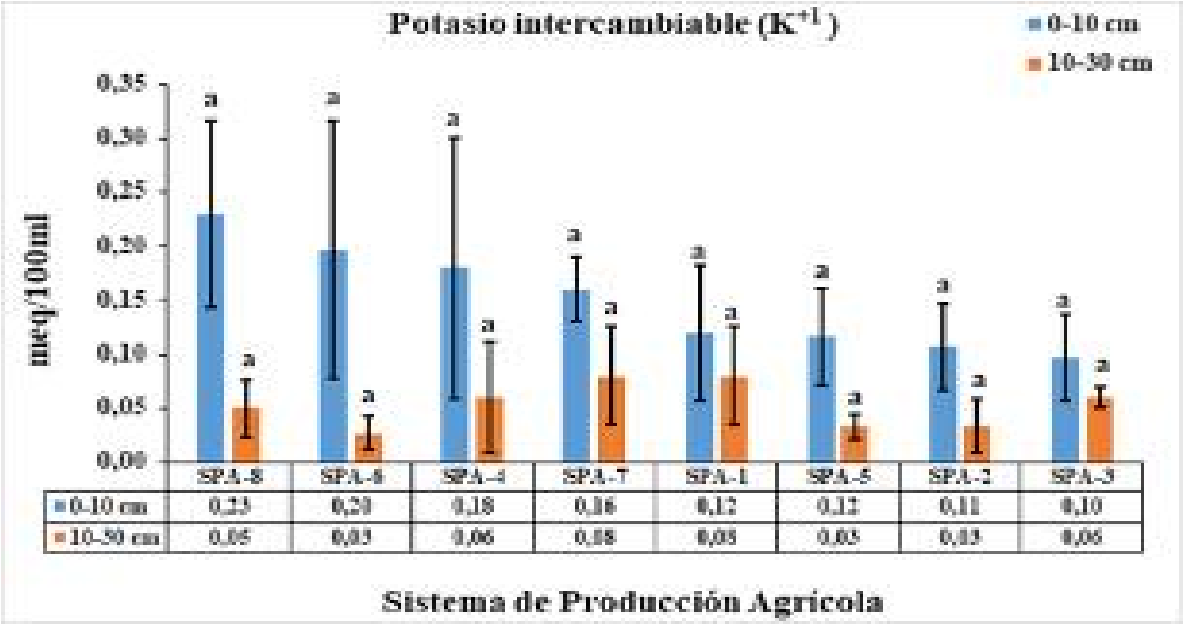


Figura 14. Valores promedios de K^{+1} del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola.
Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA-4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara

Los sistemas SPA-6(Triunfo) y SPA-8(Santa Clara) poseen datos entre 0.2-0.38 meq/100ml, los cuales son considerados como medios según lo establecido por el INIAP (2012), sin embargo, el resto de sistemas productivos agrícolas se encuentran por debajo de los límites establecidos como bajas concentraciones de potasio (<0.2 meq/100ml)

Estudios previos mencionan que la cantidad adecuada de potasio en el suelo ayuda a que la planta realice sus procesos metabólicos adecuadamente y así mejora la calidad de la planta y frutos. Los minerales que absorbe la planta del suelo son mediante mineralización meteorización de los residuos orgánicos expuestos en la parte superior denominada biomasa. Es por ello que menciona que los sistemas agrícolas no tienen un ingreso natural de estos elementos, sino lo contario necesitan de un elemento adicionado para poder descomponerlo y adquirir potasio para el suelo (Infante et al., 2010).

4.5.2 Calcio intercambiable (Ca^{+2} meq / 100ml)

El calcio es considerado uno de los elementos más importantes del mundo. El calcio se presenta en grandes abundancias en la corteza terrestres debido a que se presenta en rocas y minerales que conforman el suelo, variando dependiendo el origen del mismo. Las concentraciones del elemento Ca^{+2} son excesivas a las que una planta necesita para desarrollarse, es por ello que estas han desarrollado un método de absorción indicado para que no sobrepase las cantidades de Ca^{+2}, es un sistema genéticamente diseñado para absorber nutrientes del suelo. Entre las funciones principales del Calcio intercambiable está el de estabilizar la estructura del suelo mediante la absorción del nutriente y así estabiliza su estructura del mismo (Sadeghian, 2012).

Cuando hablamos del calcio intercambiable debemos tomar en cuenta los parámetros establecidos (<2.0 meq/100ml BAJO), (2.0-5.0 meq/100ml MEDIO), (>5.0 meq/100ml ALTO). Esto permitirá realizar una correcta comparación de los niveles de concentración que existe en los sistemas productivos agrícolas (SPA), los cuales mostraron diferencias significativas en ambos horizontes, con concentraciones categorizadas como altas. En el primer horizonte (0-10 cm) (Figura 14) las concentraciones varían de altas (>5.0 meq/100ml) a medias (2.0-5.0 meq/100ml). El sistema SPA-1 (Pomona) presenta una concentración de 5,26 meq/100ml, SPA-7 (Arajuno) contiene el nivel más alto de concentración de calcio intercambiable con un total de 11,47 meq/100ml y SPA-8 (Santa Clara) una concentración de 10 meq/100ml. Los resultados expuestos muestran que un suelo con alta concentración de calcio lo cual probablemente este asociado al material parental que da origen a estos suelos que dentro de sus minerales primarios aporten calcio. En el horizonte inferior (10-30 cm) los resultados demuestran en su totalidad concentraciones bajas (<2.0 meq/100ml) a excepción del SPA-7 (Arajuno) que tiene una concentración de 6,66 meq/100ml considerada alta según los datos expuestos por el INIAP (2012).

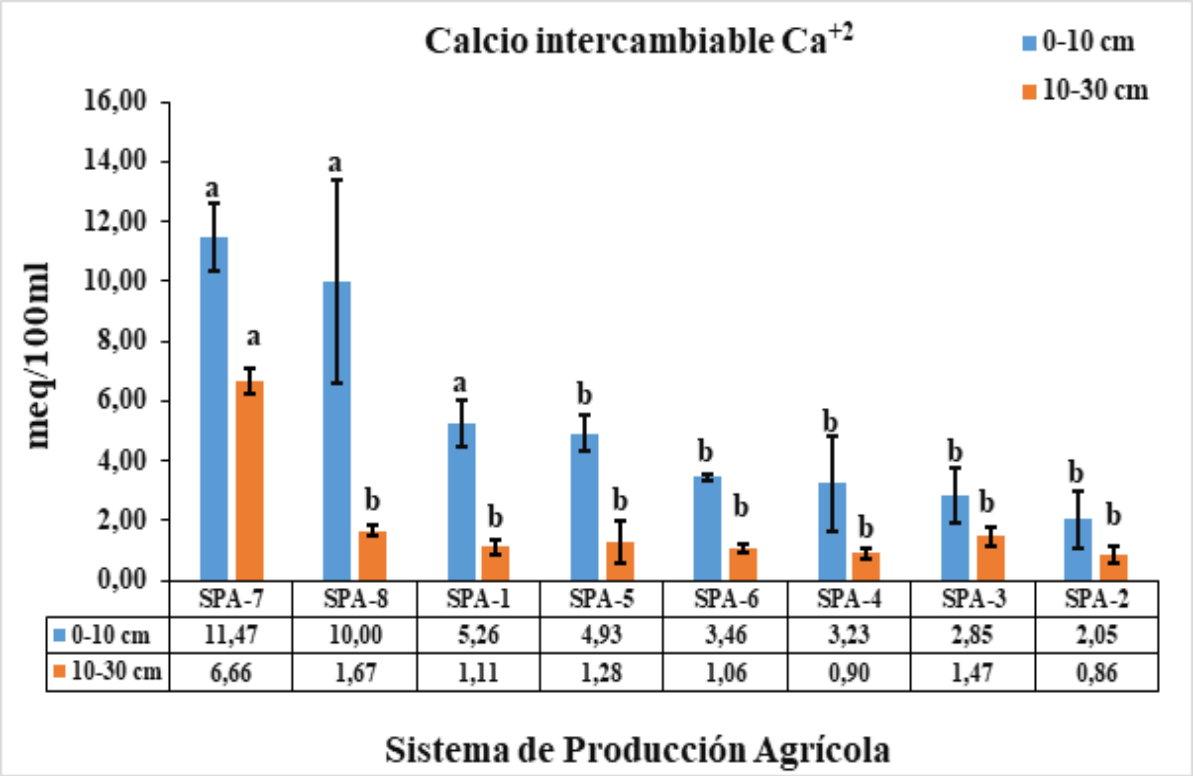


Figura 15. Valores promedios de Ca^{+2} del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola.
Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara. *Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

En términos prácticos se puede señalar que una alta concentración del nutriente en el suelo puede cubrir las necesidades del cultivo, mientras que una baja a moderada disponibilidad del nutriente en el suelo solo aporta del 50 al 25 % de lo que el cultivo necesita para cumplir sus funcione fisiológicas y metabólicas, por tanto, en tal situación para satisfacer las necesidades del cultivo se necesita aplicar abonos o fertilizantes (Bravo et al. 2018).

4.5.3 Magnesio intercambiable Mg^{+2}

El magnesio intercambiable es un elemento de suma importancia para el desarrollo adecuado del suelo y la planta, es por ello que es de mucha importancia en la fertilidad de los productos. El magnesio es considerado un elemento secundario al igual que el calcio, esto debido a que no debe presentarse en la planta en grandes cantidades. El excesivo porcentaje de magnesio es perjudicial, por ende, la planta absorbe mediante sus raíces las cantidades adecuadas de magnesio apropiadas para un correcto estiramiento y elongación de la planta. Entre los factores de mayor incidencia en el suelo están el pH del suelo, temperatura, humedad y presencia de otros nutrientes (Ross, 2004).

Al observar los valores establecidos en la (Figura 15) de resultado podemos notar que los valores en el horizonte superior (0-10 cm) varían de altos representados por SPA 7(Arajuno) con una concentración equivalente a 3,03 meq/100ml el cual representa el valor más alto presentado en concentración de magnesio. El valor más bajo en el horizonte superior se representa por el SPA-2(Fátima) con una concentración de 0,44 meq/100ml, los sistemas productivos agrícolas restantes tiene valores medios (0.5-1.5 meq/100ml) según lo establecido por el INIAP (2012). En el horizonte inferior la dominancia de valores es representados por los niveles bajos (<0.5 meq/100ml), en su mayoría los sistemas productivos tienen déficit de concentración de magnesio esto quiere decir que según los estudios relacionados mencionan que los suelos de climas tropicales o húmedos tienen desgastes de pH por ende su forma de absorción de magnesio es en pequeñas cantidades, esto lo hace menos propenso al almacenamiento de magnesio intercambiable disponible (Ross, 2004).

Cabe mencionar que el comportamiento del magnesio intercambiable tiene mucho que ver con las demás bases intercambiables, exactamente con el calcio, esto debido a que los dos compuestos se muestras minerales lo que significa que una concentración alta de Potasio (K^{+}) disminuiría la concentración de Magnesio (Mg^{+2}) o viceversa, lo que provoca ciertas formas de crecimientos únicas e interesantes en la planta, como por ejemplo lo sucedido con plantas de muy poca altura pero con frutos conformados y moldeados a lo previsto (Bolda, 2016).

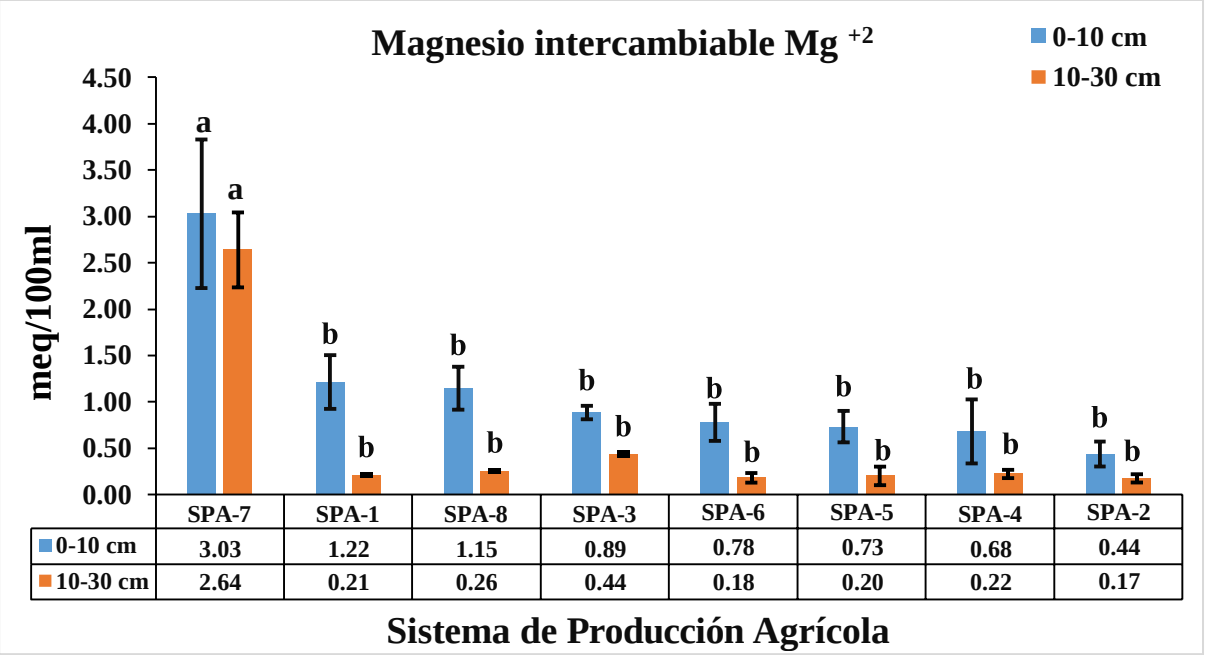


Figura 16. Valores promedios de Mg $^{+2}$ del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola.
Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara. *Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

La concentración de las bases intercambiables como él (Mg^{+2}), muestran en niveles que varían de contenidos bajos a medios, sugiriendo que el suelo puede suplir entre un 25 a 50 % de lo necesitado por el cultivo y la otra parte debe suministrarse vía fertilización.

4.6 Determinación del secuestro de carbono en los compartimientos suelo y hojarasca bajo diferentes sistemas productivos.

4.6.1 Carbono orgánico total del suelo

El carbono orgánico del suelo es un factor de mucha importancia al igual que la mayoría de sus componentes, pero al contrario de los demás el carbono orgánico ayuda de cierta manera a mitigar la contaminación ambiental y cambio climático mediante la absorción de los gases de efecto invernadero (Mejía et al., 2007). El carbono orgánico se relaciona con el proceso de la captura de carbono este almacenando casi un 69,8% de carbono orgánico existente en la atmosfera y la parte superior de la tierra absorbiéndolo mediante un proceso natural donde el suelo captura almacénale carbono para previamente liberar dependiendo las funciones, uso y manejo que requiere cumplir (Martínez et al., 2008).

Se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en ambas profundidades. En relación con la comparación de los valores establecidos en la (Figura 16) podemos observar que gran cantidad de los Sistemas Productivos Agrícolas en el horizonte superior (0-10 cm) van desde 10,32 Mg m^{-3} a 17,23 Mg m^{-3} lo cual representa un nivel alto, a excepción de los SPA-3(Madre Tierra) con un porcentaje equivalente a 3,85 Mg m^{-3} y SPA-7(Arajuno) con un porcentaje de 4,87 Mg m^{-3} , lo cual representa valores bajos en concentración de carbono orgánico para el suelo, esto quiere decir que las propiedades físicas, químicas y biológicas están siendo alteradas por la pérdida constante de material húmico lo que se ve afectado directamente desde la parte superior del suelo al realizar un mal uso del mismo a través de un mal uso por parte de los sistemas productivos intensivos realizados por el propietario del lugar (Martínez et al., 2008). Por otra parte el horizonte inferior (10-30cm) muestra un aumento significativo de concentración de carbono en ciertos SPA y a su vez un déficit notorio en otros. El sistema productivo con mayor concentración de carbono es el SPA-7 (Arajuno) con un valor de 20,99 Mg m^{-3} el mismo que representa el valor más alto en ambos horizontes y de igual manera contiene el nivel más bajo de concentración con 1.76 Mg m^{-3}

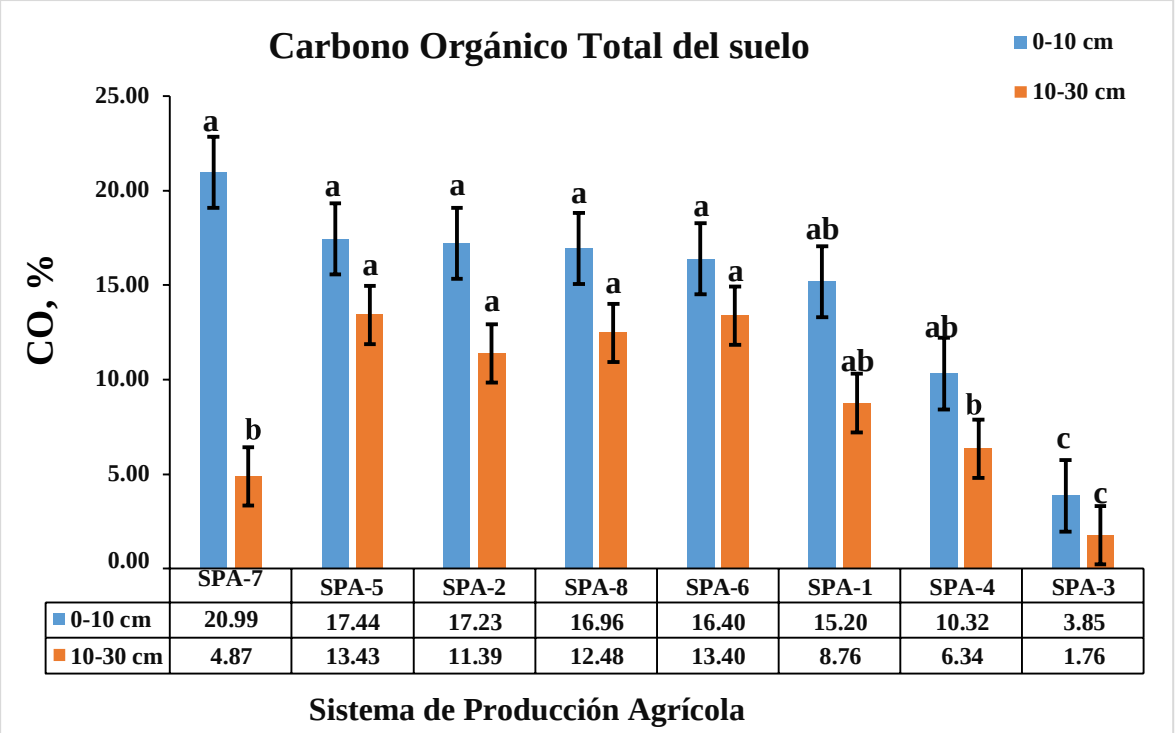


Figura 17. Valores promedios de COT del suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola.
Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara. *Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de P≤0,05. Mediante la prueba de Tukey.

Estas variaciones influyen mucho en el comportamiento del suelo debido a la importancia del carbono para los sistemas productivos, tales efectos se ven perturbados por la presencia de climas variados, variación de su textura, estructura interna del suelo no apto y los residuos que genera la vegetación que se encuentra en la parte superior del suelo (Hontoria y Rodríguez, 2004).

4.6.2 Secuestro de carbono en el comportamiento suelo

El balance dinámico que se tiene en la captura de carbono en suelos naturales entre la absorción de material vegetal muerto y la perdida de descomposición (mineralización) se ve presentado en la existencia de carbono orgánico. Por consiguiente, el contenido de carbono orgánico en el suelo depende de factores como la formación del suelo, por el cambio de uso y el manejo de la tierra, para aumentar el insumo de carbono en el suelo es mediante el cambio de cultivos, forestación, pastoreo, aumentar residuos abonos orgánicos, etc y para que se dé su perdida presencia de erosión, labranza convencional, labranza cero entre otros (FAO, 2002).

En el análisis de los resultados obtenidos de la captura de carbono en el compartimiento suelo (Figura 17) se observaron diferencias significativas entre los distintos sistemas de producción agrícola (P<0,05). Se detectaron tres grupos estadísticos, el primero conformado por SPA-8 y SPA-1, que almacenan la mayor cantidad de en los primero 30 cm del suelo oscilando de 124,05 Mg C ha^{-1} y 119, 51 Mg C ha^{-1} respectivamente. El segundo grupo lo integraron SPA-2, SPA-4, SPA-5, SPA-6 y SPA-7 con rangos de reserva de carbono de 68,83 Mg C ha^{-1} a 96,94 Mg C ha^{-1} y finalmente el SPA-3 con 46,23 Mg C ha^{-1} conformo el tercer grupo. Las variaciones están relacionadas con las diferencias en los arreglos de los sistemas de producción agrícola que aportan cantidades diversas de biomasa que van incorporando materia orgánica al suelo y se va humificando (Anexo 3). Al respecto, Reicosky, 2007 menciona que la agricultura de conservación puede llegar a desempeñar un papel muy importante en aumento y mejoramiento de la calidad ambiental en los sistemas productivos y en el almacenamiento de carbono. Si bien es cierto independientemente de los rangos que se demuestren el que se refleja con menor cantidad de captura de carbono en su suelo se demuestra en el SPA-3 factores como la mineralización son condicionante para la captura de carbono por la descomposición o la relación directa que mantiene con la materia orgánica

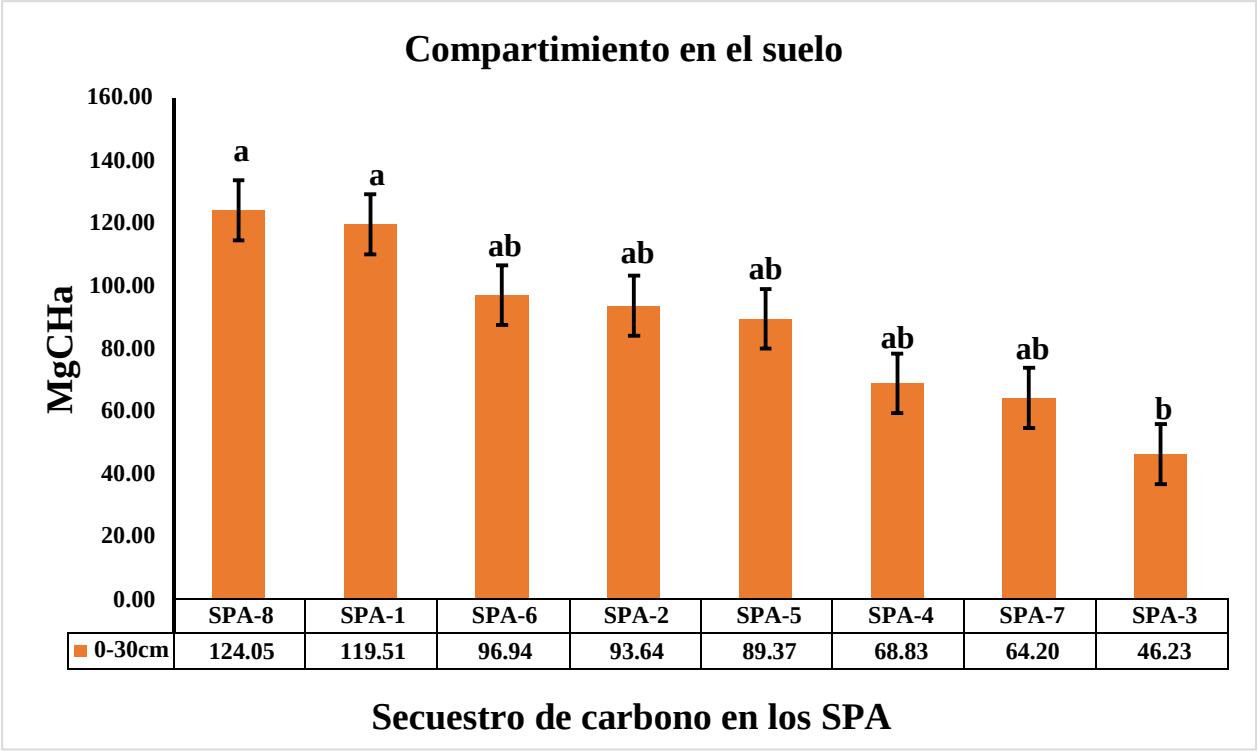


Figura 18. Valores promedios del secuestro de carbono en el compartimiento del suelo en los ocho sistemas de producción agrícola.

Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara.

Independientemente del SPA, las cantidades almacenadas en el suelo reflejan la importancia de este recurso en el proceso de mitigación del cambio climático, ya que tales cantidades almacenadas significan una minimización de las emisiones de CO2 al ambiente

4.6.3 Secuestro de carbono en el suelo en el compartimiento de la hojarasca

Se define hojarasca a la materia orgánica bien sea de origen vegetal o animal que se encuentra en diferentes procesos de descomposición (Medina, 2006). La hojarasca es otro compartimiento que forma parte de la mitigación al cambio climático al momento que captura carbono el comparar la cantidad de almacenamiento de carbono que mantienen los dos compartimientos se refleja que el mayor aporte se da en el compartimiento suelo (Figura 18). Se observó que se presentaron diferencias significativas en función del sistema de producción agrícola (P>0,05). Los resultados obtenidos reflejan valores con rangos desde 0,37 Mg C h^{-1} a 2,46 Mg C h^{-1}. En el estudio realizado por Gómez et al (2000) reflejaron resultados similares al SPA 2, manteniendo una captura de carbono total de los ocho sistemas productivos de 8, 35 Mg C h^{-1} con un promedio de 1,043 Mg C h^{-1}. El SPA-8 siendo el que presenta mayor porcentaje en la captura de carbono por hojarasca al analizar el arreglo florístico (Anexo 3) que este sistema productivo posee mayor arreglo forestal.

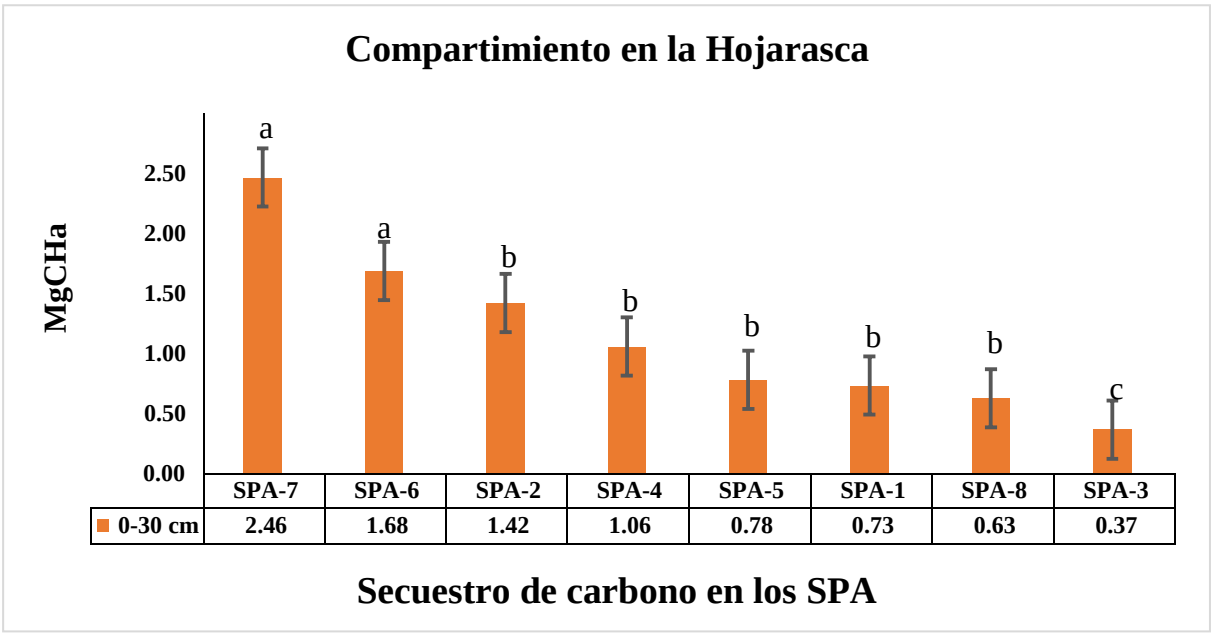


Figura 19. Valores promedios del secuestro de carbono en el compartimiento de la hojarasca en los ocho sistemas de producción agrícola.

Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara

4.7 Cuantificación de la reserva de nutrientes en el suelo bajo diferentes sistemas productivos.

4.7.1. Reserva de nutrientes

La presencia de la carga de nutrientes en el suelo está definida como la masa de una sustancia química la cual entra o sale en un volumen (suelo) y se calcula como el producto químico (fertilizante) (Barros et al., 2012). El balance de los nutrientes que se encuentren en el suelo se puede encontrar influenciado por factores naturales o inducidos (Tripathi, 2009). Esta presencia de nutrientes a su vez se encuentra involucrado con factores naturales como el clima, cuencas hídricas, el suelo y la topografía (Gutiérrez et al., 2015).

Con el propósito de ofrecer una herramienta sencilla para el manejo y la aplicación de fertilizantes en los usos de la tierra de las zonas estudiadas, en condiciones amazónicas se ha, elaborados diagramas que permiten interpretar inmediatamente la fertilidad química de los suelos (Goyes,2018). Sin embargo, para su utilidad práctica es necesario transformar los contenidos de nutrientes de los análisis de suelo en reservas y niveles categorizados como bajo, medio y alto que permitan percibir el porcentaje que puede ser suministrado por el suelo (25%, 50% y 75%) al total requerido por la planta o el cultivo

4.7.2. Nitrógeno Total (NT)

El nitrógeno es un nutriente esencial para los seres vivos debido a su participación en aminoácidos, proteínas, enzimas nucleoproteínas, ácidos nucleicos, así como también de las paredes celulares y clorofila en los vegetales. (Stevenson, 1982). Se ha señalado que las fuentes de nitrógeno en el suelo son la materia orgánica, los fertilizantes químicos y la atmósfera del suelo que puede fijarlo mediante fijación simbiotica y asimbiotica (Casanova, 2005). Cuando un sistema natural no se encuentra intervenido por el hombre las plantas pueden tomar el nitrógeno inorgánico a partir de la materia orgánica del suelo, mientras que los sistemas son intervenidos por el hombre el nivel de MOS por lo general tiende a cambiar y con esto también cambia los niveles de nitrógeno ya que cambia el balance de mecanismo de perdida y ganancia de este elemento en el suelo (Perdomo et al., 2015).

Bajo esta perspectiva, los valores obtenidos en la presente investigación sobre la reserva de Nitrógeno en el suelo en diferentes sistemas de producción agrícola (Figura 19) mostro diferencias significativas (P<0,05). Los valores oscilaron desde 19,92 kg ha^{-1} en SPA-3 al valor más alto 53, 46 kg/h SPA 8. Teniendo en cuenta en el (Anexo 3) los arreglos productivos por ejemplo en el SPA 3 el cultivo de la Yuca ***(Manihot esculenta C.)*** representa el cultivo principal que genera los ingresos económicos, con los valores de reserva no se cubrían las necesidades del cultivo que es de 190 kg/ha. Otro ejemplo podría plantearse en el SPA-8 cuyo cultivo principal en el arreglo es el limón (***Citrus limón)*** con unas necesidades de nitrógeno de 160kg/ha, por tanto, al calcular los requerimientos del cultivo (Rc) en base a la siguiente ecuación:

(Rc=Ds-Nc), (1)

Donde:

Rc=Requerimiento del cultivo (kg ha^{-1})

Ds: reserva en el suelo (kg ha^{-1})

Nc: Necesidad del cultivo (kg ha^{-1})

Todo ello, resulta en una diferencia negativa de -104,54 kg ha^{-1}, lo cual debería complementarse con la fertilización bien sea orgánica o química para suplir los requerimientos

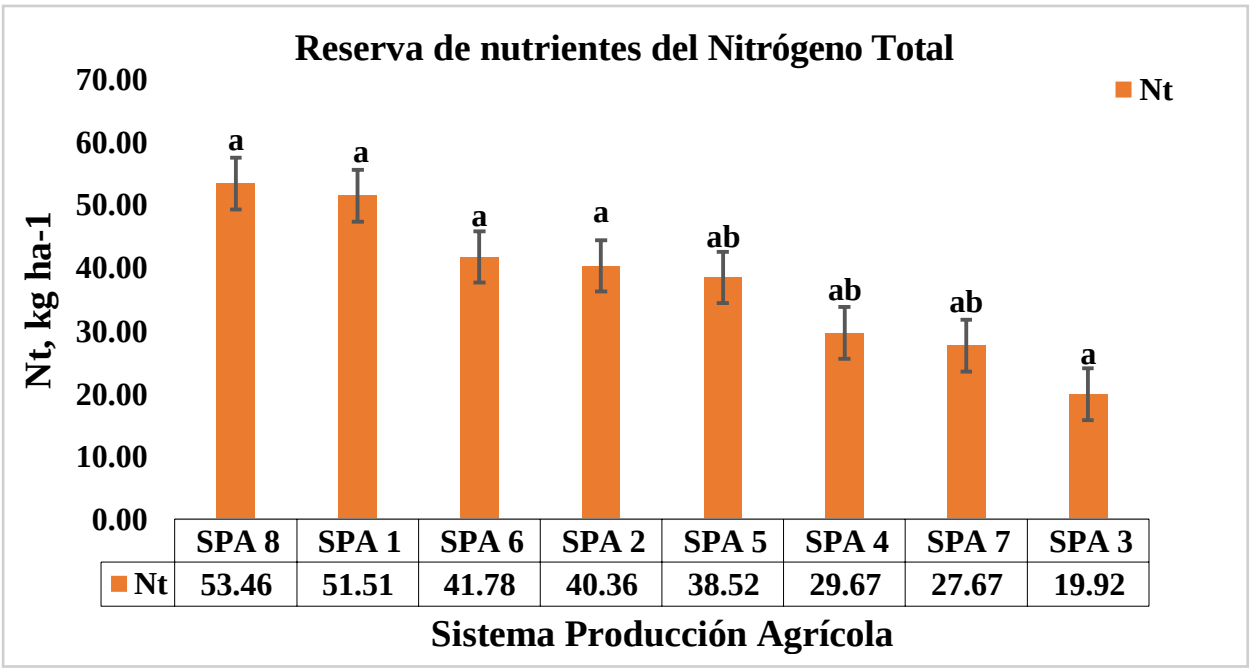


Figura 20. Valores promedios de la reserva de nutriente del Nt en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola en los primeros 30 cm.

Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara.

Se han realizado estudios sobre como la aplicación de abonos orgánicos puede mejorar los niveles de nitrógeno en el suelo. Al respecto, Perdomo et al., 2015 aplicaron de manera asistida abonando de 35 ton.ha^{-1} de abono orgánico (estiércol) durante u largo plazo, en elcual se demostró un aumento de nitrógeno orgánico de 4 a 8 ton.ha^{-1}, sin embargo el incremento tiene un máximo en el cual comienza a decrecer después de 20 años a solo 1 ton. ha^{-1} de nitrógeno, presentando una disminución de la MOS, volviendo la cantidad de materia orgánico en cómo se encontraba en un inicio.

4.7. 3 Fosforo en el suelo

El fosforo cumple funciones de suma importancia en el suelo, el mismo que interactúa con la parte superior del mismo ayudando en este caso a las plantas a desarrollar de mejor forma sus raíces, desarrollo y crecimiento firme de la planta, maduración e sus frutos y flores, mejora el sabor de sus frutos ya que su dulzura depende de las concentraciones de fosforo y tipo de suelo ayuda a que las raíces absorban de mejor manera los nutrientes del suelo hacia la panta (Andrades y Martínez, 2014).

Los resultados planteados en la (Figura 20) representan las reservas almacenadas en los primeros 30 cm en cada sistema productivo agrícola, la cual mostró diferencias significativas. Se puede apreciar que la concentración de fosforo en el SPA-3 (Madre Tierra) presenta una mayor reserva (76,10 kg/ha) que se corresponde con los niveles de P disponible en este sistema categorizado como.

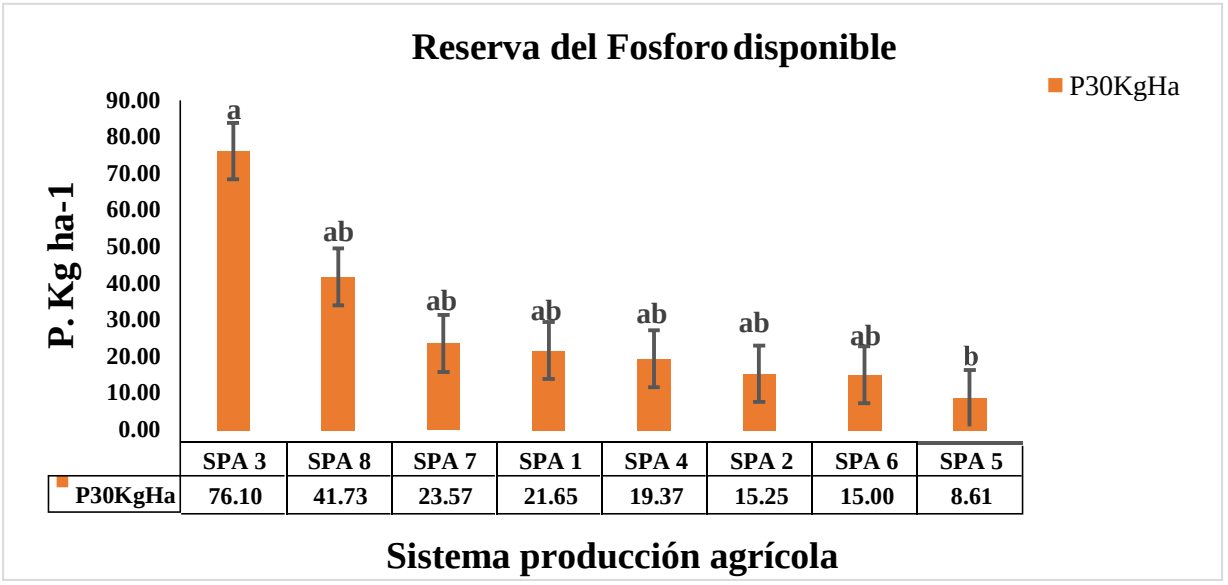


Figura 21. Valores promedios de la reserva de nutriente del P en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola en los primeros 30 cm.

Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara

Las reservas más bajas de P fueron encontradas en el sistema SPA5 (Tarqui) con valores de (8,65 kg/ha), las cuales no satisfacen los requerimientos del cultivo principal que en este caso es la Papa China (***Colocasia esculenta***) los cultivos. El fósforo es esencial para todas las formas de vida en la tierra y típicamente menos abundante en el suelo que el N o el K, con concentraciones totales de P en el suelo que oscilan entre 50 y 1500 mg kg^{-1}, sin embargo a pesar que las concentraciones disponibles en el suelo sean categorizadas como bajas siempre en suelo tiene reserva que pueden contribuir a suplir parte de las necesidades del cultivo.

4.7.4 Reserva de nutriente del potasio en el suelo

Al potasio se lo considera como un elemento de mucha importancia no solo al suelo sino alas ser vivos con los que interactua.es considerado un elemento de fácil aprovechamiento por la facilidad con la que el suelo absorbe este nutriente. El potasio sirve como un catalizador de energía para las pantas y animales sin dejar de mencionar que en el suelo ayuda al correcto funcionamiento de los ciclos geológicos, ayudando en el frio y la sequía del suelo, en estas temporadas el suelo elimina los elementos almacenados para que las plantas pueden sustentarse durante la temporada de frio o sequía (Sanzano, 2016).

Los valores de reserva de K intercambiable mostraron diferencias significativas entre los distintos usos de la tierra (Figura 21). Se puede apreciar desde valores más alto en el SPA-7(Arajuno) con reservas de 132,44 kg/ha lo cual está asociado a los materiales parentales que le dieron origen al suelo, así como los aporte que puede provenir de la descomposición de los residuos orgánicos o la aplicación de ciertos fertilizantes. Algunos autores señalan que uno de los factores que influye en la poca concentración de potasio en el suelo es la escasa materia orgánica lo que representa menor cantidad de nutrientes, no solo de potasio sino lo contrario el suelo perdería sus elementos y nutrientes en general (Andrades, 2004). En contraparte el sistema que presento menor reserva en comparación a los otros sistemas productivos agrícolas fue el SPA-5 (Tarqui) con 28,63 kg/ha almacenado. Es importante resaltar que los requerimientos de las plantas de potasio generalmente son altos, por lo que el manejo de los residuos después de la cosecha es importante en los niveles de K en el suelo tendrá disponible para el próximo cultivo (Casanova, 2005).

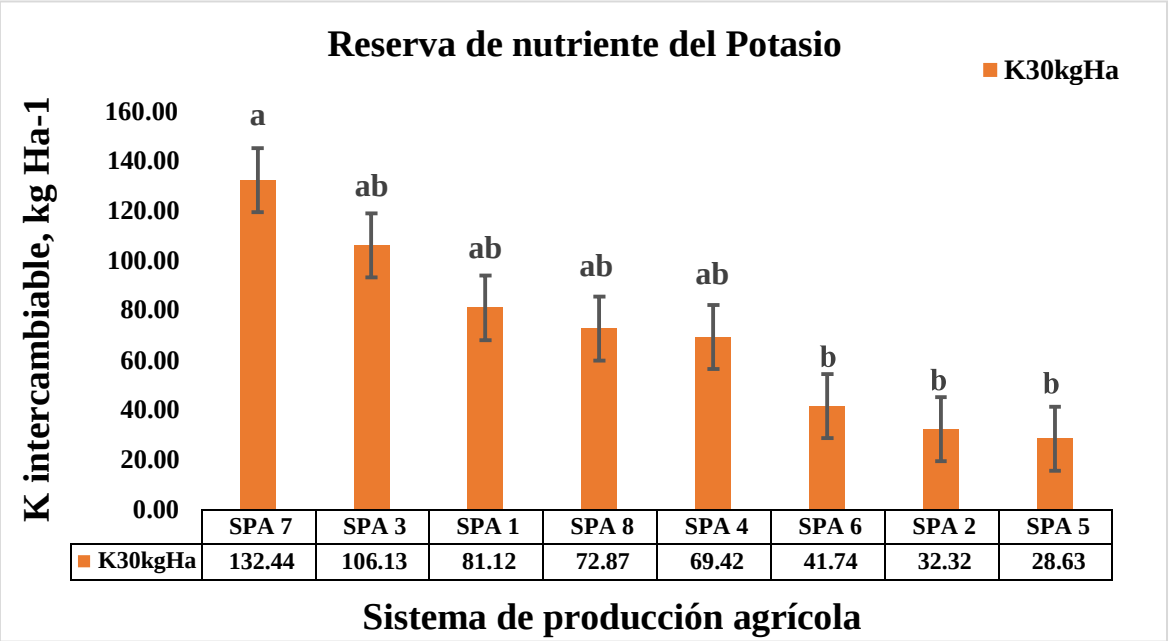


Figura 22. Valores promedios de la reserva de nutriente del K en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola en los primeros 30 cm.

Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara

Las concentraciones adecuadas de potasio en el suelo ayudan de manera eficiente en los sistemas productivos ya que les permite desarrollar un acoplamiento al stress causado por las alteraciones del suelo o climas que pueden ser de forma natural o por la mano del hombre, incluso las plantas desarrollan métodos de protección contra insectos y plagas. El movimiento del potasio en el suelo y la planta es lento, las altas temperaturas hacen que este proceso sea por difusión esto quiere decir que reduce su velocidad a la mitad de lo normal pero la concentración de este elemento es el mismo (Fuentes, 2014).

4.7.5 Reserva de nutriente de Calcio en el suelo

La importancia del calcio en el suelo es considerablemente alta esto debido a que es la encargada que al igual que en la planta darle firmeza y dureza. Un factor importante para el suelo es la transpiración o drenaje, si estos procesos decaen o son bajos las concentraciones de calcio y otros elementos disminuirán considerablemente. El calcio es absorbido por las plantas como catión divalente y es un componente estructural de la pared celular por lo que su deficiencia se puede reflejar en el poco crecimiento de las plantas (Casanova, 2005; Gómez, 2009).

Los valores que se obtuvieron en la presente investigación mostraron diferencias significativas entre los distintos sistemas productivos agrícolas (Figura 22). Se observó en todos los casos alta concentraciones (como es el caso del SPA7 (Arajuno) con una cantidad de

5306146,66 kg/ha lo cual está asociado a los materiales parentales que aportan gran cantidad de calcio. El SPA2 (Fátima) presenta el índice de menor concentración de calcio, lo cual podemos mencionar que la intervención y alteraciones que el suelo ha sufrido con el fin de ser aprovechable para un sistema agrícola han alterado el proceso de almacenamiento de calcio, sin embargo, las reservas de este elemento siguen siendo adecuadas para los cultivos. Estudios realizados mencionan que ciertas plantas son vulnerables a la deficiencia de calcio en el suelo, por eso desarrollan almacenamiento en sus ramas y hojas (Piedrahita, 2012).

Por otra parte, se menciona que el suelo siempre almacena cierta cantidad de calcio necesario para los organismos que interactúan con el mismo a fin de proporcionar la cantidad adecuada de calcio, lo suficientemente para que realice sus procesos de forma adecuada (Ricón et al., 2003).



Figura 23. Valores promedios de la reserva de nutriente del Ca en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola en los primeros 30 cm.

Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara.

Cabe mencionar que para un proceso adecuado de la planta el calcio es muy importante ya que ayuda de cierta manera a la realización de la fotosíntesis aumentando el tamaño de sus ramas y tallo, y a su vez mecanismo de defensa y así la planta no se debilita cuando este tenga carencia de nutrientes absorbidos del suelo en pequeñas cantidades, ya que el calcio es considerado el 3 elemento más importante en cantidad que la planta necesita para realizar sus procesos de manera adecuada (Piedrahita, 2012).

4.7.6 Reserva de nutrientes de Magnesio en el suelo

El magnesio cumple funciones muy importantes en la dinámica del suelo con la planta, debido a que en cierta parte ayuda a que elementos de base intercambiable circulen con facilidad. Con el calcio es el elemento con el que más interactúa permitiendo que este se concentre en mayor cantidad que los demás elementos (Vélez et al., 2014).

La reserva de magnesio intercambiable (Figura 23) igualmente varió significativamente en función de los sistemas de producción mostrando concentraciones con valores de altos a bajos. El sistema SPA7 (Arajuno) presento los valores más altos con1062,97 kg/ha lo cual comparando con los otros suelos tiene una diferencia considerable. La concentración de materia orgánica influye mucho en la interacción de estos elementos, la materia orgánica seca ayuda en más cantidad a concentrar porcentajes de calcio y magnesio sin embargo la materia fresca a los demás elementos intercambiables absorbiendo directamente a través del suelo por el proceso de descomposición y filtración (Vélez et al., 2014).

El SPA-2 (Fátima) la concentración de magnesio es baja considerando los otros sistemas agrícolas. Uno de los factores para que la concentración de magnesio sea baja es la lixiviación de este nutriente que puede verse potenciado por el tipo de suelo y las condiciones climáticas de la amazonia, sin embargo, las reserva obtenidas pueden suplir las demandas de los cultivos.

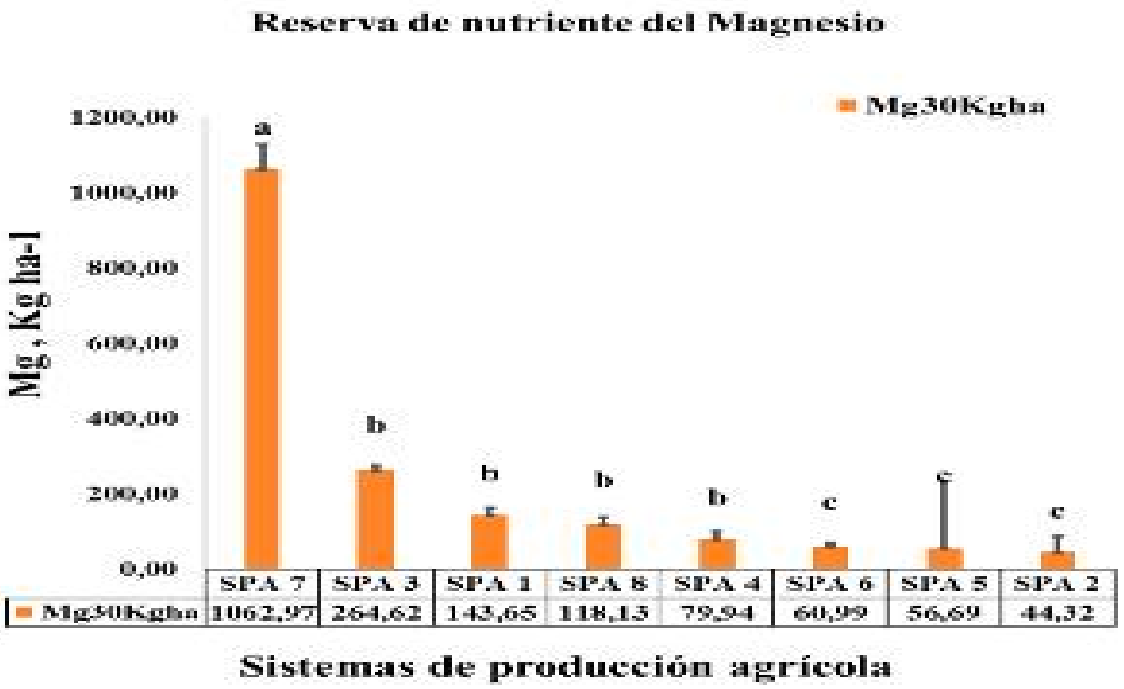


Figura 24. Valores promedios de la reserva de nutriente del Mg en el suelo bajo distintos sistemas de producción agrícola en los primeros 30 cm.

Leyenda: SPA1: Pomona, SPA2: Fátima SPA3: Madre Tierra SPA4: Veracruz SPA5: Tarqui SPA6: Triunfo SPA7: Arajuno SPA8: Santa Clara

La concentración alta de otros elementos esenciales para el suelo influye en la poca concentración de magnesio, estas pérdidas pueden verse remediadas empleando fertilizantes con porcentajes adecuados en el suelo, estos fertilizantes deben contener la cantidad adecuada de magnesio según los datos que se obtuvieron ene le análisis, porque de otra manera pasaríamos a perjudicar o quemar el suelo directamente (Ariszabal, 2019).

Podemos observar que en este caso la investigación ha sido positiva ya que los fertilizantes solo se deberían emplear en función de recirculación, esto que quiere decir en porcentajes adecuados y medibles dependiendo el suelo donde se va a emplear, y como este se compone si es arcilla, granito, etc. (Vélez et al., 2014).

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Lo parámetros físicos asociados a la fertilidad mostraron diferencias significativas entre los diferentes sistemas de producción agrícola mostrando mejores condiciones estructurales y sin ninguna limitación de densidad aparente (Da), porosidad total (Pt), porosidad aireación (Pa), porosidad de retención (Pr) y conductividad hidráulica saturada (Ksat) en la primera profundidad (0-10 cm) con respecto a la segunda capa (10-30 cm), lo cual está asociado principalmente a los cambios en el contenido de materia orgánica entre sistemas de producción agrícola y profundidad.
- La fertilidad química mostro un comportamiento irregular sin ningún patrón definido en los sistemas de producción agrícola, exhibiendo valores de pH ácidos (>5, SPA-8,SPA-3,SPA-1 a muy ácidos (<5 SPA-2,SPA-4,SPA-5,SPA-6,SPA-7), niveles altos a medios de acidez y aluminio intercambiable y de moderada a baja disponibilidad de nutrientes con mejor comportamiento en el horizonte superficial. La mayor disponibilidad P se encontró SPA-8, mientras que las mayores concentraciones de las bases intercambiables (K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}) se encontraron con SPA-7, SPA-8 y SPA-1 con respecto al resto de los sistemas.
- La captura de carbono mostro diferencias significativas entre SPA para ambos compartimientos evaluados (suelo, hojarasca) mostrando mayor almacenamiento de carbono en el suelo con respecto a la hojarasca. Los rangos en el suelo oscilaron de un mínimo de 3,85 Mg C ha^{-1} (SPA-3) a un máximo de 21 Mg C ha^{-1} (SPA-7) en el horizonte superficial, mientras que en el segundo horizonte los valores estuvieron entre 1,76 Mg C ha^{-1} (SPA-3) y 12,48 Mg C ha^{-1} (SPA-8), reflejando la importancia de este recurso y de la hojarasca en el proceso de mitigación del cambio climático.
- La reserva de nutrientes cambio en función del sistema de producción agrícola, donde se generaron diferencias en concentraciones de nutrientes que a su vez influenciaron sus niveles de reserva en el suelo. La mayor reserva de nitrógeno total se encontró con SPA-8 y de P disponible en SPA-3, mientras que las mayores reservas de las bases intercambiables (K, Ca, Mg) se encontraron con SPA-7 y SPA-3 con respecto al resto de los sistemas.

5.2 Recomendaciones

Promover proyectos investigativos sobre el suelo de Pastaza, siendo responsable principal la comunidad académica de la universidad quien se encargaría de aumentar procesos de esta índole, tomando en cuenta que es la provincia más grande del país, pero estamos decayendo económicamente, uno de los medios de progreso económico seria aprovechar de manera adecuado el suelo para fines agrícolas sin perturbar la naturaleza.

Aprovechar de mejor manera los Sistemas de Producción Agrícola, ayudaría como método de contingencia ante el cambio climático, debido a que el suelo es el principal captador de los gases de efecto invernadero y al mantener los SPA ayudan a controlar la expansión de actividad ganadera.

6 Referencias

Andrades. M y Martínez. M (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. Material didáctico agricultura y alimentación. Universidad de la Rioja.

Álvarez, CR y M.A Taboada. (2008). Fertilidad física de los suelos. Segunda Edición. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires.237 p.

Arranz, C., Galantini, J., Iglesias, J., Kruger, H. & Venanzi, S. (2002). Sistemas de labranza: efecto del pastoreo animal sobre la distribución del tamaño de poros. Cic (Pcia. Bs.As.), Dpto. Agronomía - U.N.S. 8000 Bahía Blanca, EEA Bordenave del INTA. Bahía Blanca. 1(1):1-7

Ariszabal. A. (2019). Efecto de las altas saturaciones de magnesio y calcio en las propiedades físicas de un suelo del Valle del Cauca. (Tesis posgrado). Universidad Nacional de Colombia. Palmira-Colombia.

Aoki, Antonio y Sereno.R. (2005). Modificaciones de la Conductividad Hidráulica y Porosidad del Suelo Estimadas Mediante Infiltrómetro de Disco a Tensión. Agricultura Técnica, 65(3), 295-305. https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072005000300007

Alemán., Pérez, R.; Bravo-Medina, C; Fargas-Clau, M. (2018).Fertilización orgánica en cultivos de lechuga (***Lactuca sativa I***) y rábano (***Raphanus sativus I***) en la Amazonia Ecuatoriana. Ediciones Associació Catalana d´Enginyeria Sense Fronteres. Puyo, Ecuador.

Bermejo Isabel. (2010). El agrícola es el sector con más emisiones de efecto invernadero a escala mundial. *Revista El Ecologista n°67.*

Bertsch, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

Bond, W J. 2010. Do nutrient-poor soils inhibit development of forests? A nutrient stock analysis. Plant Soil, 334: 47–60.

Borja María Olga1, Aragón-Osejo José2, Josse Carmen. (2017). Bosques de la Región Amazónica Ecuatoriana: ¿Qué nos dicen las cifras de deforestación de los últimos 15 años? Ponencia 3: Recursos naturales, ambiente y cambio climático. Recuperada de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/49-Texto%20del%20art%C3%ADculo-130-1-10-20171117%20(2).pdf

Botta, GF; D Jorajuría; R Balbuena; M Ressia; C Ferrero; H Rosatto & M Tourn. 2006. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (***Heliantus annus L***.) yields. Soil Till. Res. 91: 164-172.

Bravo, C., Lozano, Z., Hernández, R. M., Piñango, L. y Moreno, B. (2004). Efecto de diferentes especies de cobertura sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. Bioagro, 16(3):163-172.

Bravo, C. A., Giráldez, J. V., Ordoñez, R. González, P. y Perea Torre. (2007). Long term influence of conservation tillage on chemicals properties of Surface horizona and legume crops yield in vertisol of southern Spain. 172:141.148.

Bravo, C., González, A., Lozano, Z., Hernández, R.M., Rivero, C., Toro, M., Lobo, D., Morales, J., Gonzáles, I., Canchica,J. (2012). Dinámica de propiedades físicas de un suelo de sabana bajo manejo conservacionista. Congreso Latinoamérica unida protegiendo sus suelos. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/261463553_DINAMICA_DE_PROPIEDADES_FISICAS_DE_UN_SUELO_DE_SABANA_BAJO_MANEJO_CONSERVACIONISTA

Bravo, C., Benítez, D., Vargas, J., Alemán, R., Torres, B., y 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), 3-31.*

Bravo, C., Torres B., Benítez D., Haideé M., Tapia A. y Velasco, C. (2016). El recurso suelo: ¿Cómo realizar un diagnóstico integral de la fertilidad del suelo con fines productivos? *Revista: Huellas del Sumaco (15): 10-17.*

Bravo, C., Marín, H., Marrero, P., Ruiz, M., Torres, B., Navarrete, H., y Changoluisa, D. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonía ecuatoriana. Bioagro, 29(1), 23-36.

Bravo, C., Torres, B., Alemán, R., Changoluisa, D., Marín, H., Freile, J. . . . Navarrete, H. (2017a). Indicadores de calidad física y carbono orgánico en suelos de la Región Amazónica Ecuatoriana bajo diferentes usos de la tierra. Paper presented at the Simposio internacional sobre Manejo sostenible de tierras y seguridad alimentaria–Ecuador.

Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Torres, R., y Changoluisa, D. (2017b). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista Electrónica de Veterinaria, 18(11).*

Bravo, C., Torres, B., Alemán, R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., y Tapia, A. (2017e). 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.

Barros, R.; Isidoro, D. and Aragüés, R. 2012. Irrigation management, nitrogen fertilization and nitrogen losses in the return flows of La Violada irrigation district. Agric. Ecosyst. Environ. 155:161-171.

Blake, G., y Hartge, K. (1986). Bulk Density. En, A. Klute (Ed.), Methods of soil analysis.

Bolda. M. (2016). Pensando profundamente sobre el magnesio. Recuperado de https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=20538

Burbano.H. (2016).El suelo y su relación con los servicios ecosistemicos y la seguridad alimentaria. Rev. Cienci.Agr. 33(2): 117-124, doi:http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58.

Buttoud.G. (2015).Promoviendo la agro forestación en la agenda política. Documentos agroforestal (1).Recuperado de http://www.fao.org/3/a-i3182s.pd

Canqui, H., & Ruíz, S. (2018). No-tillage and soil physical environment.Rev. Geoderma. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011

Casanova, E. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.

Casanova. F, Aldana. J y Sánchez. J. (2010). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*. Doi http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.047

Castiglion, Mario Guillermo, Behrends Kraemer, Filipe, & Marquez Molina, John Jairo. (2018). Conductividad hidráulica saturada determinada por distintos procedimientos en suelos con alta humedad inicial. Ciencia del suelo, 36(2), 158-169. Recuperado en 19 de agosto de 2020, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672018000200015&lng=es&tlng=es.

Castro, H. y Munevar, Ó. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica, 16(2), 409-416

Cisnero. C., Sánchez. M., y Manjivar.Juan C.(2016). Influencia de microorganismos solubilizadores de fosforo del suelo y su absorción por plántulas de café. Revista Bioagro, Vol. 28, Núm. 2, 2016, pp.95-106.

Conti. Marta.F. (2004). Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. Universidad de Buenos Aires. Catedra Edafología

Custode, E., y Sourdat, M. (1986). Paisajes y suelos de la Amazonía ecuatoriana: entre la conservación y la explotación. Cultura: Revista del Banco Central del Ecuador, 24, 325-337.

Díaz, A. (2016). Impacto ambiental del cambio de uso del suelo sobre los parámetros edáficos en la Reserva de Biósfera Sumaco, provincia de Napo. Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador.

FAO. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Recuperado de http://www.fao.org/3/a-bl001s.pdf

FAO. (2003). Agroforestería para la Producción Animal en América Latina - II - Memorias de la Segunda Conferencia Electrónica (Agosto de 2000-Marzo de 2001) Recuperado de http://www.fao.org/3/y4435s/y4435s07.htm

FAO.(2009).Cómo alimentar al mundo en 2050, Cumbre Mundial sobre la Seguridad Alimentaria. Roma, Italia.

FAO. (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. Recuperado de http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf

FAO. (2015).Funciones del suelo (On line).Recuperado de http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/284478

FAO. (2015). Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables. Roma, Italia.

FAO. (2015).Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030.Recuperado de http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s00.htm#TopOfPage

FAO. (2015).Las funciones del suelo. Recuperado de http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/294325/

FAOSTAT.(2017).Indicadores de Ecuador. Recuperado http://www.fao.org/faostat/en/#country/58

Fassbender, H. W. (1975). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica. 1ra. Edición. Talleres gráficos de Trejos Hnos. Sucs., S. A. Pág. 173, 183

Fuentes.J. (2014). Evaluación de cuatro niveles de potasio (KCLO) sobre el rendimiento y alidad del plátano (Musa paradisiaca, Musaceae), en aldea San Isidro Malacatán, San Marcos.(Tesis pregrado).Quetzaltenango-Guatemala.

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., y Jones, A. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Luxemburgo: Comisión Europea – Oficina de Publicaciones de la Unión Europea

Gibson, D. (2015). Abiotic and biotic measurements of a plant's environment. En, *Methods in comparative plant population ecology*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.

González B., González. G., Chávez. E. (2012). Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. Instituto Nacional de investigación Forestal, Agrícola y Pecuarias, México. Revista Tecnología y Ciencias del Agua, vol. III, núm. 1.

Gómez. S. (2009). Absorción de nutrientes de zantedeschia elliottiana (calla lily) en diferentes estados fenológicos como punto de partida para la determinación de requerimientos

nutricionales del cultivo en condiciones del eje cafetero Colombiano (Tesis posgrado). Colombia.

Gómez, L. (2000). Cambio climático y desarrollo. Un proyecto en colaboración de la oficina Regional para América Latina y el Caribe del PNUD y Yale School of forestry & Environmental Estudies. Publicación en formato de PDF en CD-ROM

Goyes. F. (2018). Cambio de uso de la tierra y fertilidad edáfica en la zona alta de la cuenca del río Napo. (Tesis posgrado). Universidad Estatal Amazónica.

Guillaume, T., Maranguit, D., Murtilaksono, K., & Kuzyakov, Y. (2016). Sensitivity and resistance of soil fertility indicators to land-use changes: New concept and examples from conversion of Indonesian rainforest to plantations. *Ecological Indicators*, *67*, 49-57.

Gutiérrez -Edgar., Gutiérrez-Ma. Del Carmen., Ortiz –C. (2015). Manejo integrado de nutrientes en sistemas agrícolas intensivos: revisión. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas.* Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000100017

Ghimire, R., S. Lamichhane, B. Acharya, P. Bista y U. Sainju. 2017. Tillage, crop residue, and nutrient management effects on soil organic carbon in rice-based cropping systems: a review. J. Integr. Agric. 16, 1-15. Doi: 10.1016/S2095-3119(16)61337-0.

Hernández R, Torres, Hernández B. (2014).Captura de carbono en los suelos. Boletín científico No.2. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperada de https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e4.html.

Hontoria.C., Rodríguez. M y Saa. A. (2004). Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España Peninsular. Edafología, Vol. 11(2), pp 149-157

Huera, T., Ruiz, A., Changoluisa, D. & Bravo, C. (2020). Towards Sustainable Urban Planning for Puyo (Ecuador): Amazon Forest Landscape as Potential Green Infrastructure. Revista Sustainability, doi:10.3390 / su12114768, pg9.

Ibarra Castillo, Daniel, Ruiz Corral, José Ariel, González Eguiarte, Diego Raymundo, Flores Garnica, José Germán, & Díaz Padilla, Gabriel. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. Agricultura técnica en México,

35(3), 267-276. Recuperado en 22 de agosto de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000300003&lng=es&tlng=es.

INEC, 2010.Ressultads del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador, Fascículo provincial Pastaza. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/pastaza.pdf

INIAP. (2012). El desarrollo rural de la región Amazónica Ecuatoriana. RAE, no se basará únicamente en producción agropecuaria: un análisis reflexivo que lo sustenta. INIAP. Quito-Ecuador

Infante. C., Ortega. C., Morales. F., Ehrmann. U., Valencia. I y Pérez. R (2010). Efecto del potasio en la biorremediación de un suelo contaminado con un crudo liviano. Bioagro, vol. 22, núm. 2.

Isaza, H. y Cornejo, M. (2015). El café y el ciclo de carbono. Solidaridad. Recuperado de https://www.agrolearning.com/educacion/file.php/124/materialEstudio/Café y CicloCarbono.pdf

Jorajuría, D & L Draghi. 1997. The distribution of soil compaction with depth and the response of a perennial forage crop. J. Agric. Eng. Res. 66: 261-265.

Lanfranco y Washington, J. (2019). "Porosidad y aireación densidad real y aparente". Curso edafología departamento de ambiente y recursos naturales facultad de ciencias agrarias y forestales. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires-Argentina.

Lozano Z., Briceño, L. O., Villanueva, J. G., Bravo, C., Hernández, R., Moreno, B. y Piñango, L. (2009). Propiedades químicas del suelo bajo cultivos de cobertura en sistemas de labranza conservacionista y su efecto sobre el rendimiento de maíz.17:24-41.

Ludwing M.Rojas D., Palacio H.Rojas y Menjívar Juan C. (2008). Estimación de la conductividad hidráulica saturada in situ en un suelo tratado con vinaza. Recuperado de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/1352/1942

Macías-Felipe., Camps-Marta., y Rodríguez L. (2005).Alternativas de secuestro de carbono orgánico en suelos y biomasa de Galicia.Journal *Artigo .Recurso Rurais Vol1 n°1:71-85.*

Martínez H, Eduardo, Fuentes E, Juan Pablo, & Acevedo H, Edmundo. (2008). CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 8(1), 68-96. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006

MAGBMA y FAO. (2018). Estudio de las causas de la deforestación y degradación forestal en Guinea Ecuatorial 2004-2014. Recuperado de http://www.fao.org/3/CA0399ES/ca0399es.pdf

Maldonado.G. (1980). La reforma agraria en el Ecuador. Recuperado de https://www.persee.fr/doc/carav_0008-0152_1980_num_34_1_1501

Medica. C. (2004). Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistemas de café con sombra (***Coffea arabicaL***), hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua. Tesis. Managua, Nicaragua, UNI. 108p.

Mejía. S., Gómez. A., Etchevers. J., Pérez. G., López. M. y Horwath. W. (2007). Acumulación de carbono orgánico en el suelo en reforestaciones de ***Pinus michoacana.*** Revista Agro ciencia.

McGrath, J.M., Spargo, J. y Penn J. (2014). Soil fertility and Plant Nutrition .Encyclopedia of Agriculture and Food Systems. 5:165-184.

Nelson, D. y Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter1.

Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (methodsofsoilan2), 539-579.

Nieto, C. y C.C. Vargas. 2012. El desarrollo rural de la región Amazónica Ecuatoriana, RAE, no se basará únicamente en producción agropecuaria: un análisis reflexivo que lo sustenta. INIAP. Quito-Ecuador. 158 p.

ONU (2019). Departamento de Asuntos Económicos y Sociales Dinámica de la Población. Recuperado de https://population.un.org/wpp/Download/Probabilistic/Population/

Paguay, S. D. (2015). Influencia de los sistemas agroforestales y monocultivo de cacao sobre la calidad del suelo, en el cantón Arosemena Tola. (Tesis de pregrado). Universidad Estatal Amazónica. Pastaza-Ecuador.

Pascual. R. y Venegas. S. (2005). La materia orgánica del suelo papel de los microorganismos. Recuperado de https://www.ugr.es/~cjl/MO%20en%20suelos.pdf

Perdomo.C. y Barbazán. M. (2015). Àrea de suelos y aguas Càtedra de fertilidad. Recuperado de http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf

Piedrahita. O. (2012). Calcio en las plantas. Recuperado de http://nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Calcio/Calcio%20en%20Plantas.pdf

Pla, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos. Dificultades y errores más frecuentes. I-Propiedades mecánicas. Suelos Ecuatoriales, 40(2), 75 93.

Pla, I. (2013). Análisis crítico de la calidad de suelos y de Sus indicadores. Suelos Ecuatorianos 43(1): 1-8

Prasad, R. and Power, J. F. (1997). Soil fertility management for sustainable agriculture. Lewis Publishers. Boca Raton. New York. 356p.

Reicosky, DC. 2007.http: //pnvsteep.wsu.edu/directseed/conf98/soil2.htm

Ricón.J., Gallardo. Y., Leal. M. y Rojas. Y. (2003). Efecto de la relación calcio:fósforo en el suelo sobre el crecimiento y nodulación de plantas jóvenes de acacia mangium (willd).Bioagro , vol. 15, núm. 2.

Ross, M. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. Revista Palmas, 25(especial), 98-104. Recuperado a partir de https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1071

Sadeghian. S. (2012). Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (Coffea arabica L.) en la etapa de almácigo. (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional de Colombia. Medellín –Colombia.

Sales, A., Silva, A., Veloso, C., Carvalho, E., y Miranda, B. (2018). Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia legal. *Colloquium Agrariae, 14*(1), 1-15.

Sandoval, A., Amescua, M., Vargas, A. (2004).La captura de carbono en boques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? Journal Gaceta Ecológica, núm. 70.Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/539/53907001.pdf

Sanzano. A. (2016). El fosforo del suelo. Recuperado de https://www.edafologia.org/app/download/7956239776/El+Fosforo+del+suelo.pdf?t=1563476239

Sanz, J. M., Sánchez, A. J. J., y Sánchez, S. A. (2006). Química del suelo y medio ambiente. Publicaciones de la Universidad de Alicante.

Saynes, S., Etchevers, B., Jorge, D., Paz,. P y Alvarado, C.,(2016). Análisis de estrategias de manejo sobre emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del suelo. *Terra Latinoamericana* .Recuperado dehttp://www.scielo.org.mx/scielo.php?scriptsci_arttext&pid=S0187-57792016000100083

Sifuentes Ibarra, Ernesto, Macías Cervantes, Jaime, Mendoza Pérez, Cándido, Vázquez Díaz, David Alejandro, Salinas Verduzco, Daniel Arturo, & Inzunza Ibarra, Marco Antonio. (2018). Efecto de la siembra directa en las propiedades del suelo y aprovechamiento de riego en maíz en Sinaloa, México. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(spe20), 4235-4243. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.993

Schulte, E., & Hopkins, B. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-onignition. Soil organic matter: Analysis and interpretation (soilorganicmatt), 21-31.

Schritt, H., C. Beusch, P. Ríos Guayasamín y M. Kaupenjohann. 2020. Transformación del cultivo migratorio tradicional en sistemas de cultivo permanente: un estudio de caso en Sarayaku, Ecuador. Ecología y sociedad 25 (1): 10 . https://doi.org/10.5751/ES-11252-250110

Shukla, M. (2014). Characteristics of soils of the vadose zone. En, *Soil physics: an introduction* (pp. 25-58). Boca Raton, United States of America: CRC Press.

Stevenson, F. J. 1982. Organic forms of soil nitrogen. P 67-122. In F. J. Stevenson (ed.).Nitrogen in agricultural soils. Monography Nº 22. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA

Tripathi, S. K. 2009. Human influences on mobility of nitrogen in the environment: needs for research and management. Acta Ecológica Sínica. 29:130-135.

Taboada, M.A.; Álvarez, C.R. 2008. Fertilidad física de los suelos.2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Umaña, J.A (2012). Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falán, Tolima (tesis de posgrado). Pontifica Universidad Javeriana, Colombia.

Valera, C. A., Valle Junior, R. F., Varandas, S. G. P., Sánchez Fernández, 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.

Valderrama-José., Campusano-Richard., y Espindola-Cesar. (2019). Minería Chinela: Transporte, y Almacenamiento de Dióxido de Carbono en Relaves mediante Líquidos Iónicos y Carbonatación Mineral.Journal *Información tecnológica.vol 30 no 5*.Doi http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500357

Valenzuela B, Ibonne Geaneth y Visconti M, Efraín Francisco. (2018) Influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 12 (1), 233-243. Publicación electrónica 25 de julio de 2020. https://dx.doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7349

Vallejo-Quintero, V.E. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles.Colombia Forestal Vol. 16(1): 83–99.

Velez.N., Melo.S y Florez.V. (2014). Comportamiento de Ca, Mg y S en un sistema de cultivo sin suelo para clavel. Revista Chapingo Serie Horticultura 20(2): 171-185, 2014 doi: 10.5154/r.rchsh.2013.10.038

Vera, S., Lozano, Z., Lobo, D., Bravo, C., Hernández, R.M y Delgado, M.2012. Propiedades físicas del suelo y distribución de raíces de maíz bajo diferentes tipos de cobertura y fertilización en un sistema conservacionista cereal-ganado.Rev. Fac. Agron. (UCV) 38(2): 49-63.2012.

Verhulst, N., Francois, I., Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor. Centro Intenacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México. 2-3pg.

Worldwatch Institute. (2004). La Situación del Mundo 2004. Icaria Editorial.

Anexo 1. Cultivos principales con la cantidad de necesidad nutricional en una hectárea

Sistemas productivos agrícolas	**Ubicación**	**Cultivo Principal**	**Cantidad de plantas**
SPA1	Pomona	Caña de azúcar	533
SPA2	Fátima	Guanábana	13
SPA3	Madre Tierra	Yuca	500
SPA4	Veracruz	Cacao	173
SPA5	Tarqui	Papachina	196
SPA6	El Triunfo	Plátano	68
SPA7	Arajuno	Limón	50
SPA8	Santa Clara	Limón	32

Cultivos	**Nutrientes kg/ha**				
	Nt	**P(P2O5)**	**K(K2O)**	**Ca(CaO)**	**Mg(MgO)**
Caña de azúcar ***(Saccharum spp)***	130	39	280	47	47
Guanábana (***Annona muricata L.)***	115	92	108	-----	------
Yuca ***(Manihot esculenta C.)***	190	38	400	140	50
Cacao (***Theobroma cacao L.)***	180	30	114	18	18
Papachina (***Colocasia esculenta***)	150	40			
Plátano ***(Musa paradisiaca L)***	220	105	430	220	60
Limón (***Citrus × limón)***	160	21	114	176	20
Limón (***Citrus × limón)***	60	21	114	176	20

Anexo 2. Niveles críticos para interpretación de parámetros físicos

Niveles Críticos		
Parámetros	**Unidad**	**Valores**
Densidad Aparente (Da)	Mg m^{-3}	1,2
Conductividad hidráulica saturada (Ksat)	cm h^{-1}	0,5
Porosidad Total (Pt)	%	45
Porosidad de aireación (Pa>15 μm)	%	10
Porosidad de retención (Pr<15 μ)	%	25

Fuente: Pla, 2010

Anexo 3. Límites de los rangos críticos en los análisis químicos

Sierra	Muy Acido	Acido	Mediano Acido	Ligeram. Acido	Practicam. Neutro	Ligeram. Alcalino	Medianam. Alcalino	Alcalino	Neutro
p H	0.0-<5.0	3.0-5.5	>5.5-6.0	>6.0-6.5	>6.5-7.5	>7.5-8.0	>8.0-8.5	>8.5	7.0
Siglas	M.Ac	Ac	Me.Ac	L.Ac	PN	L.Al	Me.Al	Al	N

Requerimiento de Cal					
N	%	<0,2	0.2-0.8	>0.8-3.2	>3.2
Nutriente	**Unidad**	**Bajo**	**Medio**	**Alto**	**Tóxico**
NH4	ppm	< 30.0	3.0-60.00	>60.00	
P	ppm	<10.0	10.0-20.0	>20.0	
S	ppm	<12.0	12.0-24.0	>24.0	
K	meq/100ml	<0.2	0.2-0.38	>0.38	
Ca	meq/100ml	<2.0	2.0-5.0	>5.0	
Mg	meq/100ml	<0.5	0.5-1.5	>1.5	
Cu	ppm	<1.0	1.0-4.0	>4.0	
Fe	ppm	<20.0	20.0-40.0	>40.00	
Mn	ppm	<5.0	5.0-15.0	>15.0	
Zn	ppm	<3.0	3.0-7.0	>7.0	
B	ppm	< 1.0	1.0-2.0	4.0	4.0
M.O	%	< 3.0	3.0-5.0	>5.0	
	Siglas	**B**	**M**	**A**	**T**
SB	<5	≤5	5.01-25	>25	
Nutriente	**Unidad**	**Bajo**	**Medio**		**Tóxico**
Al+H	meq/100ml	< 0.5	0.5-1.5		>1.5
Al	meq/100ml	< 0.3	0.3-1.0		>1.0
Na	meq/100ml	< 1.0	1.0-2.0		>2.0
M.O	%	< 3.0	3.0-5.0		>5.0
	Siglas	**B**	**M**		**T**
Nutrientes	Unidad	No Salino	Lig.Salino	Salino	Muy Salino
C.E	ppm	<2.0	2.0-4.0	4.0-8.0	>8.0
Fuente: (INIAP, 2012)	Siglas	NS	LS	S	MS

Apéndice A. Fotografías de campo y laboratorio del trabajo del proyecto de investigación.

	
Secado de muestra de la Hojarasca en la estufa.	Instrumentos para toma de muestras de suelo.
	
Entrevistas con los propietarios del SP5 (Fátima),	Sistema Productivo Agrícola 1 (Pomona)
	
Sistema Productivo Agrícola 6 (Triunfo)	SP3 (Madre Tierra), en preparación del suelo

	
SPA 8(SC) Plantas con poca altura ya desarrolladas en su totalidad-	SPA 3 (Madre Tierra) Toma de muestras Químicas mediante el uhla.
	
Sistema de producción agrícola de Arajuno	Infiltración para los parámetros Físicos.
	
SPA4 (Veracruz) observación del estado de las plantas en el terreno.	Tamizado de las pruebas tomadas para su correspondiente proceso.

	
Toma de muestras para los análisis Químicos.	Toma de muestras para los análisis Químicos.
	
SPA8 (Santa Clara) conteo de especies productivas.	SPA7 (Arajuno) ingreso al Sistema Productivo Agrícola.

Apéndice B. Arreglo productivo de los ocho sistemas de producción agrícola en diferentes zonas en la provincia de Pastaza.

Pomona(SPA1)	Fátima(SPA2)	Madre tierra(SPA3)	Veracruz (SPA4)	Tarqui(SPA5)	El triunfo(SPA6)	Arajuno(SPA7)	Santa clara(SPA8)
caña de azúcar	rosas	yuca	ají	yuca	barraganete	guaba mach.	chonta
yuca	naranjas	maíz	café	mango	guanábana	caimito	papachina
papaya	limones	papachina	plátano	café	hierbaluisa	guanábana	maíz
cacao	hierbaluisa	cebolla	yuca	guayaba	limón	guaba	pitahaya
guanábana	limones	brócoli	naranjilla	caimito	mandarinas	limón real	limón
aguacate	yuca	col	caimitos	aguacate	guayusa	naranja	guayaba
achiote	arazá	pimiento	cacao	guaba	naranja	mandarina	guaba machetona
Laurel	mango	sandias	limón	chonta	caimito	cacao	papaya
Sangre de drago	guayaba	maní forrajero	naranja	piñas	lima	café	limón meyer
Canelo	higo	plátano orito	guanábana	orito	limón sutil	papaya	piñas
cebolla china	mango	remolacha	mandarina	plátano	papaya	plátano	chirimoya
Jamaica	aguacate	guabilla	lima	caña	guaba	piñas	café
cedro	papaya	lechuga	uvas	guaba	guineo	yuca	uvas
zapallo	piñas	acelga	guaba	barbasco	achiote	ají	cocos
ungurahua	cedro	guayaba	morete	cebollín	guayaba	aguacate	zapote
col nativa	plátano	ají	guaba mache.	zanahoria	cacao	lima	mamey colorado
mariapanga	guanábana		papachina	limón	uva de monte	toronja	caimito
yuca morada	hierbaluisa			mandarinas	poma rosa	uva	granadilla
plátano fino	arazá			chirimoya		chonta	mandarina
oritos	guabas machetona			naranjilla		kila	cacao blanco
barraganetes	cedro			limón		caña	plátano
piñas	mora			canela		pambil	laurel
col nativa	guabas pequeñas			papachina		guayusa	cedro
yuca	plátano			chonta		barbasco	yuca

ají	guaba
cebolla	naranjilla
zanahoria	sauces
culantro	pasto para cuy
papa china	caña

huevo de burro
cedro

cebolla china	cebollines
mani forrajero	
frutipan	
laurel	
chiriguayusa	
bálsamo	
hintachi	
cabo de hacha	
achakaspi	
doncel	
cedro	
cedrillo	
fosforillo	
pechiche	
humiti batea	
yunyun	
copal	
characaspi	
morete	