

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



DENOMINACIÓN DEL TÍTULO A OBTENER

Ingeniera Ambiental

TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“Servicios ecosistémicos del recurso suelo bajo distintos usos de la tierra en agroecosistemas de la cuenca alta del río Napo”

AUTOR (A):

Katherin Solange Gaibor Rivera

DIRECTOR:

Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina, PhD

PUYO – PASTAZA – ECUADOR

2018

DECLARACIÓN DE LA AUTORÍA Y SESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe, Katherin Solange Gaibor Rivera portadora de la cédula de identidad 160066246-2, hago constar que soy la Autora del Proyecto de Investigación con el Título: “Servicios ecosistémicos del recurso suelo bajo distintos usos de la tierra en agroecosistemas de la cuenca alta del río Napo”, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del asesor Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina, PhD. En tal sentido, se manifiesta la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de las conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo, a la vez cedemos los derechos a la Universidad Estatal Amazónica que puede realizar publicaciones sobre la misma así como su almacenamiento tanto en medio físico y electrónico.

En la ciudad de Puyo a los 11 días del mes de Julio del 2018

Srta. Katherin Solange Gaibor Rivera
AUTORA

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Yo, Carlos Alfredo Bravo Medina, con número de cedula 1757015373 certificó que la egresada Katherin Solange Gaibor Rivera realizó el Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado: “Servicios ecosistémicos del recurso suelo bajo distintos usos de la tierra en agroecosistemas de la cuenca alta del río Napo”, previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental bajo mi supervisión.

Dr. Carlos A. Bravo Medina, PhD

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Al finalizar este proyecto de investigación primeramente quiero agradecer a Dios por darme la fuerza y el valor necesario para seguir adelante, por haberme puesto en el camino aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres por ser el pilar fundamental para alcanzar mis sueños y sobre todo por su incondicional apoyo en mi educación tanto académica, como de la vida. Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor. A mis hermanos por el apoyo, la paciencia, los consejos, las risas, las peleas, los abrazos y sobre todo por ese amor único y especial.

A mis mejores amigos Fanny Cando y Gonzalo Tomalá, dos personas muy especiales e importantes, que durante mi etapa universitaria han estado en las buenas y en la malas, gracias por los momentos compartidos, por todo el cariño brindado y demostrarme que la verdadera amistad existe. A pesar de que ahora cada quien tomara caminos diferentes siempre los voy a recordar mis pequeños demonios.

Al Dr. Carlos Bravo por el valioso aporte como tutor, que gracias a sus conocimientos y experiencias en el campo de la investigación he podido alcanzar el objetivo propuesto en este proyecto.

A la Universidad Estatal Amazónica y a los maestros que gracias a su gran apoyo, experiencia, consejos y conocimientos brindados, hoy estoy cumpliendo una meta más en mi vida.

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a Dios por darme la oportunidad de vivir, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente para culminar una etapa más en mi vida.

A mi madre Narciza, por estar siempre conmigo en todo momento, por ser una amiga, una compañera que me ha ayudado a crecer. Gracias por la paciencia que has tenido, por el cuidado, por los regaños que merecía y que no entendía, por el amor que me das, por esos abrazos sinceros que me hacen sentir protegida. Tu eres la reina de mi vida que a pesar de tantas caídas jamás se dio por vencida, eres un ejemplo a seguir, admiro mucho esa valentía y fortaleza que tienes, doy las gracias por la mujer que escogieron para ser mi madre, sabes que en mi vida eres uno de los pilares más fuertes, y que sin ti mi vida no tendría sentido.

A mi padre Aníbal, que a pesar de nuestra distancia tengo tu apoyo incondicional, sé que siempre estas orgulloso y celebras de todo lo que he logrado, así que papi ya tienes un triunfo más por el cual celebrar y sentirte orgulloso. Me has enseñado que la vida es hermosa y que debo seguir mi camino con honestidad, alegría, principios y sobre todo cumplir mis metas. Eres el mejor papá que me ha demostrado que no le importa lo que tenga que hacer con tal de verme sonreír, a pesar de que ya soy una adolescente sigo siendo la niña de tus ojos y tu mi príncipe azul.

A mis hermanos Karen y Kevin que son las personas más importantes en mi vida, que sin importar las circunstancias siempre me están apoyando en cada reto que me propongo. Gracias por ser mis cómplices y sobre todo por compartir conmigo esta etapa más de mi vida.

A ti mi muñeca Naia por ser ese angelito que llego a nuestras vidas para regalarnos sonrisas con tu inocencia.

Gracias familia por el apoyo brindado en esta nueva etapa y ser ese pilar del que me he sostenido en los momentos más complicados de mi vida.

Resumen

A los servicios ecosistémicos se los considera como un sistema productivo, que benefician a los seres humanos. El suelo es uno de los primeros componentes alterados debido al crecimiento y expansión de la población que ha ocasionado un fuerte deterioro de los ecosistemas disminuyendo la posibilidad de ofrecer mejores servicios ambientales ya que dejan de proporcionar beneficios necesarios para el mantenimiento de la calidad de vida de la población. En el presente trabajo se realizan estudios de la caracterización de servicios ecosistémicos como la fertilidad del suelo, el potencial de secuestro de carbono, y el contenido de carbono orgánico total en el suelo junto con la caracterización física y química en varios usos del suelo (Chakra, Ganadería, Papa China, Caña de Azúcar y Bosque) en comunidades pertenecientes a la cuenca alta del río Napo. Los resultados de la caracterización del recurso suelo indican adecuadas propiedades físicas con alta porosidad, baja densidad aparente que favorece la distribución, penetración de raíces y agua. En los parámetros químicos el suelo en los distintos usos mostró altos niveles de materia orgánica, pH ácidos y baja disponibilidad de nutrientes, en relación a los valores ecosistémicos de fertilidad de suelo y captura de carbono se obtienen valores económicos altos en los cuales las comunidades pueden aprovechar ese valor económico, en el ámbito ambiental estos valores altos de captura de carbono especialmente en el bosque se podrían aprovechar a futuro para la disminución de la contaminación por gases de efecto invernadero.

Palabras claves: Fertilidad del Suelo, Captura de Carbono, Servicio Ecosistémico, Usos de Suelo, Agroecosistemas.

Abstract

Ecosystem services are considered as a productive system, which benefit human beings. Soil is one of the first components altered due to the growth and expansion of the population that has caused a strong deterioration of the ecosystems reducing the possibility of offering better environmental services as they stop providing necessary benefits for the maintenance of the quality of life of the population. In the present work, studies are carried out on the characterization of ecosystem services such as soil fertility, carbon sequestration potential, and the total organic carbon content in the soil together with the physical and chemical characterization in several land uses (Chakra, Livestock, Chinese Potato, Sugar Cane and Forest) in communities belonging to the upper basin of the Napo River. The results of the characterization of the soil resource indicate adequate physical properties with high porosity, low bulk density favoring distribution, root penetration and water. In the chemical parameters the soil in the different uses showed high levels of organic matter, acidic pH and low availability of nutrients, in relation to the ecosystemic values of soil fertility and carbon capture, high economic values are obtained in which the communities can take advantage of this economic value, in the environmental field, these high values of carbon capture, especially in the forest, could be exploited in the future to reduce greenhouse gas pollution.

Keywords: Soil Fertility, Carbon Capture, Ecosystem Service, Land Uses, Agroecosystems.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema de investigación.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II.....	4
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2.1 Aspectos generales de los servicios ecosistémicos.....	4
2.2 Los servicios ecosistémicos.....	4
2.2.1 Los Directos.....	4
2.2.2 Los Indirectos.....	5
2.3 Funciones de los servicios ecosistémicos.....	5
2.3.1 Escenario indispensable para los ciclos biogeoquímicos.....	5
2.3.2 Almacenamiento o fijación de carbono.....	6
2.3.3 Almacenamiento y filtración de agua.....	6
2.3.4 Reserva de biodiversidad.....	6
2.3.5 Depósito del patrimonio geológico y arqueológico.....	6
2.3.6 Entorno físico y cultural para la humanidad.....	6
2.4 Tipos de usos de la tierra.....	7
2.4.1 Chakra.....	7
2.4.2 Caña de Azúcar.....	7
2.4.3 Papa China.....	8
2.4.4 Pasto (Ganadería).....	8
2.4.5 Bosque.....	8
2.5 Calidad del suelo y sus indicadores.....	8
2.5.1 Indicadores físicos.....	9
2.5.2 Indicadores químicos.....	10
2.5.3 Indicadores biológicos.....	10
2.6 Sistemas agrícolas.....	10
2.7 Agroecosistemas.....	10
2.8 Agricultura.....	11

CAPÍTULO III	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Localización del área de estudio.....	12
3.2 Tipo de investigación.....	13
3.3 Métodos de investigación	13
3.4 Diseño de la investigación	14
3.4.1 Evaluación de la calidad del suelo bajo diferentes usos.....	14
3.4.2 Muestreo de campo.....	15
3.5 Mediciones experimentales.....	16
3.5.1 Análisis físicos.....	16
3.5.2 Análisis químicos	16
3.6 Secuestro de carbono en el suelo	16
3.7 Recursos humanos y materiales	17
CAPÍTULO IV	18
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1 Caracterización física del recurso suelo bajo distintos usos del suelo en las comunidades Boayacu y Unión Llandia.....	18
4.2 Parámetros físicos	18
4.2.1 Densidad aparente (Da)	19
4.2.2 Conductividad hidráulica saturada (Ksat)	21
4.2.3 Porosidad total (Pt).....	23
4.2.4 Porosidad de aireación (Pa).....	25
4.2.5 Porosidad de retención (Pr)	27
4.3 Caracterización química del recurso suelo bajo distintos usos del suelo en las comunidades Boayacu y Unión Llandia.....	29
4.4 Parámetros químicos.....	29
4.4.1 Carbono orgánico total (COT).....	30
4.4.2 pH.....	32
4.4.3 Acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+1}$).....	34
4.4.4 Aluminio intercambiable (Al^{+3}).....	36
4.4.5 Fósforo (P).....	38
4.4.6 Potasio (K).....	40
4.4.7 Calcio (Ca).....	42
4.4.8 Magnesio (Mg)	44

4.4.9	C de Hojarasca.....	46
4.5	Potencial de secuestro de carbono bajo distintos usos del suelo	48
4.5.1	Boayacu y Unión Llandia.....	48
4.6	Valoración económica de fertilidad del suelo y CO ₂ equi como servicio ecosistémico bajo distintos usos del suelo.....	49
4.6.1	Valoración económica de fertilidad del suelo como servicio ecosistémico bajo distinto usos del suelo.....	49
4.6.2	Valoración económica del CO ₂ equi como servicio ecosistémico bajo distintos usos del suelo.	50
4.7	Parámetros estandarizados	52
CAPITULO V		53
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
5.1	Conclusiones.....	53
5.2	Recomendaciones	54
CAPÍTULO VI.....		55
6.	BIBLIOGRAFIA	55
CAPÍTULO VII.....		61
7.	ANEXOS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Puntos de ubicación de las comunidades Boayacu y Unión Llandia.....	12
Figura 2. Esquema de muestreo sistemático para el estudio de suelo, vegetación y biodiversidad en cada uso del suelo seleccionado.....	13
Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo de las fincas en la comunidad Boayacu.	14
Figura 4. Ubicación de los puntos de muestreo de las fincas en la comunidad Unión Llandia.....	15
Figura 5. Valores de la densidad aparente (D_a) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.	20
Figura 6. Valores de la densidad aparente (D_a) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.	20
Figura 7. Valores de la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.....	22
Figura 8. Valores de la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.....	22
Figura 9. Valores de la porosidad total (P_t) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.....	24
Figura 10. Valores de la porosidad total (P_t) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.....	24
Figura 11. Valores de la porosidad de aireación (P_a) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.	26
Figura 12. Valores de la porosidad de aireación (P_a) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.	26
Figura 13. Valores de la porosidad de retención (P_r) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.	28
Figura 14. Valores de la porosidad de retención (P_r) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.	28
Figura 15. Valores del carbono orgánico total (COT) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.	31
Figura 16. Valores del carbono orgánico total (COT) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.	31

Figura 17. Valores del pH en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.	33
Figura 18. Valores del pH en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.	33
Figura 19. Valores de la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+1}$) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.	35
Figura 20. Valores de la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+1}$) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.	35
Figura 21. Valores del aluminio intercambiable (Al^{+3}) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.	37
Figura 22. Valores del aluminio intercambiable (Al^{+3}) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.	37
Figura 23. Valores del fósforo (P) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.	39
Figura 24. Valores del fósforo (P) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.	39
Figura 25. Valores del potasio (K) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.	41
Figura 26. Valores del potasio (K) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.	41
Figura 27. Valores del calcio (Ca) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.	43
Figura 28. Valores del calcio (Ca) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.	43
Figura 29. Valores del magnesio (Mg) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.	45
Figura 30. Valores del magnesio (Mg) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.	45
Figura 31. Valores del C de Hojarasca en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.	47
Figura 32. Valores del C de Hojarasca en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales y equipos utilizados en el proyecto de investigación.....	17
Tabla 2. Valores óptimos para evaluar los parámetros físicos	18
Tabla 3. Valores obtenidos en los parámetros físicos del suelo a una sola profundidad bajo distintos usos del suelo en la comunidad Boayacu y Unión Llandia.....	19
Tabla 4. Niveles críticos para evaluar los parámetros químicos.	29
Tabla 5. Valores obtenidos en los parámetros físicos del suelo a una sola profundidad bajo distintos usos del suelo en la comunidad Boayacu y Unión Llandia.....	30
Tabla 6. Secuestro de carbono en diferentes usos del suelo en la comunidad de Boayacu.	48
Tabla 7. Secuestro de carbono en diferentes usos del suelo en la comunidad Unión Llandia.	49
Tabla 8. Valor económico de la fertilidad del suelo como servicio ecosistémico en la comunidad Boayacu.	50
Tabla 9. Valor económico de la fertilidad del suelo como servicio ecosistémico en la comunidad Unión Llandia.	50
Tabla 10. Valor económico del CO ₂ equi como servicio ecosistémico en la comunidad Boayacu.	51
Tabla 11. Valor económico del CO ₂ equi como servicio ecosistémico en la comunidad Unión Llandia.....	51
Tabla 12. Resultados de los valores promedios en los análisis físicos del suelo en las comunidades de Boayacu y Unión Llandia, en relación con los parámetros estandarizados de Pla, (2010).....	52
Tabla 13. Resultados de los valores promedios en los análisis químicos del suelo en las comunidades de Boayacu y Unión Llandia, en relación con los parámetros estandarizados de INIAP, (2015).	52

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La Región Amazónica Ecuatoriana tiene una superficie de 116,441 km² y representa casi el 45% de territorio nacional, con bosques naturales y la extraordinaria biodiversidad que dan un ecosistema de gran interés local y global. Posee una población de 650000 habitantes con un 70% de colonos y un 30% de indígenas nativos, cuenta con una precipitación anual que va de 2500 a 6000 mm anuales. La Provincia de Pastaza empieza en las alturas de la cordillera oriental, cuenta con una temperatura media entre los 18 y 24°C y su clima es cálido y húmedo (Martín & Pérez, 2009).

El suelo es un recurso natural finito y no renovable que presta servicios ecosistémicos o ambientales, el suelo es el asiento natural para la producción de alimentos y materia prima de los cuales depende la sociedad, por lo tanto debe haber un manejo adecuado del mismo, para poder preservar los servicios ecosistémicos, regular el clima y tener una mejor producción de alimentos (Orjuela, 2016).

El suelo es uno de los primeros componentes alterados debido al crecimiento y expansión de la población que ha ocasionado un fuerte deterioro de los ecosistemas disminuyendo su posibilidad de ofrecer mejores servicios ambientales ya que dejan de proporcionar beneficios necesarios para el mantenimiento de la calidad de vida de la población (Cram *et al.*, 2008).

El incremento de la población ha generado la alteración del uso del suelo, provocando que las áreas forestales se conviertan en zonas para la agricultura y pastizales, lo cual genera una degradación que produce la pérdida de la capacidad productiva del suelo, afectando al 20% de tierras agrícolas, 30% de bosques y un 10% de los pastizales en muchas partes del mundo (Sarandón & Flores, 2014).

El suelo en la Provincia de Pastaza pertenece al orden Inceptisol (78,6%), seguido por el Entisol, Histosol y Molisol. Los Andepts se han desarrollados a partir de las cenizas volcánicas, estos suelos están bien drenados con una alta retención de humedad y materia orgánica, el pH generalmente ácido y fertilidad variable (Bravo *et al.*, 2015).

En Pastaza la mayoría de los suelo están compuestos por bosques primarios y grandes explotaciones agrícolas, estas ocupan el segundo lugar con el 11% en las fincas, el 60%

en áreas con uso agropecuario, lo cual acelera el proceso de deforestación provocando la degradación de los suelos por el mal manejo (Castillo, 2015).

Sin embargo, debido a malas prácticas, los suelos pueden ser deteriorados y empobrecidos, producto de procesos de erosión, pérdida de cobertura forestal, aumentando la escorrentía superficial del agua. La deforestación afecta al ciclo hidrológico, reduciendo la evapotranspiración y produciendo una disminución de los caudales, especialmente en regiones de la amazonia (Altamirano & Lara, 2010).

La degradación de la cuenca hidrográfica del río Napo genera la pérdida de valor, reduce las oportunidades económicas e incrementa los problemas sociales. Un manejo integrado de las cuencas hídricas involucra dos acciones una de ellas es orientar al aprovechamiento de los recursos naturales (usarlos, transformarlos y consumirlos) para contribuir al crecimiento económico y la otra orientarlas a manejarlos (conservarlos, recuperarlos y protegerlos) con el fin de asegurar la sustentabilidad del ambiente (Ferrer & Torrero, 2015).

1.1 Problema de investigación

La deforestación y el avance de la frontera agrícola son los principales factores que contribuyen al deterioro de los recursos naturales como el suelo, la vegetación y por tanto reducen la capacidad de los agroecosistemas y sistemas naturales de prestar servicios ecosistémicos en la comunidad de Boayacu y Unión Llandia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Caracterizar los servicios ecosistémicos del recurso suelo bajo distintos usos de la tierra en agroecosistemas de la cuenca alta del río Napo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analizar los parámetros físicos y químicos asociados a la fertilidad del suelo en distintos agroecosistemas.
- Determinar el potencial de secuestro de carbono mediante el contenido de carbono orgánico total en el suelo.
- Determinar el servicio ecosistémico proporcionado por la fertilidad y el secuestro de carbono orgánico como base para una propuesta de modelo de gestión sustentable.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Aspectos generales de los servicios ecosistémicos

A pesar de los avances en la investigación en el enfoque de servicios ecosistémicos, muy pocos de estos estudios están enmarcados en un diseño de un proceso social que permita gestionar dichos servicios de manera efectiva. El modelo operacional propuesto se soporta en la relevancia social del ejercicio de valoración, la investigación inspirada en los usuarios, el empoderamiento de los actores y el manejo adaptativo apropiado por organizaciones para el aprendizaje (Cowling *et al.*, 2008).

2.2 Los servicios ecosistémicos

Son todos los beneficios y servicios que las poblaciones humanas reciben de un ecosistema para proporcionar bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas directas o indirectamente, siendo el ecosistema la unidad funcional básica de la naturaleza donde interactúan los componentes bióticos (plantas, animales, microorganismos) y abióticos (agua, suelo, nutrientes, atmosfera) (Hernández *et al.*, 2017). Dichos servicios presentan una serie de beneficios que según Rodríguez *et al.*, (2016) pueden ser de dos tipos: directos e indirectos.

2.2.1 Los Directos

Se consideran beneficios directos a la producción de provisiones o bienes.

- **Servicios de provisión**

Son productos referidos a la cantidad de bienes o materia prima que ofrece un ecosistema y que pueden ser cosechados tales como la comida, madera y agua.

- **Servicios de regulación**

Papel que desempeñan los ecosistemas en la regulación de los procesos ecológicos, que ayudan a reducir ciertos impactos locales y globales tales como la regulación del clima y

el ciclo del agua, el control de la erosión del suelo, la polinización en los cultivos y las enfermedades.

2.2.2 Los Indirectos

Los beneficios indirectos se relacionan con el funcionamiento de procesos del ecosistema que genera los servicios directos.

- **Servicios culturales**

Son beneficios no materiales proporcionados por los ecosistemas como las actividades recreacionales, valores espirituales y culturales.

- **Servicios de apoyo**

Tales como el proceso de fotosíntesis, almacenamiento de materia orgánica, el ciclo de nutrientes y la neutralización de desechos tóxicos.

2.3 Funciones de los servicios ecosistémicos

El suelo como parte de los ecosistemas y agroecosistemas, cumplen distintas funciones que según Ugalde *et al.*, (2018) se pueden resumir de la siguiente manera.

Producción de alimentos y biomasa: es el soporte y suministro de nutrientes para las plantas con la finalidad de producir alimentos y biomasa en general.

2.3.1 Escenario indispensable para los ciclos biogeoquímicos

Estos ciclos ocurren en la naturaleza y son mecanismos indispensables para que haya condiciones estables en la Tierra. Los sistemas naturales de la tierra, para disponer consecutivamente de los materiales que se presentan en cantidades limitadas, han desarrollado ciclos que los proveen de nuevo y los re circulan, como es el ciclo del agua, del carbono, y los ciclos biogeoquímicos: nitrógeno y fósforo, sin estos ciclos no se daría el paso continuo de los elementos químicos de los sistemas vivos del planeta a otros que no lo son.

2.3.2 Almacenamiento o fijación de carbono

La fijación del carbono impide que el CO₂ vaya a la atmósfera, siendo este uno de los gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático. Gracias a la intermediación de las plantas y de los organismos del suelo, el carbono se transforma en materia orgánica y se acumula en el suelo por extensos periodos de tiempo, el suelo es el mayor sumidero de carbono en la naturaleza.

2.3.3 Almacenamiento y filtración de agua

El suelo capta, infiltra y almacena el agua en el ciclo hidrológico, permitiendo así la recarga de los acuíferos, en esta parte el suelo influye en la calidad del agua, ya que reduce y atrapa ciertos contaminantes que impide que lleguen a las reservas de agua. En esas circunstancias el suelo tiende a modular indirectamente la temperatura y la humedad, por lo tanto puede incidir en la mejora del aire.

2.3.4 Reserva de biodiversidad

El suelo es una de las reservas más importantes de la biodiversidad, por la gran cantidad de organismos que viven en la superficie y al interior del mismo. Los servicios ecosistémicos que nos brinda el suelo van a depender de las complejas comunidades de organismos presentes en este medio.

2.3.5 Depósito del patrimonio geológico y arqueológico

La mayor parte de los restos que dan a conocer la herencia humana y la historia ambiental reciente de la Tierra se encuentra en el suelo. La conservación del patrimonio geológico y arqueológico va a depender de los procesos de formación y degradación del suelo. Esto se relaciona con los efectos de las actividades biológicas, la circulación del agua y las acciones humanas en la intervención del suelo.

2.3.6 Entorno físico y cultural para la humanidad

El suelo es un elemento del paisaje y patrimonio cultural, que sirve de base para las actividades humanas que permite a los seres humanos que tengan a su disposición alimentos, espacio y hábitat. Debido a la aparición de los servicios ambientales el suelo no solo permite que las personas dispongas de alimentos, ya que este recurso adquiere la

categoría de “bien social” por la misma razón amerita su conocimiento por parte de la sociedad para que lo valoren, lo protejan y lo conserven. Al suelo se lo debe conocer y respetar para realizar el mejor uso posible de este recurso.

2.4 Tipos de usos de la tierra

La evaluación de la aptitud de tierras y su productividad potencial se hace en relación a un tipo específico de uso de tierras bajo ciertas condiciones de producción. En base a ello, los tipos de utilización de tierras basados en su uso actual y potencial deben estar claramente identificados y descritos de manera que sirva para estudiar los efectos que produce el cambio de uso. El uso y manejo que se realiza en el suelo provoca con mayor frecuencia la alteración de sus propiedades que determina una pérdida de su capacidad productiva, su fertilidad, de sus posibles usos y aprovechamientos, hasta la pérdida del suelo mismo como elemento fundamental del medio natural. El suelo puede llegar a una pérdida de calidad tan acentuada que conlleva a la pérdida de hábitat, diversidad biológica, servicios ambientales y capacidad productiva de los ecosistemas (Hernández *et al.*, 2010). Se señala como ejemplos de usos de la tierra a los siguientes:

2.4.1 Chakra

La chakra es un pedazo de tierra destinado al cultivo de productos alimenticios para el consumo doméstico, manejada con criterios de agricultura limpia donde integran varios componentes en los cuales se aplican buenas practicas agropecuarias. En la chakra las familias armas estrategias tanto para el mercado como para la subsistencia, tales atributos lo definen como un sistema prioritario de uso sostenible de la tierra Amazónica (Grijalva *et al.*, 2011).

2.4.2 Caña de Azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una planta proveniente del sureste asiático, la provincia de Pastaza es una de las principales productoras de la caña de azúcar y de sus derivados tales como la obtención de panela (granulada y bloques), miel, jugos y agua ardiente, dando así una oportunidad de acceso al mercado, la producción de sus derivados es rentable para los transformadores (Salazar, 2012).

2.4.3 Papa China

La papa china (*Colocasia esculenta*) se originó al sur de Asia Central, actualmente en Pastaza es la especie más cultivada se está cultivando a gran escala para exportaciones en forma de frituras, también tiene usos no gastronómicos como por ejemplo las hojas son utilizadas por la nacionalidad Kichwa como impermeabilizante para las vasijas de barro. La papa china es un cultivo de clima cálido, que requiere de altas precipitaciones y bien distribuidas para obtener mejores resultados, es un cultivo que se siembra y se desarrolla sin mayor mano de obra (Lozada, 2005).

2.4.4 Pasto (Ganadería)

El avance de la ganadería está aportando a la reducción de la cobertura boscosa como factor del deterioro ambiental, con áreas de pasturas en proceso de degradación. El suelo puede ser afectado por el estiércol si contiene altas concentraciones de nutrientes, microorganismos patógenos. El pisoteo, la defoliación y el retorno de nutrientes por los animales pueden considerarse como los principales efectos causados en el ecosistema de pastizales por el pastoreo (Siavosh *et al.*, 2000). La ganadería puede conservar la fertilidad del suelo, en los sistemas cerrados de granjas mixtas ya que pueden renovar una fracción sustancial de los nutrientes del suelo y reducir la necesidad de usar fertilizantes inorgánicos (Sadeghian, 2016).

2.4.5 Bosque

Hoy en la actualidad se reconoce la importancia de los bosques tropicales como fuente de productos forestales y servicios ambientales. La destrucción de los bosques primarios está acompañado por la expansión de los bosques secundarios, estos bosques también son capaces de proporcionar algunos de los servicios económicos y ecológicos de los bosques primarios, por lo tanto se ha fomentado una nueva estrategia para aumentar el valor de los bosques secundarios para agricultores y ganaderos para motivarles a conservar estos bosques (Smith *et al.*, 1997).

2.5 Calidad del suelo y sus indicadores

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre que está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. El suelo es un

recurso indispensable para la vida ya que es la base fundamental para el desarrollo de las plantas, los animales y el hombre. La producción de los alimentos va a depender de un alto porcentaje del uso que se le da al suelo (García *et al.*, 2012).

Bajo esta perspectiva tanto la calidad como la fertilidad de suelo son atributos importantes desde el punto de vista de los servicios de soporte que el suelo puede brindar (Power, 2010). En el caso de la calidad del suelo se considera como una medida de su capacidad para funcionar adecuadamente en relación con un uso específico, y tiene la capacidad para funcionar dentro de un ecosistema natural o antrópico para mejorar la productividad (Quintero, 2013), mientras que la fertilidad el suelo es aquella que proporciona cantidades adecuadas de nutrientes suficientes al cultivo para el crecimiento de las plantas y obtener un mayor rendimiento y calidad del cultivo (Huerta *et al.*, 2008).

Ambos atributos dependen de un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas, por lo cual dichas propiedades edáficas pueden ser empleadas como mecanismos de análisis para determinar si los actuales sistemas de manejo conservan, mejoran o degradan el suelo (Quintero, 2013).

Bajo este contexto los indicadores de la calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas. Las principales funciones que tienen los indicadores es analizar la situación actual de los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible, analizar los posibles impactos antes de una intervención, monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas y determinar si el uso del recurso es sostenible (Cruz *et al.*, 2004). Al respecto se describen diferentes indicadores, tales como:

2.5.1 Indicadores físicos

Los indicadores físicos se encuentran relacionados con el tamaño, la disposición y el arreglo de las partículas del suelo. Tienen características físicas que son utilizadas como indicadores de la calidad de suelo, tales como la porosidad, la densidad aparente, la resistencia a la penetración, la capacidad de retención de agua, la conductividad hidráulica, la estabilidad y el tamaño de los agregados, la profundidad y la textura (Ingaramo, 2003).

2.5.2 Indicadores químicos

Los indicadores químicos tienen propiedades que afectan la relación suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para plantas y microorganismos. Algunos indicadores son la disponibilidad de carbono orgánico total, pH, conductividad eléctrica, el contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica y los nutrientes (N total, nitratos, amonio, fósforo total y disponible, y potasio) (Gutiérrez & Cardona, 2017).

2.5.3 Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos integran gran cantidad de factores que afectan a la calidad del suelo-planta y a la disponibilidad de nutrientes para los cultivos y microorganismos (Vargas-Machuca, 2010). También la Biomasa como peso equivalente de materia orgánica que existe en un ecosistema forestal por encima y debajo de la superficie del suelo se puede considerar un indicador biológico. En el caso de la biomasa arbórea es importante para conocer la estructura, el funcionamiento y la dinámica de los sistemas forestales y la misma es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco (Montero *et al.*, 2005).

2.6 Sistemas agrícolas

Los sistemas agrícolas debido a su expansión de producción primaria para el consumo humano ha quitado miles de kilómetros cuadrados de bosque con altos recursos genéticos transformando así los extensos bosques en pequeños y dispersos fragmentos de áreas cultivadas, muchos de ellos extintos y otros en peligro de extinción, estos sistemas se están desarrollando sin una dirección predeterminada (Hart, 1985).

2.7 Agroecosistemas

Los agroecosistemas buscan la producción sustentable de alimentos, materias primas, y servicios ambientales, ya que tiene el mayor impacto en nuestras vidas que cualquier otro ecosistema fundamentalmente, contribuyendo al bienestar de la sociedad (Sarandón, 2002).

2.8 Agricultura

La agricultura es un conjunto de actividades desarrolladas por el hombre predestinados a cultivar con la finalidad de obtener variedad de productos para la alimentación del ser humano, la agricultura hoy en día es capaz de alimentar a los siete mil millones de habitantes que sobre poblamos nuestro afligido planeta (Leiva, 2014).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra en las comunidades Boayacu y Unión Llandia, localizada en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz en la ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza (**Figura 1**). Cuenta con una extensión de 97 Km², limita al norte con la parroquia San José perteneciente al cantón de Santa Clara, al sur con las Parroquias Fátima; 10 de Agosto y el Triunfo, al este con la Parroquia el Triunfo; y al oeste con el cantón de Mera. Su clima es cálido húmedo, su temperatura oscila entre los 18° y 24° C, los principales ríos son: Rivadeneira, Anzu, Llandia y Posunyacu.

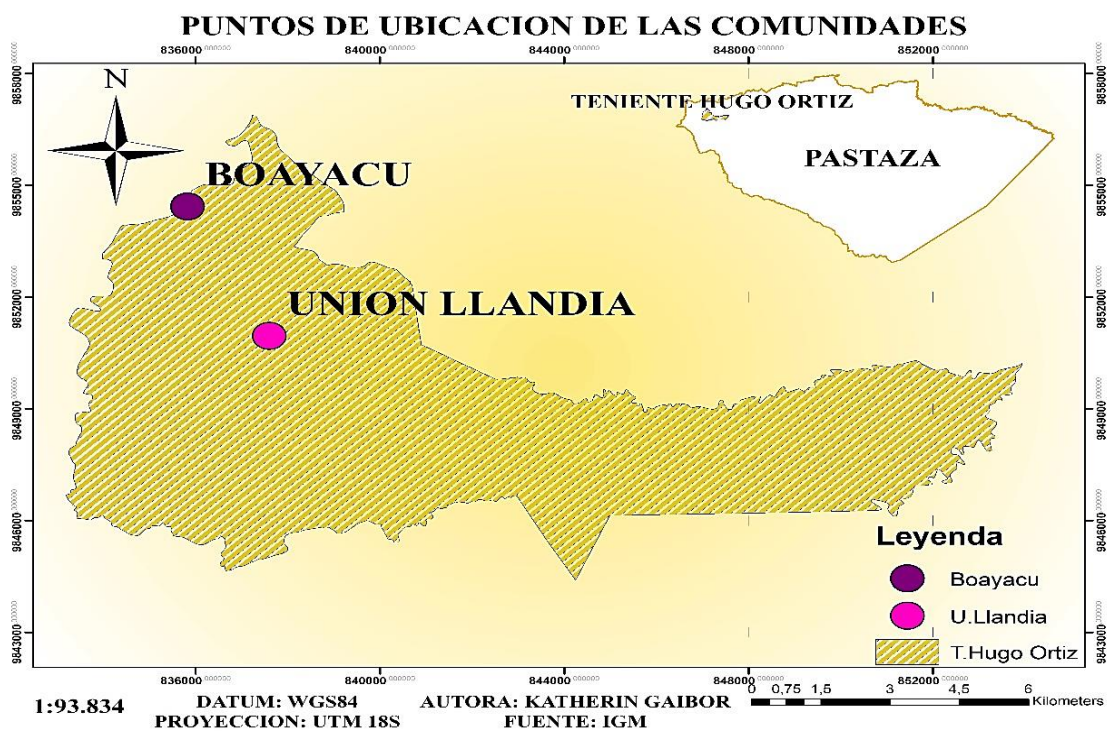


Figura 1. Puntos de ubicación de las comunidades Boayacu y Unión Llandia.

3.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental y exploratoria. En la investigación experimental se realizó análisis in situ y ex-situ donde se midieron variables asociadas a la fertilidad y al secuestro de carbono. En la investigación exploratoria se realizaron análisis económicos para la valorización de los servicios ecosistémicos en los diferentes usos del suelo. Los análisis que se realizaron en la investigación experimental y exploratoria son cuali-cuantitativos en los diferentes puntos de muestreo.

3.3 Métodos de investigación

El método de investigación que se utilizó fue el experimental que consiste en la toma de muestras, análisis en el laboratorio e interpretación de los datos con relación al impacto que tiene el cambio del uso de suelo sobre los parámetros ambientales, las variables que se analizaron fueron (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr, MO, pH, $Al^{+3} + H^{+1}$, Al^{+3} , P, K, Ca, Mg y C de Hojarasca). Para determinar si existen diferencias significativas se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) aplicando el método de comparación de medias de Tukey. Para la extracción de las muestra de campo hacia el laboratorio se siguió la metodología propuesta por Bravo *et al*, 2017 (**Figura 2**).

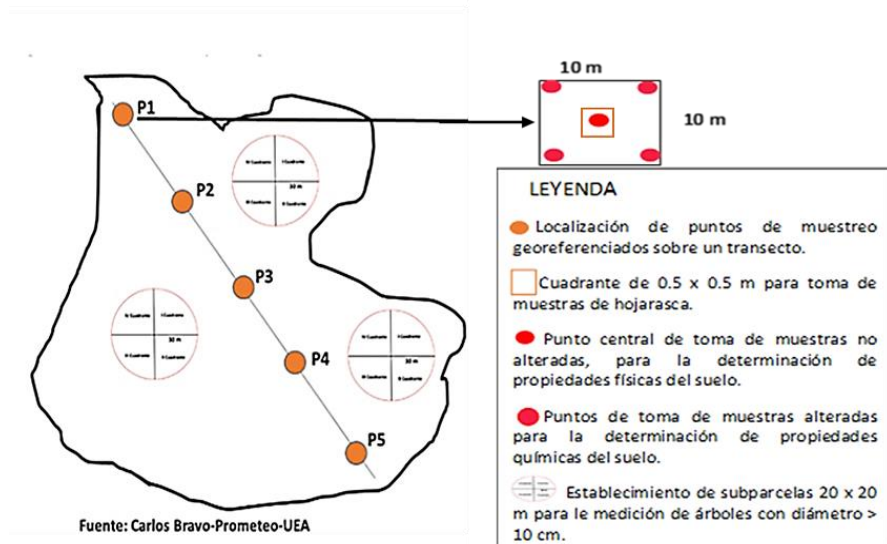


Figura 2. Esquema de muestreo sistemático para el estudio de suelo, vegetación y biodiversidad en cada uso del suelo seleccionado.

3.4 Diseño de la investigación

3.4.1 Evaluación de la calidad del suelo bajo diferentes usos

Para la evaluación de la calidad de suelo se tomaron en cuenta siete diferentes usos del suelo codificados y caracterizados de la siguiente manera: a) **Chakra A** (papa china, yuca, plátano, maíz, cacao), b) **Chakra B** (papa china, cacao), c) **Chakra C** (papa china, plátano, café, caña de azúcar), d) **Ganadería A** posee pastos de (*Brachiaria decumbens*) con árboles, e) **Ganadería B** pasto gramalote (*Axonopus Scoparius*) con árboles, f) **Ganadería C** posee dos clase de pastos (*Brachiaria decumbens*, *Axonopus Scoparius*) y g) **Bosque**.

En las (Figuras 3 y 4) se puede apreciar los diferentes usos de suelo codificados y caracterizados en las dos comunidades.

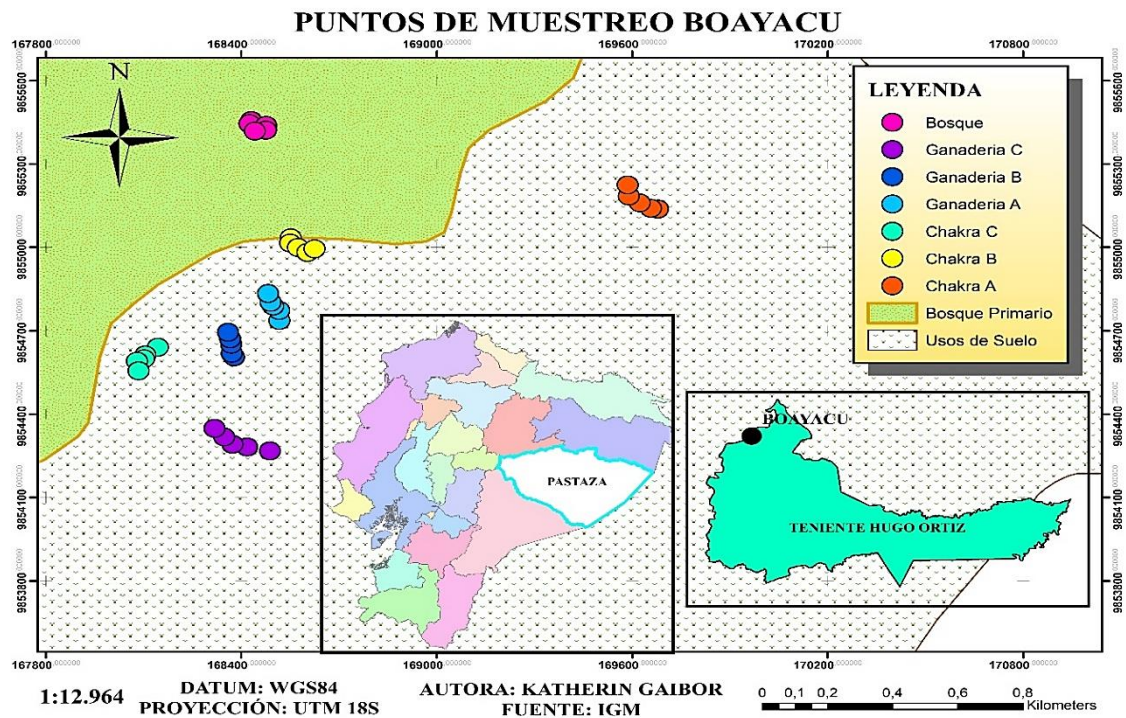


Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo de las fincas en la comunidad Boayacu.

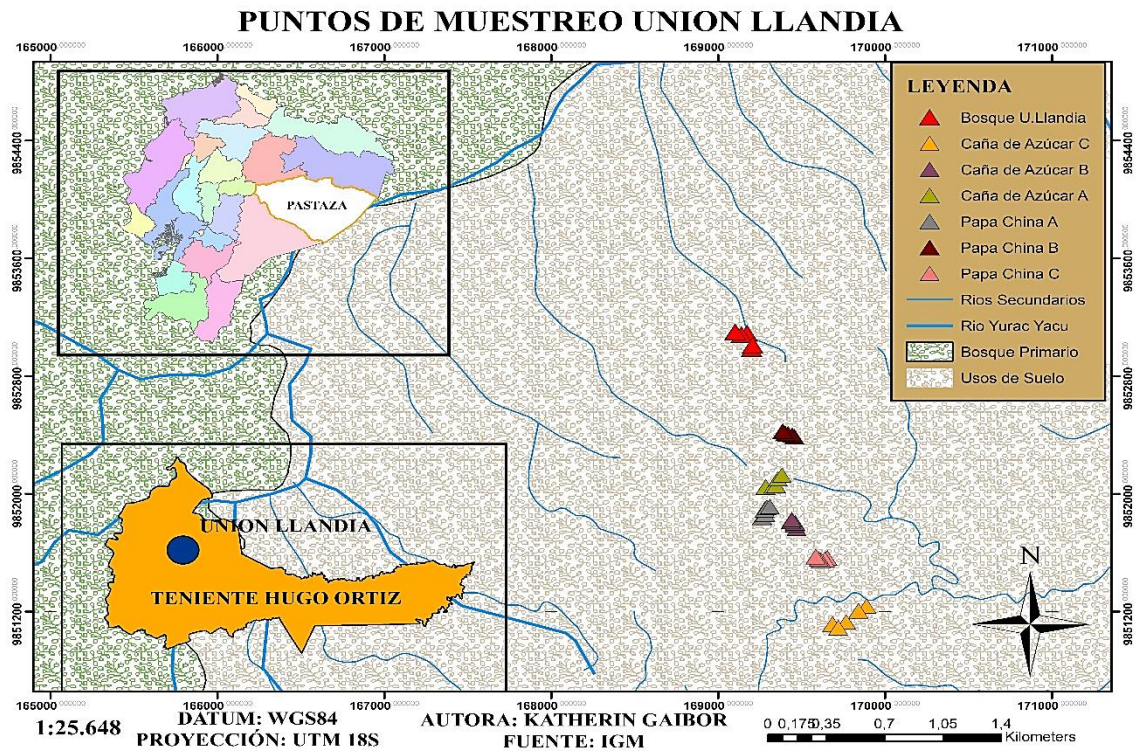


Figura 4. Ubicación de los puntos de muestreo de las fincas en la comunidad Unión Llandia.

3.4.2 Muestreo de campo

En cada uso del suelo seleccionado se realizó un muestreo sistemático estableciendo un transecto (**Figura 2**), siguiendo la secuencia propuesta por Bravo *et al.*, (2015).

En cada transecto se establecieron cinco puntos de muestreo (P1, P2, P3, P4 y P5), de manera equidistante donde se localizó una subparcela de 10 x 10 m, en la cual se recolecto cinco submuestras de suelo a una sola profundidad (0-30 cm); posteriormente se homogenizaron a fin de obtener muestras representativas (**Figura 2**). Dichas muestras conformaron la muestra compuesta por punto para la evaluación de parámetros químicos. Paralelamente en los mismos puntos fue medida la resistencia a la penetración.

En la parte central de la subparcela se colocó un cuadrante (0.5 m²) (**Figura 2**), donde se tomó la muestra de biomasa (hojarasca) y la toma de muestras no alteradas con un barreno tipo Uhland a una sola profundidad (0-30 cm) para la evaluación de parámetros físicos.

En los usos de los suelos con árboles se establecieron tres subparcelas de 20 x 20 m, donde se identificaron y se midieron árboles con diámetros mayores o iguales a 10 cm a la altura del pecho (**Figura 2**).

3.5 Mediciones experimentales

3.5.1 Análisis físicos

Para la determinación de parámetros físicos del suelo se usaron muestras no alteradas con cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con un barreno tipo Uhland, en la cual fueron medidas las siguientes variables: a) densidad aparente (D_a) usando el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986) b) conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) mediante el método de carga variable, siguiendo el método descrito en Pla (2010), c) distribución de tamaño de poros (P_t : porosidad total), d) porosidad de aireación (P_a : poros de radio $>15 \mu m$), e) porosidad de retención usando la mesa de tensión o saturación y a un potencial mátrico de -10 kPa (Blake & Hartge, 1986). La resistencia a la penetración fue medida con un penetrómetro digital de punta cónica en el extremo y con una varilla graduada a distintos intervalos hasta alcanzar una profundidad de 40 cm.

3.5.2 Análisis químicos

El nitrógeno total fue medido por el método de kjeldahl. El pH fue medido por potenciometría (relación suelo-agua 1:2,5), las bases cambiabiles (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1}), contenido de fósforo y microelementos fueron medidos por la metodología de Olsen modificado (Bertsch, 1995).

3.6 Secuestro de carbono en el suelo

Como primer paso se determinó la densidad aparente (D_a) usando el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986). Para ello, se usó cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con un barreno tipo Uhland, y posteriormente se colocó en la estufa a 105 °C por 24 horas para obtener el peso seco del suelo (Pla, 2010).

El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson & Sommers, 1982), para lo cual se realizó una oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$ 1N) con adición de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)

y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por el Cr fue medida por titulación usando una solución de sal de Morh 0.5 N ($H_2SO_4 + FeSO_4 \cdot 7H_2O$).

Con el valor de la densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$), el valor del carbono y la profundidad de cada intervalo de muestreo (0-30 cm) se cuantificó la cantidad total de carbono almacenado en el compartimiento suelo (COS) mediante la siguiente fórmula.

$$COS = Da \times CO \times Profundidad.$$

3.7 Recursos humanos y materiales

En la (Tabla 1) se encuentra la descripción de los materiales, equipos de laboratorio, reactivos y el recurso humano que se utilizó durante el proceso de investigación.

Tabla 1. Materiales y equipos utilizados en el proyecto de investigación.

MATERIALES	EQUIPOS DE LABORATORIO	REACTIVOS	RECURSO HUMANO
Uhland	Probetas	Agua destilada	Equipo de trabajo
Pala	Erlenmeyer	Hexametáfosfato	
Fundas plásticas	Vasos de precipitación	Hidróxido de sodio 0,1N	
Fundas de papel	Balones aforados	Rojo de metilo	
Fundas quintaleras	Papel filtro	Ácido sulfúrico	
Fundas zi-ploc	Balanza analítica	Hidróxido de sodio 10N	
Balanza	Balanza de precipitación	Ácido bórico	
Cuadro de 0,25m ²	Estufa	Ácido etilen-diamino-tetra-acético	
Cilindro de 5cm de diámetro y 5cm de altura	Espectrofotómetro	Carbonato de sodio	
Piola	Peachimetro	Indicador de absorción atómica	
Tijeras	Termómetro	Indicador de absorción atómica	
Navaja	Hidrómetro		
Papel aluminio	Malteadora Industrial		
marcador	Destilador de agua		
GPS	Pipetas		
Machete	Penetrometro		

Elaborado por: KG, (2018)

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización física del recurso suelo bajo distintos usos del suelo en las comunidades Boayacu y Unión Llandia.

En la (**Tabla 2**) se presenta los valores óptimos para la interpretación de los análisis de suelo con respecto a los parámetros físicos.

Tabla 2. Valores óptimos para evaluar los parámetros físicos

Indicador	Unidad de Medida	Valores
Densidad Aparente (Da)	(Mg m ⁻³)	1,20
Conductividad Hidráulica Saturada (ksat)	(cm h ⁻¹)	0,50
Porosidad Total (Pt)	(%)	50,00
Porosidad de Aireación (Pa)	(%)	10,00
Porosidad de Retención (Pr)	(%)	55,00

Fuente: Pla, (2010)

4.2 Parámetros físicos

Los valores promedios de los parámetros físicos se midieron mediante las siguientes variables: densidad aparente (Da), conductividad hidráulica saturada (Ksat), porosidad total (Pt), porosidad de aireación (Pa) y porosidad de retención (Pr) que se encuentran referenciadas en la (**Tabla 3**) mostrando niveles de variación de los diferentes parámetros físicos en las dos comunidades.

Tabla 3. Valores obtenidos en los parámetros físicos del suelo a una sola profundidad bajo distintos usos del suelo en la comunidad Boayacu y Unión Llandia.

Variables/ Tratamiento	Densidad Aparente (Mg m ⁻³)	Conductividad Hidráulica Saturada (cm h ⁻¹)	Porosidad Total (%)	Porosidad de Aireación (%)	Porosidad de Retención (%)
BOAYACU					
Chakra A	0,42	25,74	89,39	13,27	76,12
Chakra B	0,49	41,62	84,30	15,62	68,68
Chakra C	0,54	61,51	84,28	16,01	68,28
Ganadería A	0,48	8,36	87,92	11,10	76,82
Ganadería B	0,48	13,25	90,09	11,03	79,06
Ganadería C	0,43	23,32	85,76	13,96	71,80
Bosque	0,35	81,66	89,55	19,99	69,56
UNION LLANDIA					
Papa China A	0,35	18,87	89,47	14,87	74,60
Papa China B	0,39	30,15	89,80	17,12	72,68
Papa China C	0,42	3,99	89,33	10,63	78,71
Caña de Azúcar A	0,36	15,97	90,77	14,09	76,68
Caña de Azúcar B	0,43	17,04	88,87	12,34	76,53
Caña de Azúcar C	0,31	22,92	94,19	13,84	80,35
Bosque	0,46	44,73	85,43	14,04	71,39

Elaborado por: KG, (2018)

4.2.1 Densidad aparente (Da)

El valor de la densidad aparente (Da) en Boayacu (**Figura 5**), presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) agrupando a los usos del suelo en tres grupos, el grupo a) representado por la Chakra C con un valor de $0,54 \text{ Mg m}^{-3}$, el grupo ab) representado por las Chakras A, B y la Ganadería A, B y C con un rango de $0,42$ a $0,49 \text{ Mg m}^{-3}$ y el grupo c) representado por el Bosque con un valor de $0,35 \text{ Mg m}^{-3}$ (**Tabla 3**), mientras que el valor de la Da en Unión Llandia (**Figura 6**) en la misma profundidad no presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) estableciéndose en un solo grupo con un rango de $0,31$ a $0,46 \text{ Mg m}^{-3}$ (**Tabla 3**). La densidad aparente es la relación de la masa del suelo con el volumen de los sólidos que posee, aunque también tiene una relación con agua-suelo es decir con la porosidad de aireación y la porosidad de retención (Alvarado & Forsythe, 2005). La interpretación en función de la textura del suelo según Álvarez *et al.*, (2009) estableció valores óptimos que oscilan entre $1,35$ a $1,37 \text{ Mg m}^{-3}$, mientras que Duval *et al.* (2015) señala los valores óptimos de densidad aparente para los cultivos que oscilan entre $0,9$ a $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$, de igual manera Pla, (2010) menciona los valores óptimos para suelos de textura fina como el arcilloso de $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ (**Tabla 2**). Los resultados en las dos comunidades indican que los valores obtenidos son menores al valor óptimo establecido, lo cual se considera que los suelos no presentan problemas de compactación.

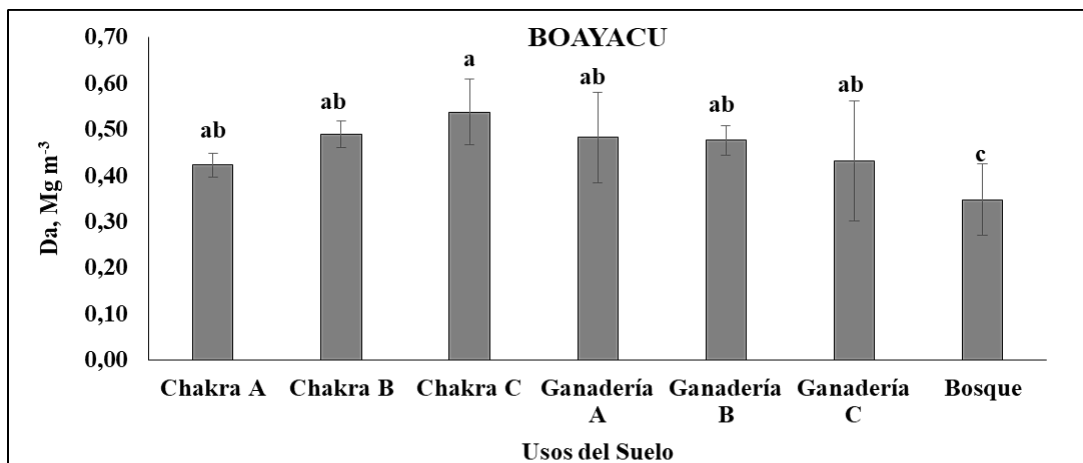


Figura 5. Valores de la densidad aparente (Da) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

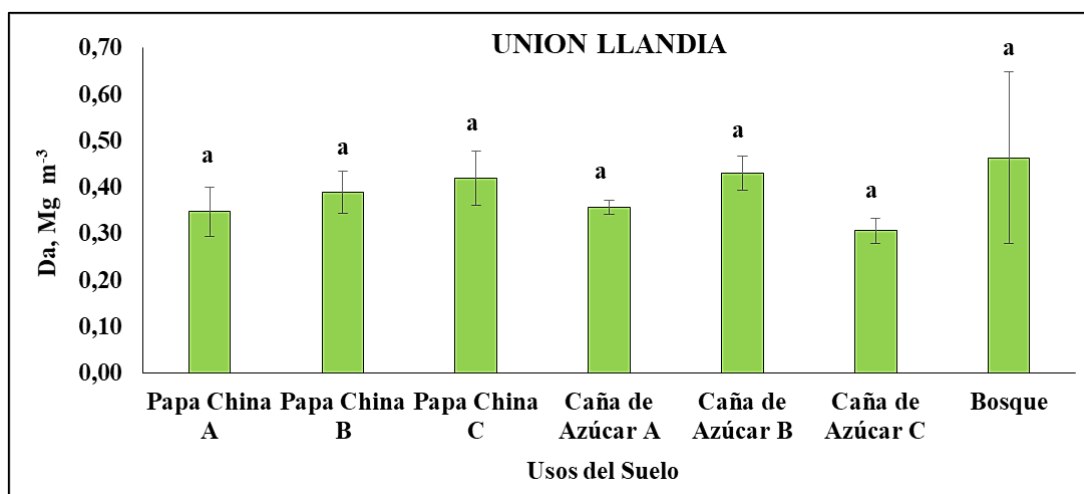


Figura 6. Valores de la densidad aparente (Da) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.2.2 Conductividad hidráulica saturada (Ksat)

Los resultados en las dos zonas de muestreo si presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$), en la conductividad hidráulica satura (Ksat) en Boayacu (**Figura 7**), el Bosque fue el que obtuvo el mayor porcentaje de Ksat con un valor de $81,66 \text{ cm h}^{-1}$, seguido de las Chakras A, B, C y la Ganadería C con valores de 23,32 a $61,51 \text{ cm h}^{-1}$ y por último la Ganadería A, B con valores de 8,36 a $13,25 \text{ cm h}^{-1}$ (**Tabla 3**). De igual manera en Unión Llandia (**Figura 8**) el Bosque fue el que obtuvo la mayor Ksat con un valor de $44,73 \text{ cm h}^{-1}$, seguida de la mayoría de los usos del suelo tales como la Papa China A, B y la Caña de Azúcar A, B, C con un rango de 15,97 a $30,15 \text{ cm h}^{-1}$. Por último el menor porcentaje de Ksat obtuvo la Papa China C con un valor de $3,99 \text{ cm h}^{-1}$ (**Tabla 3**).

La conductividad hidráulica saturada es la que controla las infiltración y las escorrentías superficiales, es un parámetro muy importante en el estudio de suelos ya que ayuda a predecir el comportamiento del agua en el mismo (Rojas *et al.*, 2008). El valor óptimo establecido en esta variable es de $0,5 \text{ cm h}^{-1}$ (**Tabla 2**), cuando la conductividad hidráulica saturada presenta valores inferiores a $0,5 \text{ cm h}^{-1}$ la infiltración del agua se puede limitar.

Al comparar los resultados obtenidos en los dos puntos de muestreo se puede apreciar que todos los valores son mayores al a $0,5 \text{ cm h}^{-1}$, lo que significa que estos tipos de suelos retienen grandes cantidades de agua y a su vez la pueden entregar muy rápidamente por su estabilidad mecánica, este comportamiento está relacionado con la distribución del tamaño de poros (porosidad de aireación) y los bajos valores de la densidad aparente (Dörner *et al.*, 2009).

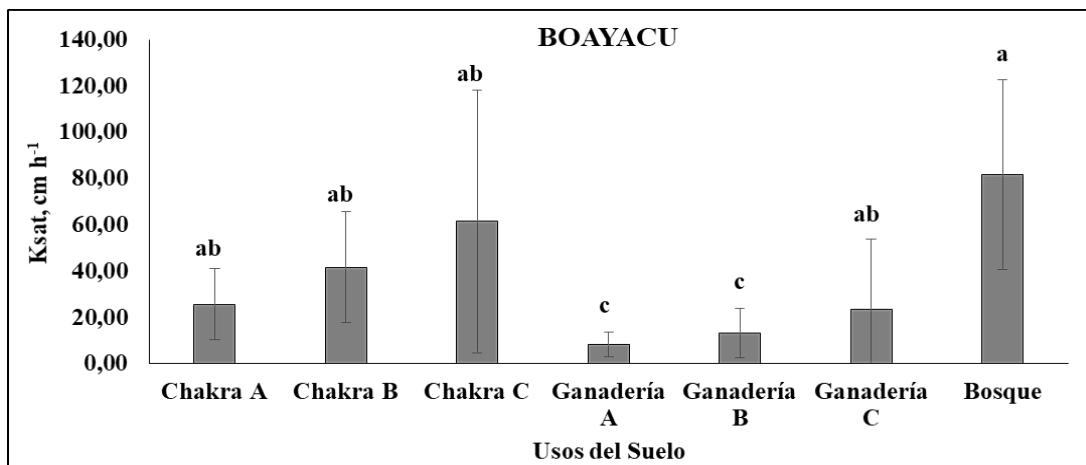


Figura 7. Valores de la conductividad hidráulica saturada (Ksat) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boyacú.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

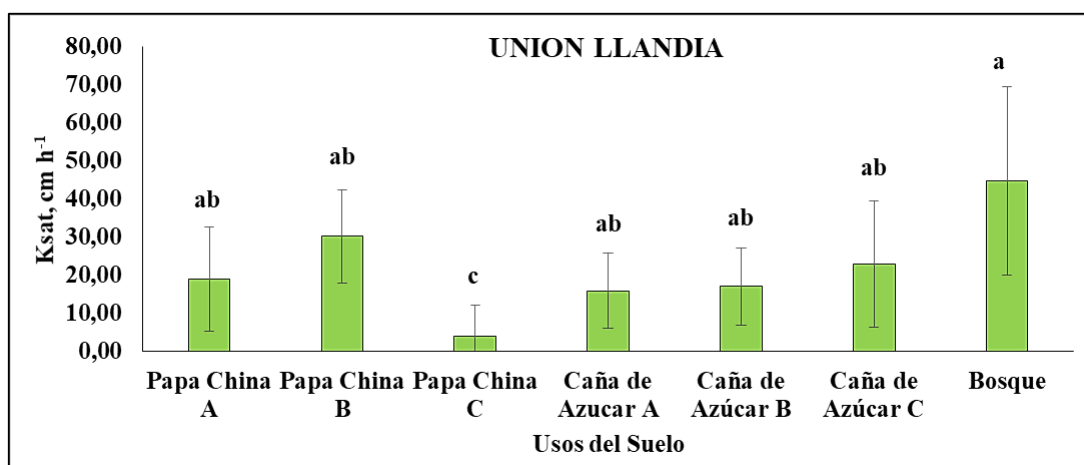


Figura 8. Valores de la conductividad hidráulica saturada (Ksat) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.2.3 Porosidad total (Pt)

La porosidad total (Pt) para Boayacu (**Figura 9**) no presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$), por lo tanto todos los usos del suelo se establecen en un solo grupo con valores que oscilan de 84,28% a 90,02% (**Tabla 3**), en cambio en Unión Llandia (**Figura 10**) si presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$), dando como resultado a la Caña de Azúcar C con el mayor porcentaje de Pt con el valor de 94,19%, seguido de la Papa China A, B, C y la Caña de Azúcar A,B con un rango de 88,97% a 90,77% y por último con el menor valor está el Bosque con el 85,43% (**Tabla 3**).

La porosidad total se define como el total del volumen de los micro y macro poros que existen dentro del cuerpo del suelo este se relaciona con el volumen total del espacios y los canales que se encuentran dentro del suelo (Cueto *et al.*, 2008), según (Cruz-Crespo *et al.*, 2013) la porosidad total es la suma total de los micro y macro poros que tienen como función ambiental de transportar, receptor y almacenar agua, por lo tanto las raíces crecen y son conducidas a la búsqueda de nutrientes y agua.

De acuerdo con estudios realizados se menciona que para la porosidad total mantenga una buena retención de agua y una buena entrada de aire al suelo debe estar por encima del 50% (**Tabla 2**). En las dos comunidades los resultados obtenidos en la porosidad total fueron altos, esto quiere decir que si existe una buena porosidad total y a su vez está vinculada con la capacidad de retención de agua en el suelo y de la superficie específica de cada suelo (Martínez *et al.*, 2008).

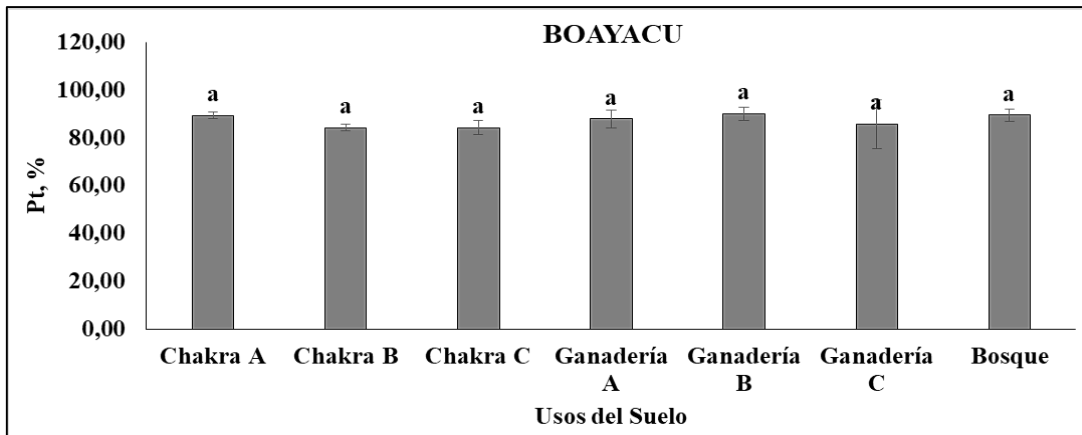


Figura 9. Valores de la porosidad total (Pt) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

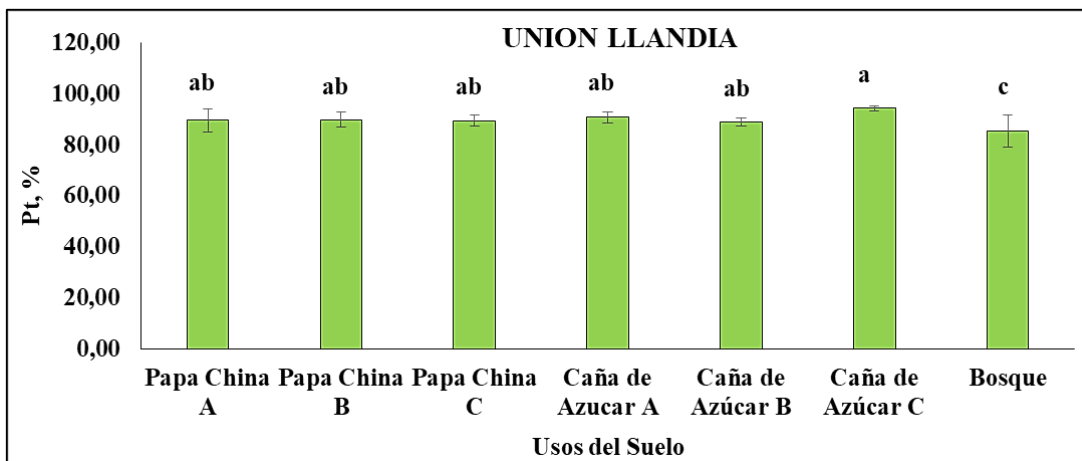


Figura 10. Valores de la porosidad total (Pt) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.2.4 Porosidad de aireación (Pa)

En Boayacu (**Figura 11**) el valor estadístico de la porosidad de aireación (Pa) si mostró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) formando tres grupos a los distintos usos del suelo, grupo a) el Bosque obtuvo el mayor porcentaje de Pa con un valor de 19,99%, el grupo ab) las Chakras A, B, C y la Ganadería C con un rango que oscila de 13,27% a 16,01% y el grupo c) por la Ganadería A y B con una rango de 11,03% a 11,10% (**Tabla 3**). En Unión Llandia (**Figura 12**) el valor de la Pa si mostró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) formando cuatro grupos, el grupo a) con el mayor porcentaje de Pa es la Papa China B con un valor de 17,12%, el grupo ab) formado por Papa China A y Caña de Azúcar A y C con un valor de 13,84% a 14,87%, el grupo b) Caña de Azúcar B con un valor de 12,34% y el grupo c) con menor porcentaje de Pa es el uso de suelo de la Papa China C con un valor de 10,63% (**Tabla 3**).

La porosidad de aireación representa la parte del área porosa del suelo es decir la parte estructural del suelo la cual tiene una relación con la fertilidad del suelo por el crecimiento de las raíces de las plantas que van ocupando los espacios disponibles en el suelo (Cabrera *et al.*, 2008). Según estudios realizados en la porosidad de aireación los valores mayores al 10% no tienen ningún problema de aireación en el suelo (Lozano *et al.*, 2010).

Por lo tanto se ha establecido un valor óptimo del 10% (**Tabla 2**), según los resultados obtenidos de las dos comunidades Boayacu y Unión Llandia todos los valores son mayores, esto representa que en todos los diferentes usos del suelo existe una buena porosidad de aireación ya que tiene un buen drenaje, aireación y recepción de agua para tener un crecimiento normal de las raíces.

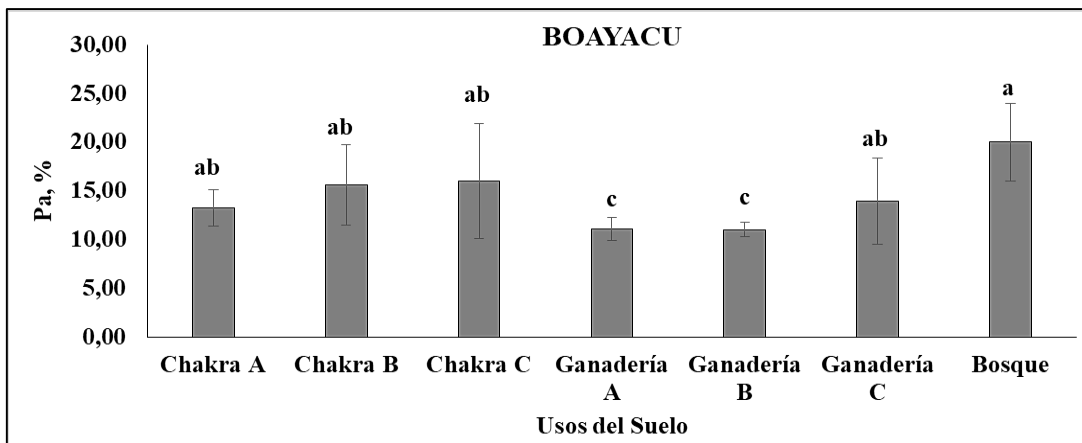


Figura 11. Valores de la porosidad de aireación (Pa) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boyacu.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

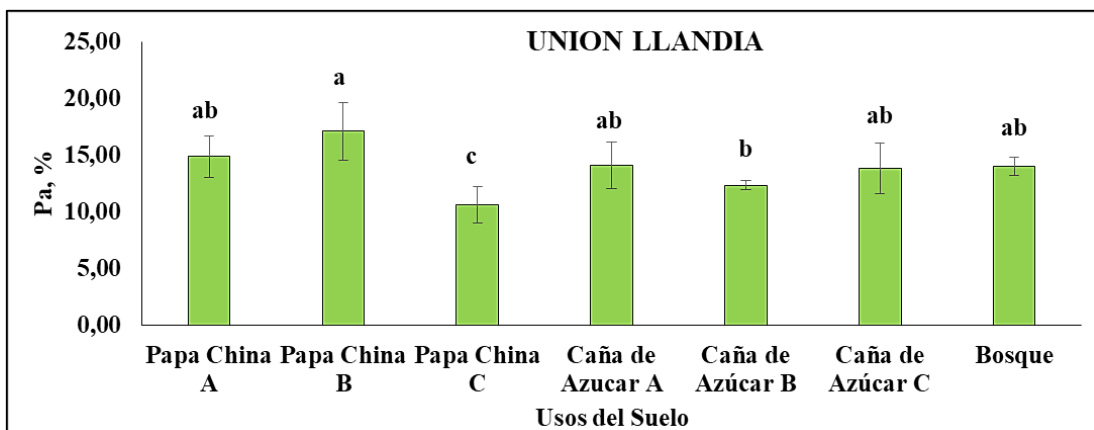


Figura 12. Valores de la porosidad de aireación (Pa) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.2.5 Porosidad de retención (Pr)

La porosidad de retención (Pr) en las dos comunidades presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$), en Boayacu (**Figura 13**) el mayor porcentaje de Pr se obtuvo en la Ganadería B con un valor de 79,06%, seguida de las Chakras A, B; la Ganadería A, C y el Bosque con un valor que de 68,68% a 76,82%, mientras que la Chakra C es la que obtuvo el menor porcentaje de Pr con un valor de 68,28% (**Tabla 3**). En comunidad Unión Llandia (**Figura 14**), la Caña de Azúcar C con un valor de 80,35% es la que presentó el mayor porcentaje de Pr, mientras que las Chakras A, B, C y la Caña de Azúcar A, B pertenecen a un solo grupo con un rango de 72,68% a 78,71% y el Bosque es el obtuvo el menor porcentaje de Pr con el valor de 71,39% (**Tabla 3**).

La porosidad de retención consiste en la capacidad que tiene el suelo de retener los fluidos acuíferos, esto relaciona a la porosidad con el tamaño de distribución de partículas que posee el suelo o sustrato (Gutiérrez *et al.*, 2011). En estudios realizados de la degradación física del suelo mencionan que a mayor profundidad existe la capacidad de retener el agua por lo que hay mayor cantidad de macro poros en el suelo (Caiza, 2015).

El valor óptimo para la porosidad de retención es del 55% (Tabla 2), los resultados de los diferentes usos del suelo de las dos comunidades son mayores a 55%, esto presenta una alta capacidad de retención de humedad lo cual está relacionado con la clase textural predominantemente arcillosa, la porosidad de retención es favorable para el crecimiento de las plantas y a su vez permite que se conserve un porcentaje de humedad en el suelo (Gutiérrez *et al.*, 2013).

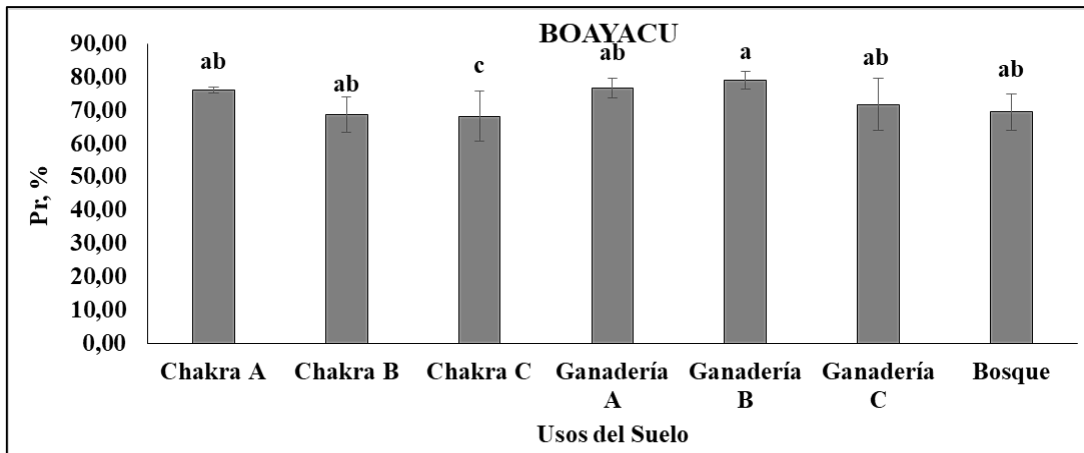


Figura 13. Valores de la porosidad de retención (Pr) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boyacu.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

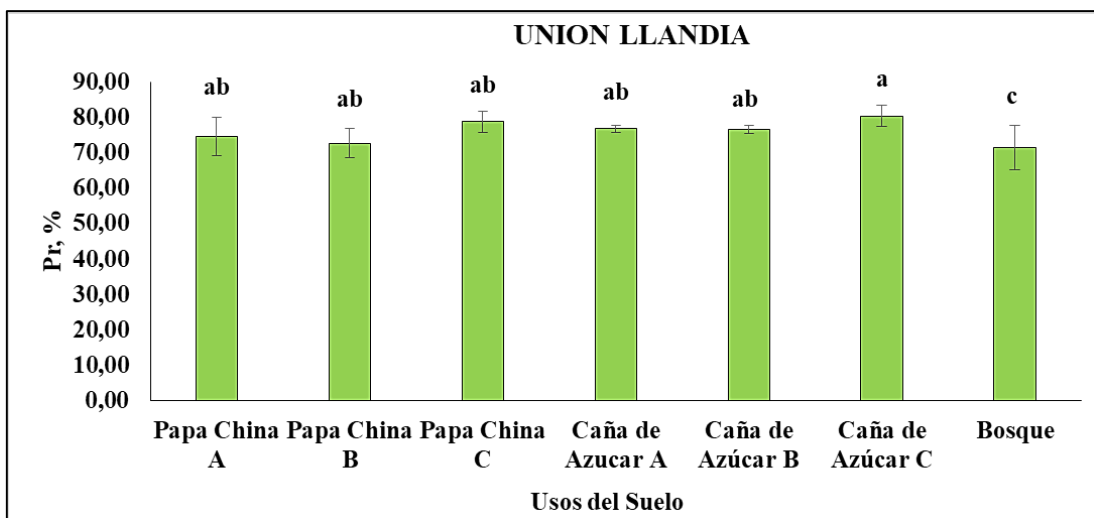


Figura 14. Valores de la porosidad de retención (Pr) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.3 Caracterización química del recurso suelo bajo distintos usos del suelo en las comunidades Boayacu y Unión Llandia.

En la (Tabla 4) se presenta los niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelo con respecto a los parámetros químicos.

Tabla 4. Niveles críticos para evaluar los parámetros químicos.

	Muy Ácido	Ácido	Mediana Ácido	Ligeramente Ácido	Prácticam Neutro	Ligeram Alcalino	Medianam Alcalino	Alcalino
pH	0,0-<5,00	5-5,5	>5,5-6	>6-6,5	>6,5-7,5	>7,5-8	>8-8,5	>8,5
Nutrientes	Unidad		Bajo	Medio	Alto			
P	ppm		<10	10-20	>20			
K	meq 100 ml		<0,2	0,2-0,38	>0,38			
Ca	meq 100 ml		<2	2-5	>5			
Mg	meq 100 ml		<0,5	0,5-1,5	>1,5			
M.O	%		<3	3-5	>5			
COT	%		<5,16	5,16-8,6	>8,6			
Nutrientes	Unidad		Bajo	Medio	Toxico			
Al+H	meq 100 ml		<0,50	0,5-1,5	>1,5			
Al	meq 100 ml		<0,30	0,3-1,00	>1,00			

Fuente: INIAP, (2015)

4.4 Parámetros químicos

En los parámetros químicos se estudió el contenido de materia orgánica (MO), pH, acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+1}$), aluminio intercambiable (Al^{+3}), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y C de Hojarasca, que se encuentran referenciadas en la (Tabla 5) mostrando niveles de variación de los diferentes parámetros químicos en las dos comunidades.

Tabla 5. Valores obtenidos en los parámetros físicos del suelo a una sola profundidad bajo distintos usos del suelo en la comunidad Boayacu y Unión Llandia.

Variables/ Tratamiento	Materia Orgánica (%)	pH	Acidez Intercambiable (meq 100 ml)	Aluminio Intercambiable (meq 100 ml)	Fósforo (mg kg ⁻¹)	Potasio (meq 100 ml)	Calcio (meq 100 ml)	Magnesio (meq 100 ml)	CdeHojarasca (%)
BOAYACU									
Chakra A	5,54	4,52	1,97	1,19	8,40	0,12	1,18	0,33	0,03
Chakra B	5,34	4,58	1,61	0,79	5,85	0,10	0,77	0,35	0,05
Chakra C	4,85	4,49	1,67	0,99	11,28	0,12	1,60	0,37	0,04
Ganadería A	5,19	4,59	2,20	1,03	4,69	0,23	1,05	0,49	0,06
Ganadería B	5,48	4,67	1,46	0,68	5,88	0,22	1,84	0,54	0,11
Ganadería C	6,35	4,68	1,53	0,83	6,29	0,11	1,40	0,30	0,12
Bosque	14,45	4,20	1,85	0,46	3,77	0,12	0,53	0,25	0,10
UNION LLNDIA									
Papa China A	7,06	4,71	1,33	0,85	7,98	0,14	2,82	0,34	0,01
Papa China B	7,62	4,74	0,79	0,48	8,45	0,15	2,41	0,38	0,01
Papa China C	6,48	4,98	0,74	0,33	8,53	0,20	3,22	0,46	0,01
Caña de Azúcar A	6,90	4,50	1,61	0,92	6,70	0,14	1,31	0,26	0,08
Caña de Azúcar B	6,57	4,72	0,99	0,42	5,99	0,13	2,79	0,40	0,07
Caña de Azúcar C	6,46	4,65	1,21	0,60	6,30	0,11	2,19	0,29	0,07
Bosque	11,74	4,37	2,48	0,64	3,53	0,10	1,97	0,39	0,05

Elaborado por: KG, (2018)

4.4.1 Carbono orgánico total (COT)

Los resultados del carbono orgánico total (COT) analizados en las dos comunidades si presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$). En Boayacu (**Figura 15**) se formaron dos grupos, el primero representado por el Bosque con el mayor porcentaje de COT con un valor de 14,45%, el segundo por las Chakras A, B, C y la Ganadería A, B, C con un valor de 4,85% a 6,35% (**Tabla 5**). Con respecto a Unión Llandia (**Figura 16**) también se formó dos grupos, en el primero está el Bosque con el mayor porcentaje de COT con un valor de 11,74% y el segundo por el cultivo de Papa China A ,B ,C y el cultivo de Caña de Azúcar A, B, C con un rango de 6,46% a 7,62% (**Tabla 5**). Es importante destacar que la materia orgánica en suelos amazónicos tiene mayor impacto en el mejoramiento de las propiedades físicas de los suelo (Bravo *et al.*, 2017). De acuerdo a los resultados establecidos de las dos comunidades para los diferentes usos del suelo se encuentran en el límite establecido (**Tabla 4**) excepto la Chakra C de la comunidad Boayacu. Los Bosques en las dos comunidades presentó mayor acumulación de COT debido a una gran diversidad de especies de plantas, además sus raíces también contribuyen a los ciclos biogeoquímicos mejorando algunos nutrientes en especial el nitrógeno, pero a su vez debido a la alteración extensiva de bosques a pasturas y el crecimiento agrícola, que son identificados como los conductores del cambio en el uso del suelo, se tiene como

consecuencia la pérdida de materia orgánica, calidad y biodiversidad (Bravo, *et al.*, 2017; Nieto y Caicedo, 2012).

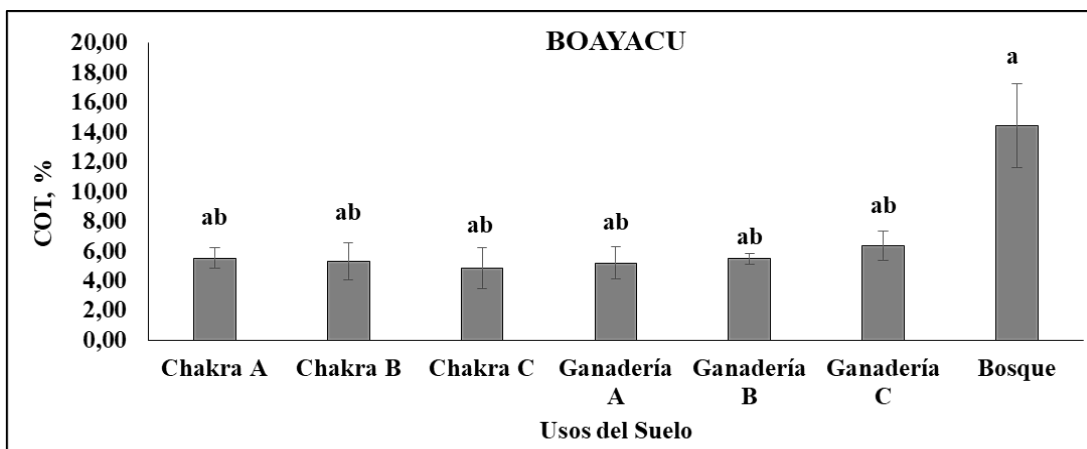


Figura 15. Valores del carbono orgánico total (COT) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

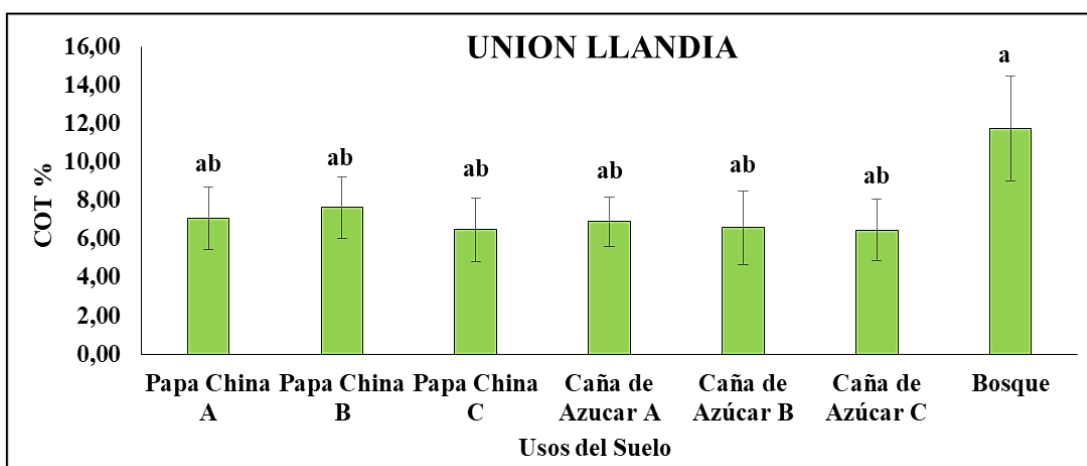


Figura 16. Valores del carbono orgánico total (COT) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.4.2 pH

Los valores establecidos en Boayacu (**Figura 17**) si presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$), dando valores altos la Chakra B y la Ganadería A, B, C con un rango que osciló de 4,58 a 4,68, seguida de la Chakra A, C con valores de 4,49 a 4,53 y por último está el Bosque ya que presenta el menor porcentaje de pH con un valor de 4,20 (**Tabla 5**). Para Unión Llandia (**Figura 18**) también presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) dando el máximo valor al uso del suelo de la Papa China C con un valor de 4,98, luego están los cultivos de Papa China A, B y la Caña de Azúcar B, C con un rango de 4,65 a 4,74 y con un valor mínimo el cultivo de la Caña de Azúcar A y el Bosque con un rango que osciló 4,37 a 4,50 (**Tabla 5**).

El pH del suelo es el que tiene la mayor influencia en el crecimiento de las plantas, por lo que afecta la disponibilidad de los elementos nutritivos. Con relación a los valores estandarizados (**Tabla 4**) los análisis de los resultados de las dos zonas de estudio todos los usos del suelo presentan acidez debido a que la Amazonía Ecuatoriana es la región con mayor precipitación produciendo las escorrentías que realizan el lavado de cationes básicos presentes en el suelo prevaleciendo los cationes ácidos (Bravo *et al.*, 2015).

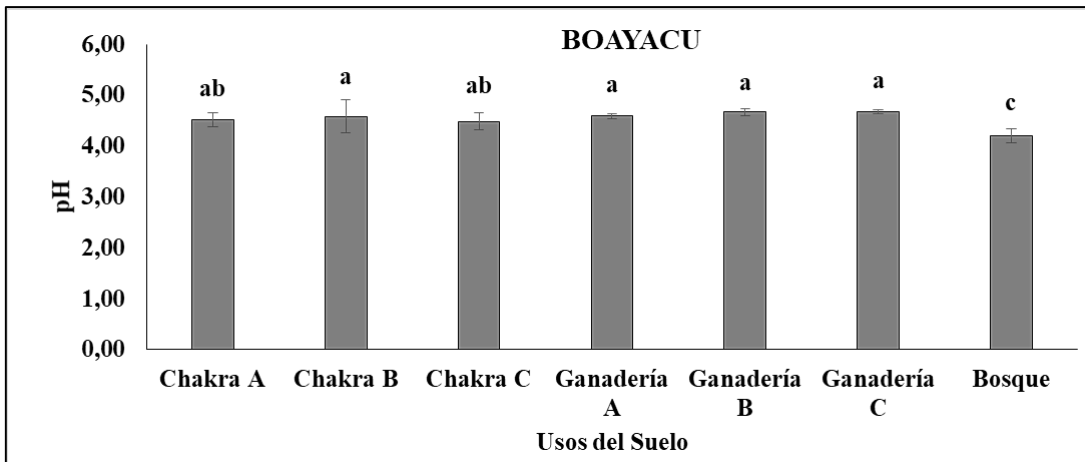


Figura 17. Valores del pH en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

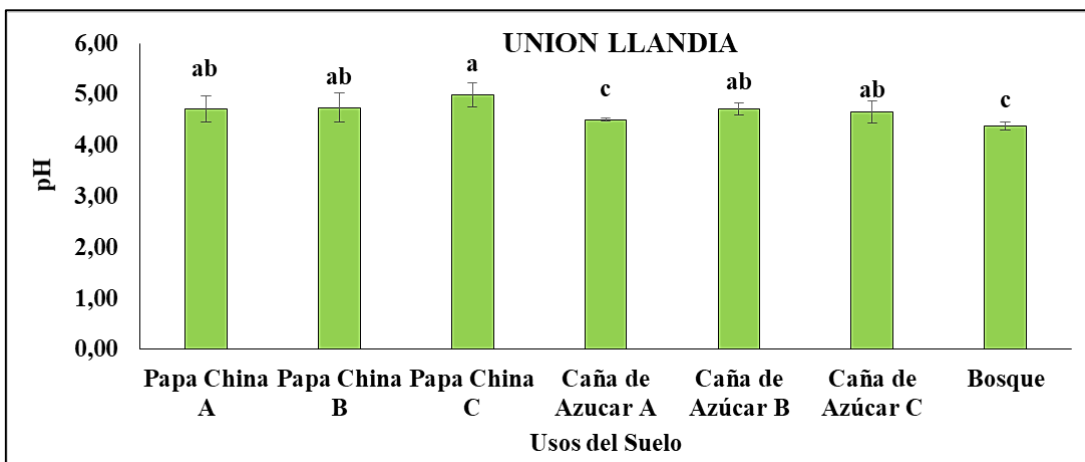


Figura 18. Valores del pH en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.4.3 Acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+1}$)

La acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+1}$) en Boayacu (**Figura 19**) no presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en los diferentes usos del suelo evaluados a una sola profundidad con valores promedios de 1,46 meq 100 ml a 2,20 meq 100 ml, mientras que en los resultados de la acidez intercambiable en Unión Llandia (**Figura 20**) sí presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$), siendo el Bosque el de mayor porcentaje en acidez intercambiable con un valor de 2,48 meq 100 ml, seguido de los cultivos Papa China A y Caña de Azúcar A, C, con valores de 0,99 meq 100 ml a 1,63 meq 100 ml y con un valor menor los cultivos de Papa China B, C y la Caña de Azúcar C con un rango de 0,33 meq 100 ml a 0,60 meq 100 ml.

La acidez intercambiable del suelo corresponde a la presencia de Al y de H intercambiables, las altas concentraciones causan daño a las propiedades física, químicas y biológicas del suelo, las altas concentraciones también perjudican el crecimiento de las plantas (Casanova, 2005). Los valores que sean mayores a 1,5 meq 100 ml son los que presentan mayor acidez intercambiable (**Tabla 4**), por lo tanto los resultados obtenidos en Boayacu en los diferentes usos del suelo presentaron acidez intercambiable, y en Unión Llandia solo dos usos de suelo Caña de Azúcar A y el Bosque presentaron acidez intercambiable (**Tabla 5**) debido a que los valores de los resultados son mayores esto puede presentar una limitación química que afecta la solubilización, disponibilidad y absorción de los nutrientes presentes en el suelo, causando una reducción en el crecimiento de las raíces la cual afecta en forma negativa el crecimiento del cultivo (Molina 2002).

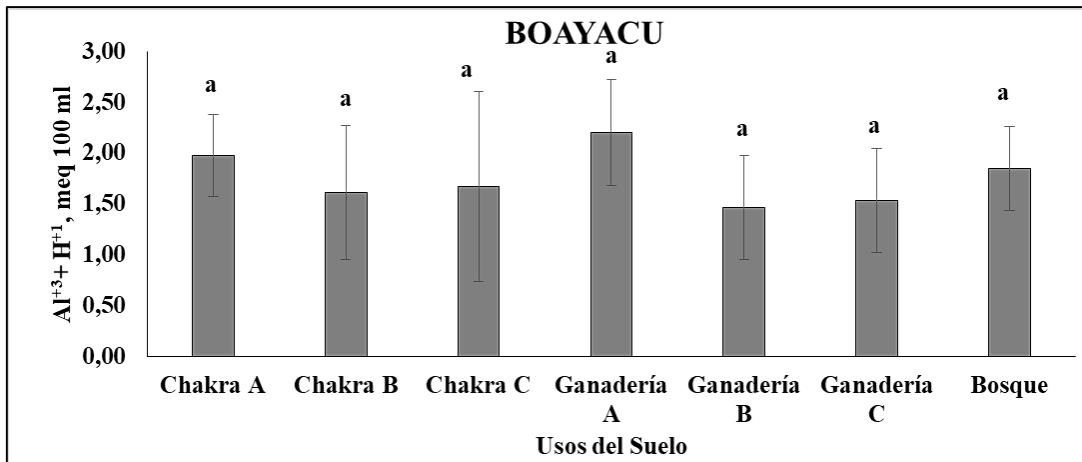


Figura 19. Valores de la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+1}$) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

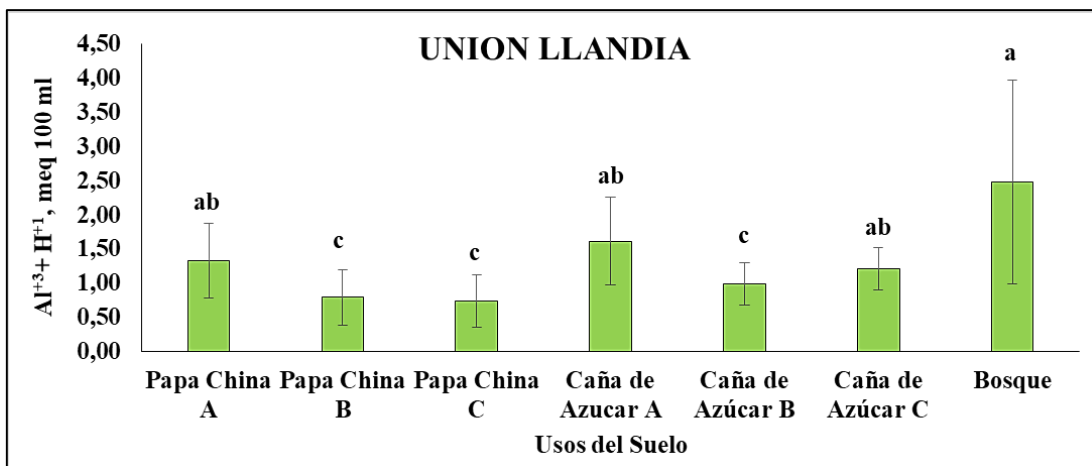


Figura 20. Valores de la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+1}$) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.4.4 Aluminio intercambiable (Al^{+3})

El aluminio intercambiable en la comunidad Boayacu (**Figura 21**) no presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$), los usos de suelo se agruparon en un solo grupo oscilando sus valores 0,46 a 1,19 meq 100 ml (**Tabla 5**) siendo la Chakra A el de mayor aluminio intercambiable. En la segunda comunidad de estudio Unión Llandia (**Figura 22**) si presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$), formando tres grupos siendo el de mayor porcentaje el uso del suelo de la Caña de Azúcar A con un valor promedio de 0,92 meq 100 ml, seguido de la Papa China A, B; Caña de Azúcar B, C y el Bosque cuyos valores oscilaron entre 0,42 a 0,85 meq 100 ml, como último grupo está la Papa China C con un valor promedio de 0,33 meq 100 ml (**Tabla 5**).

Según Combatt *et al.* (2008) el aluminio intercambiable es un elemento tóxico que afecta a las plantas, a la vegetación, a la vida acuática y a su vez muchas especies se enferman, la toxicidad del aluminio intercambiable es el principal problema en suelos ácidos con valores de pH inferiores a 5,5. En suelos de zona templada y del trópico según Bravo *et al.*, (2015) se consideran tóxicos los suelos que superan el valor de 1 meq 100 ml (**Tabla 4**), según los resultados obtenidos se presentó contaminación en la comunidad de Boayacu en los usos del suelo de la Chakra A y Ganadería A.

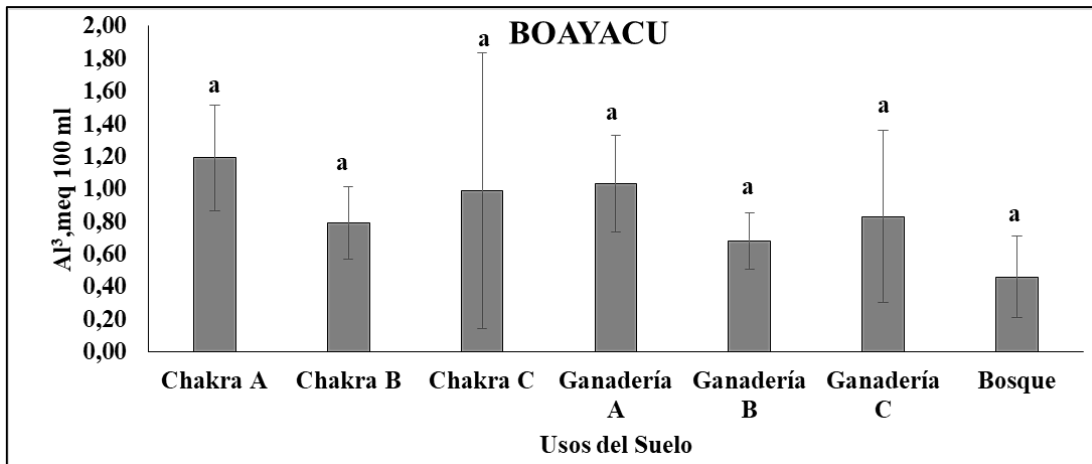


Figura 21. Valores del aluminio intercambiable (Al^{+3}) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boyacú.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

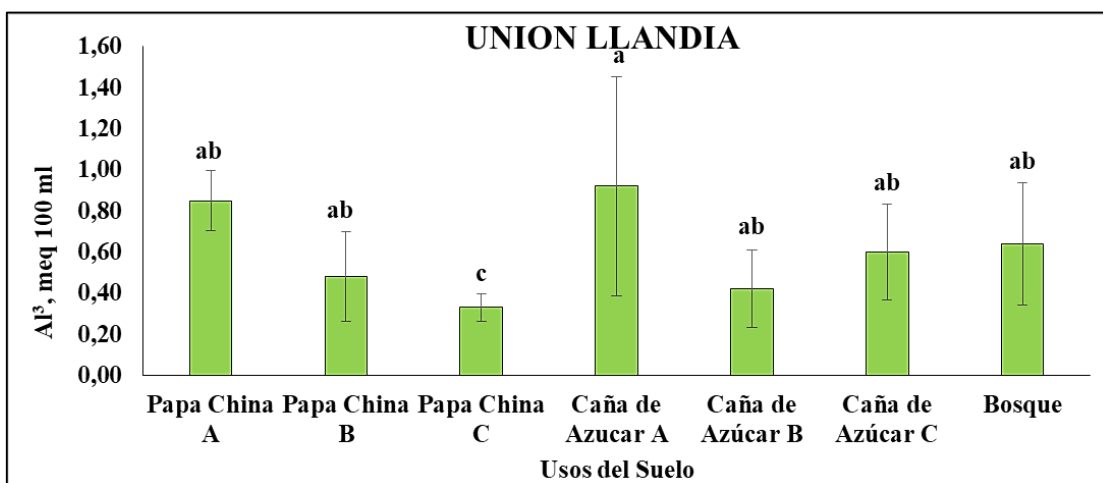


Figura 22. Valores del aluminio intercambiable (Al^{+3}) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.4.5 Fósforo (P)

El resultado de fósforo en la comunidad Boayacu (**Figura 23**) si presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) categorizándoles en tres grupos, en el primero está la Chacra C con un valor promedio de $11,28 \text{ mg Kg}^{-1}$, el segundo grupo constituido por la Chakra A, B y el uso de la Ganadería B, C los cuales oscilaron en un valor promedio de $5,85$ a $8,40 \text{ mg Kg}^{-1}$, el tercer grupo formado por los usos del suelo de la Ganadería A y el Bosque con valores promedio de $3,77$ a $4,69 \text{ mg Kg}^{-1}$ (**Tabla 5**). En la comunidad de Unión Llandia (**Figura 24**) no presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) por lo tanto solo se obtuvo un grupo el cual oscilaron los valores de $3,53$ a $8,53 \text{ mg Kg}^{-1}$.

Según Molina (2002) el fósforo es un elemento muy importante en la nutrición de las plantas y a su vez presenta con frecuencia limitaciones en la fertilidad del suelo, la cantidad de fósforo que se encuentra disponible en el suelo se mide en mg Kg^{-1} . La mayoría de los suelos vírgenes o poco explotados presentan un bajo contenido de fósforo. Según Bravo *et al.*, (2015) dice que si el fósforo se encuentra en una concentración de 10 a 20 mg Kg^{-1} (**Tabla 4**) el suelo tiene una concentración media de nutrientes para este elemento. Según los análisis de las comunidades solo la Chakra A presenta una concentración media de nutrientes, mientras que los demás usos del suelo tienen una concentración baja de nutrientes.

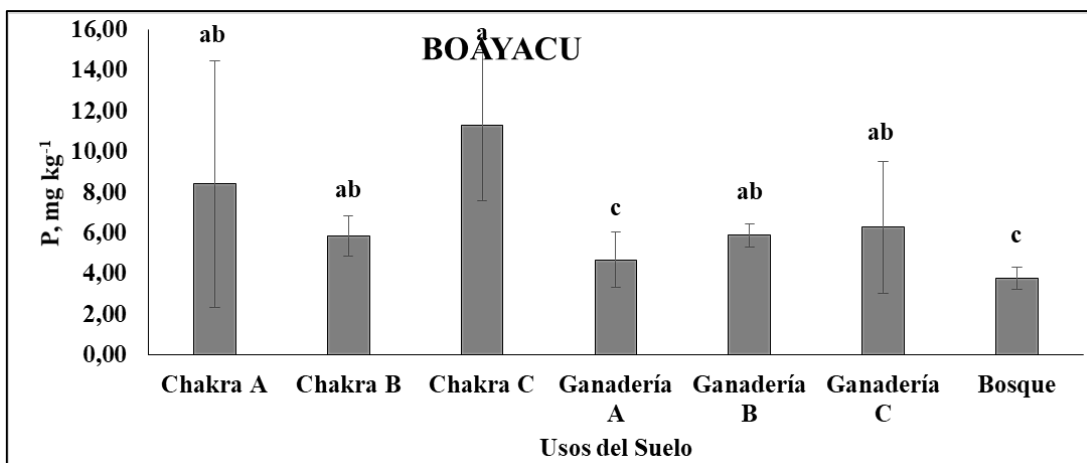


Figura 23. Valores del fósforo (P) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

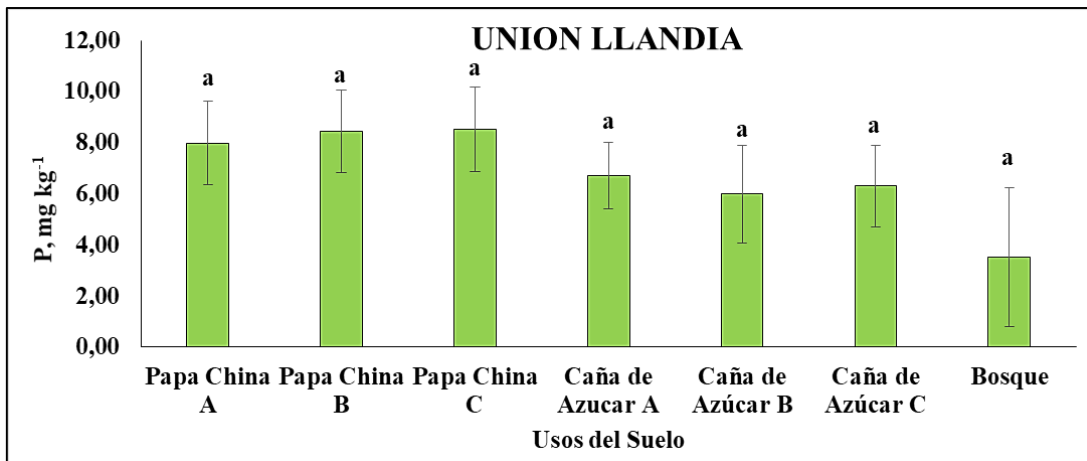


Figura 24. Valores del fósforo (P) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.4.6 Potasio (K)

Con respecto al potasio (K) los datos en las dos comunidades muestran que no existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la comunidad Boayacu (**Figura 25**). Los valores obtenidos en los usos de suelo oscilaron entre 0,10 a 0,23 meq 100 ml siendo el uso de la Ganadería A el suelo con mayor concentración de potasio (**Tabla 5**), mientras que en la comunidad Unión Llandia (**Figura 26**) tuvo similares resultados con valores de 0,10 a 0,20 meq 100 ml siendo el uso de suelo de Papa China C el de mayor concentración de potasio (**Tabla 5**). No obstante, en los dos casos de estudio se registran valores $< 0,2$ meq 100 ml rango categorizado como bajo (**Tabla 4**).

Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Paguay (2016), quien reporta que la mayoría de los usos de tierra estudiados presentaron valores por debajo de $< 0,2$ meq 100 ml, lo cual está relacionado con la edafogénesis de estos suelos y el lavado intenso de los cationes intercambiables.

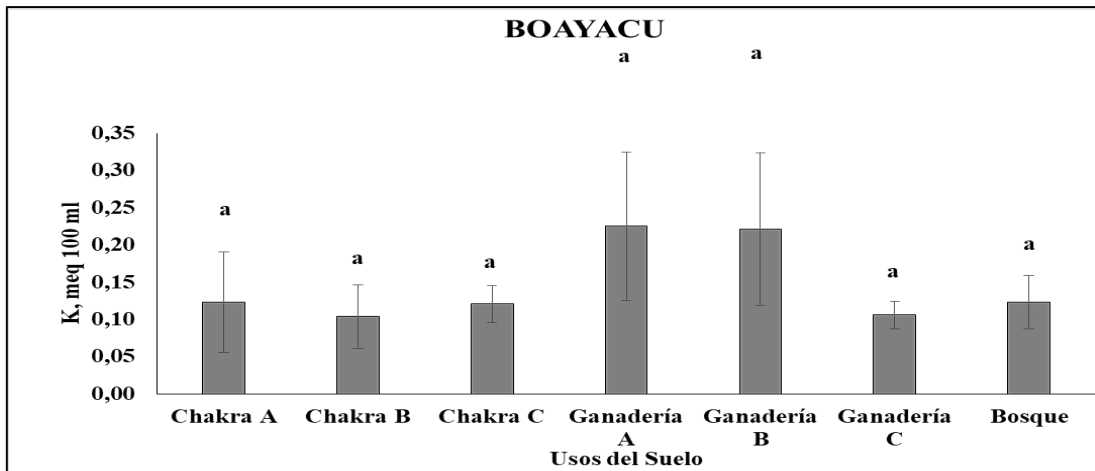


Figura 25. Valores del potasio (K) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

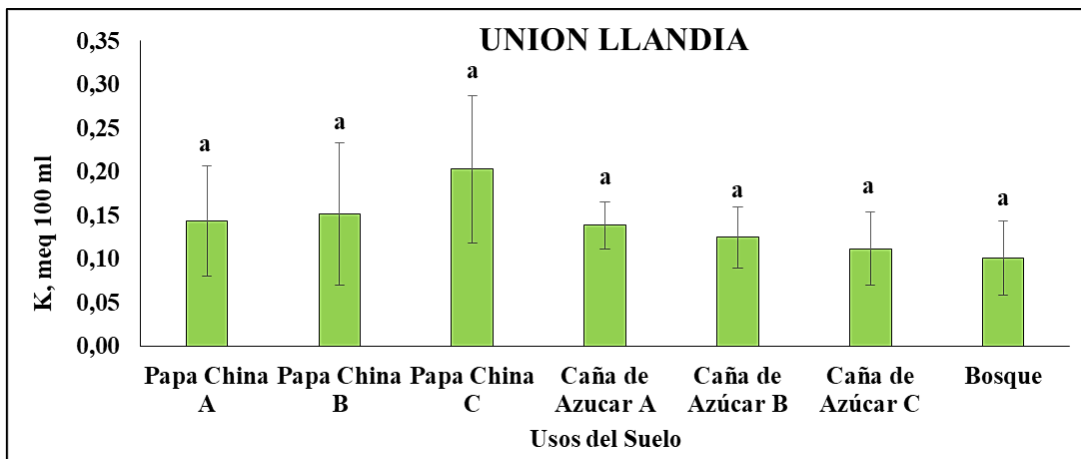


Figura 26. Valores del potasio (K) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.4.7 Calcio (Ca)

El calcio (Ca) para la comunidad Boayacu (**Figura 27**) si presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) agrupándolas en tres grupos siendo el uso de Ganadería B el de mayor contenido de calcio con un valor promedio de 1,84 meq 100 ml, como segundo grupo están los usos del suelo de la Chakra A,B,C y la Ganadería A, C con valores promedio que oscilaron entre 0,77 a 1,60 meq 100 ml y el tercer grupo por el Bosque con un valor promedio de 0,53 meq 100 ml (**Tabla 5**). Con relación a la comunidad Unión Llandia (**Figura 28**) no presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) formando un solo grupo con valores promedios que oscilaron de 1,31 a 3,22 meq 100 ml (**Tabla 5**).

Según Bravo *et al.*, (2015) menciona que los suelos con un rango <2 (**Tabla 4**) tienen un bajo contenido de calcio. Con respecto a los resultados del calcio en Boayacu presentan valores <2 , mientras que en Unión Llandia solo el usos del suelo de la Caña de Azúcar A y el Bosque presentan valores <2 . Por otra parte Barrera *et al.*, (2008) en sus estudios menciona que el calcio tiene procesos de solubilización con el aumento de la humedad del suelo y por ende mejor absorción por las plantas.

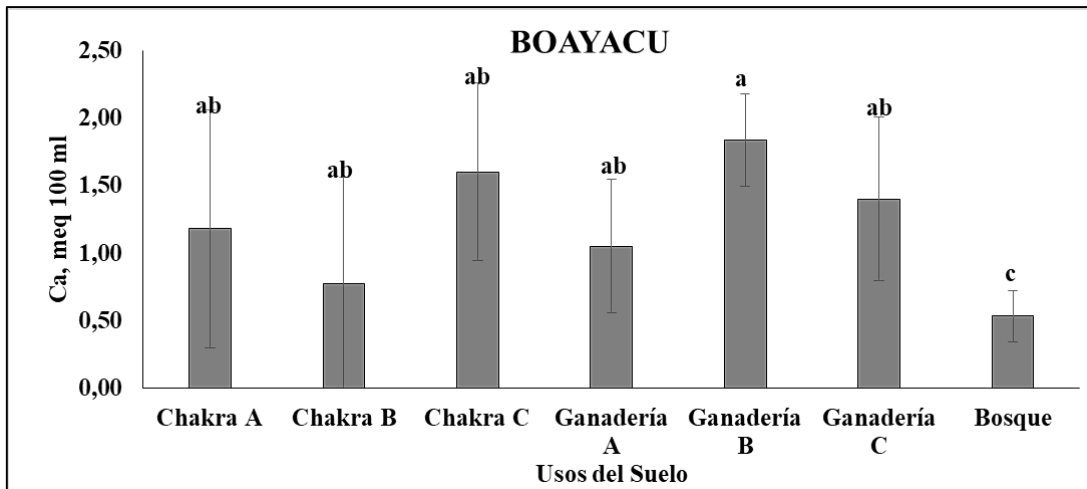


Figura 27. Valores del calcio (Ca) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boyacu.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

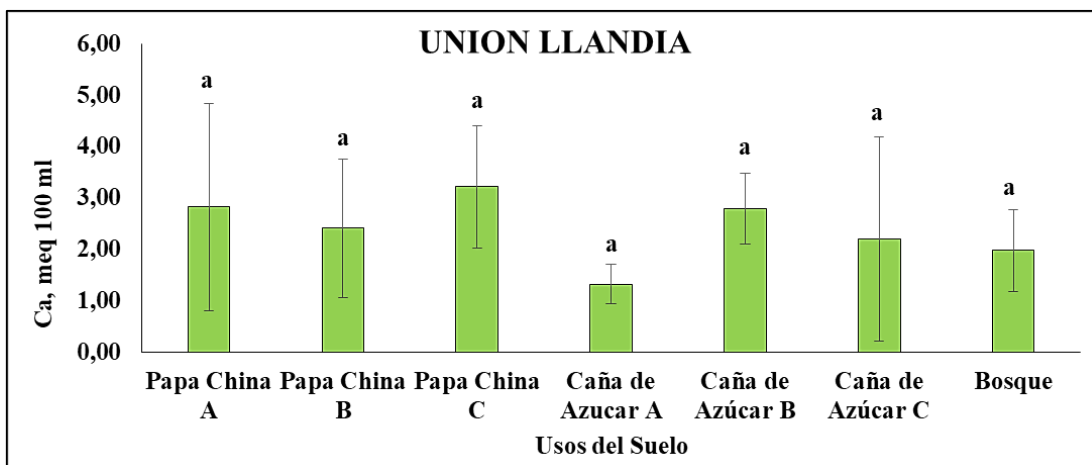


Figura 28. Valores del calcio (Ca) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.4.8 Magnesio (Mg)

El magnesio (Mg) en la comunidad Boayacu (**Figura 29**) y en la comunidad Unión Llandia (**Figura 30**) no presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$), los valores de la comunidad Boayacu oscilaron entre 0,25 a 0,54 meq 100 ml (**Tabla 5**) y en la comunidad Unión Llandia sus valores promedios fueron de 0,26 a 0,46 meq 100 ml (**Tabla 5**).

Bravo *et al.*, (2015) menciona que los suelos que tengan una concentración $<0,5$ meq 100 ml son bajas (**Tabla 4**), según los resultados obtenidos en las dos zonas la concentración de magnesio es menor al valor estándar. Sin embargo el magnesio puede llegar a constituirse en un factor limitante ya que es parte de la molécula de la clorofila, siendo esencial en el proceso de la fotosíntesis para la producción de carbohidratos (Pinilla *et al.*, 2011)

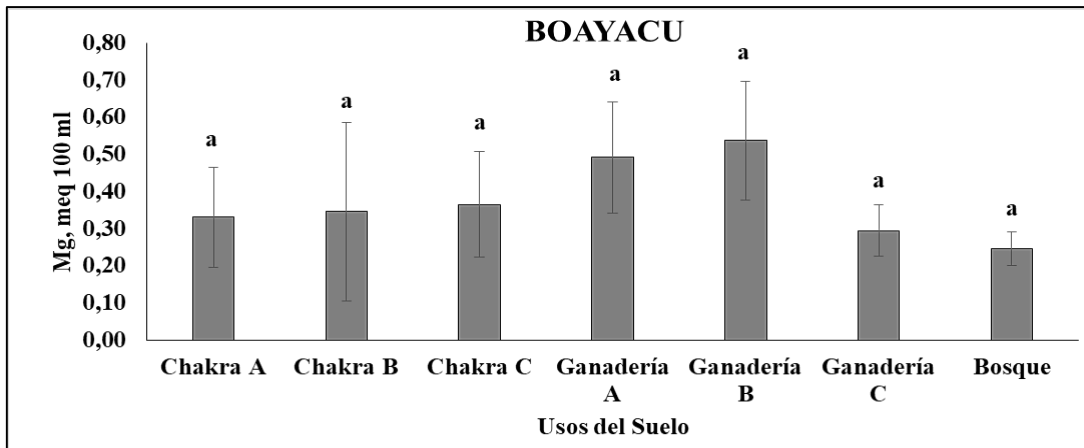


Figura 29. Valores del magnesio (Mg) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boyacu.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

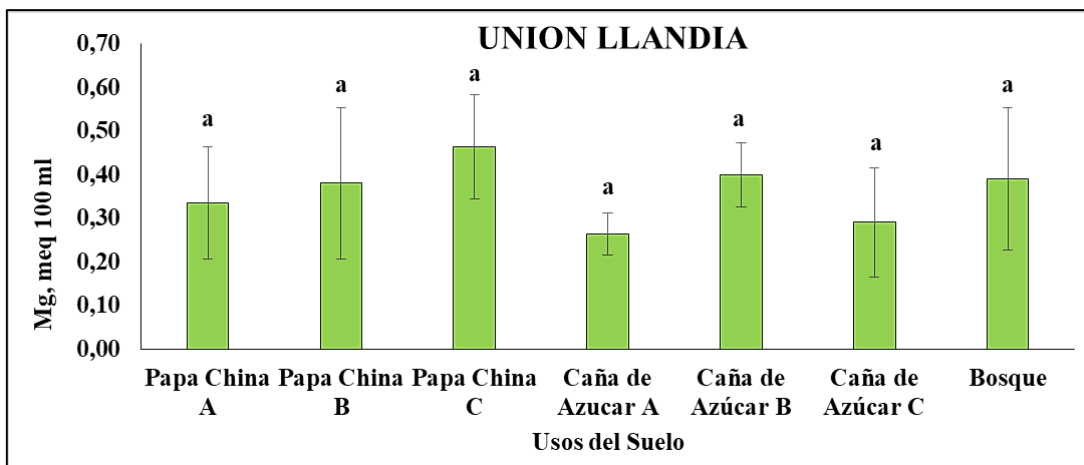


Figura 30. Valores del magnesio (Mg) en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.4.9 C de Hojarasca

El C de hojarasca en la comunidad Boayacu (**Figura 31**) si presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) agrupando a los usos de suelo en cuatro grupos siendo el primer grupo la Ganadería C con un promedio de 0,12%, el grupo dos formado por el Bosque y la Ganadería B con valores de 0,10 y 0,11%, el tercer grupo compuesto por la Chakra B y la Ganadería A con valores promedio de 0,05 y 0,06%, en el último grupo se encuentra las Chakras A y C con valores promedio de 0,03 y 0,04% (**Tabla 5**). En la comunidad Unión Llandía (**Figura 32**) si presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) formando tres grupos, en el primero está la Caña de Azúcar A, B, C con valores promedio de 0,07 a 0,08% respectivamente, siendo el Bosque el segundo grupo con un valor promedio de 0,05%, en el último grupo se encuentra la Papa China A, B y C con valores que oscilan de 0,01% (**Tabla 5**).

Según Bravo *et al.*, (2015) menciona que el nivel crítico de hojarasca en el suelo se encuentra por encima de 1,50% es decir los resultados obtenidos en este estudio están por debajo del valor. Según Martínez *et al.*, (2008) menciona que el carbono orgánico del suelo relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos además que proporciona alta capacidad de intercambio catiónico.

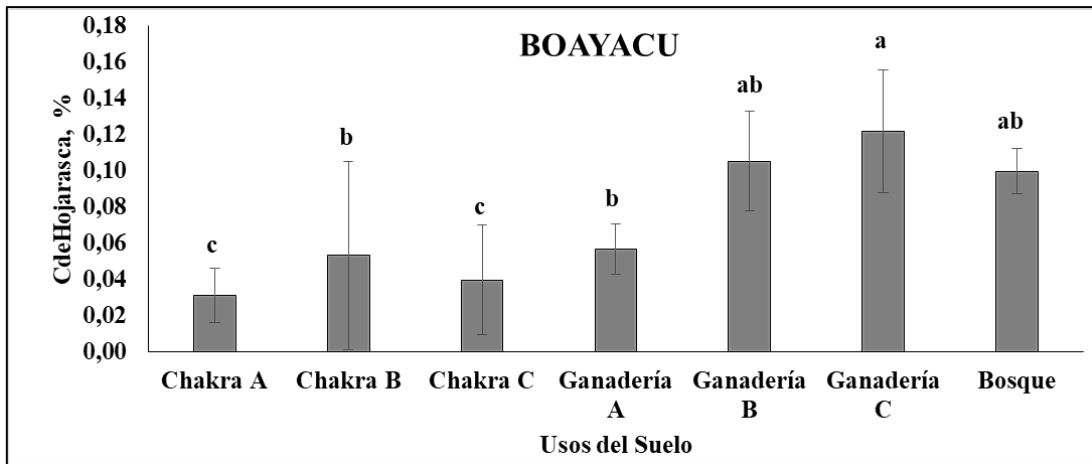


Figura 31. Valores del C de Hojarasca en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Boayacu.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

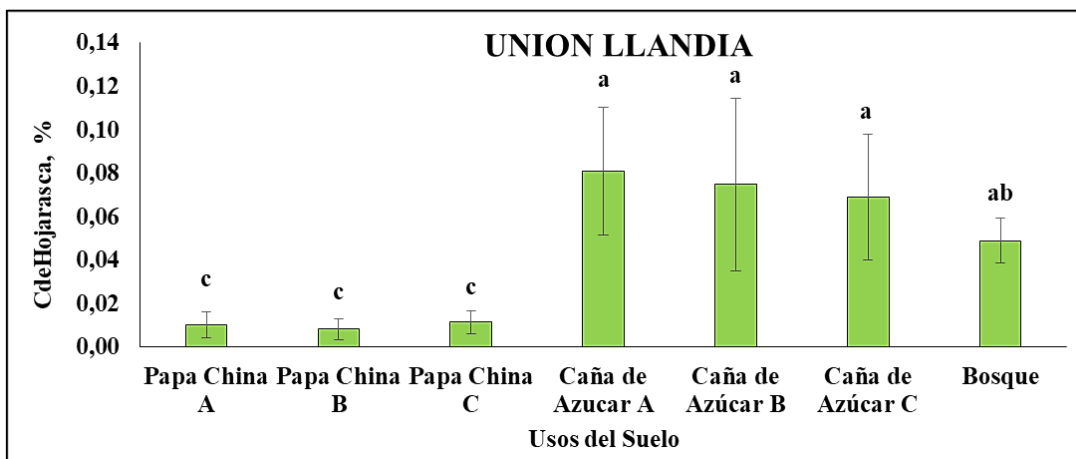


Figura 32. Valores del C de Hojarasca en el suelo bajo los distintos usos del suelo de 0-30 cm en la comunidad Unión Llandia.

Las letras distintas indican que existen diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0,05$ según pruebas de comparación de medias de Tukey.

Elaborado por: KG, (2018)

4.5 Potencial de secuestro de carbono bajo distintos usos del suelo

4.5.1 Boayacu y Unión Llandia

El balance de carbono en el mundo principalmente en sus bosques experimenta diferenciaciones dependientes del clima, de sus precipitaciones y de su nivel de aprovechamiento por el cual surge interés por saber el potencial de captura de carbono para disminuir los gases de efecto invernadero (Pardos, 2010). Hoy en la actualidad el CO₂ que es emitido a la atmósfera es uno de los causantes del cambio climático, por tal razón se ha llevado a cabo este análisis de secuestro de carbono en distintos usos de suelo, para poder comparar en qué tipo de uso presenta mayor secuestro de carbono ya que esto ayuda a tratar de emitir menos CO₂ a la atmósfera. En la comunidad Boayacu el Bosque resultó con un mayor potencial de captura de carbono total con 760,95 Mg ha⁻¹ en comparación con el resto de los usos (**Tabla 6**), tales resultados corresponden con la mayor cantidad de biomasa arbórea. Los bosques son los que almacenan la mayor cantidad de carbono ya sea en la vegetación por medio de la fotosíntesis o en el suelo por medio de la biomasa o hojarasca (Casanova *et al.*, 2011). Para la comunidad Unión Llandia el Bosque es el que obtuvo mayor captura de carbono con un valor de 520,43 Mg ha⁻¹ (**Tabla 7**).

Tabla 6. Secuestro de carbono en diferentes usos del suelo en la comunidad de Boayacu.

SECUESTRO DE CARBONO							
Comunidad	Usos del Suelo	Mg Biomasa ha	Mg C ha Biomasa Aérea	Mg CO ₂ /ha	C Mg Hojarasca	Mg C Suelo 0-30	C. Total Almacenado
Boayacu	Bosque	1225,34	612,68	2248,51	0,10	148,16	760,94
	Chakra A	107,39	53,70	197,07	0,03	21,31	75,04
	Chakra B	16,46	8,23	30,21	0,05	23,81	32,10
	Chakra C	35,81	17,90	65,71	0,04	24,23	42,18
	Ganadería A	16,15	8,08	29,64	0,06	23,15	31,28
	Ganadería B	44,91	22,45	82,41	0,11	23,75	46,31
	Ganadería C	95,32	47,66	174,91	0,12	25,70	73,48

Elaborado por: KG, (2018)

Tabla 7. Secuestro de carbono en diferentes usos del suelo en la comunidad Unión Llandia.

		SECUESTRO DE CARBONO					
Comunidad	Usos del Suelo	Mg Biomasa ha	Mg C ha Biomasa Aérea	Mg CO ₂ /ha	C Mg Hojarasca	Mg C Suelo 0-30	C. Total Almacenado
Unión Llandia	Bosque	697,28	348,65	1279,55	0,05	171,73	520,43
	Papa China A	0,00	0,00	0,00	0,01	15,04	15,06
	Papa China B	0,00	0,00	0,00	0,01	19,55	19,56
	Papa China C	0,00	0,00	0,00	0,01	17,82	17,83
	Caña de Azúcar A	0,00	0,00	0,00	0,08	16,85	16,93
	Caña de Azúcar B	0,00	0,00	0,00	0,07	18,47	18,54
	Caña de Azúcar C	0,00	0,00	0,00	0,07	13,29	13,35

Elaborado por: KG, (2018)

4.6 Valoración económica de fertilidad del suelo y CO₂ equi como servicio ecosistémico bajo distintos usos del suelo.

4.6.1 Valoración económica de fertilidad del suelo como servicio ecosistémico bajo distintos usos del suelo.

La fertilidad del suelo como servicio ecosistémico tiene un valor económico en el mercado. En la comunidad de Boayacu y Unión Llandia los parámetros evaluados económicamente es el carbono orgánico total (COT) Mg ha⁻¹, nitrógeno inorgánico (NI) Kg ha⁻¹, cantidad de fósforo (P₂O₅) Kg ha⁻¹, y la cantidad de potasio (K₂O) Kg ha⁻¹ (**Tabla 8 y 9**).

Los resultados del valor económicos de la fertilidad del suelo en las dos comunidades Boayacu y Unión Llandia, el uso de suelo que obtuvo el mayor valor económico total es el Bosque con un valor de 18,662,13 \$ ha⁻¹ y para Boayacu con un valor de 21,631,06 \$ ha⁻¹.

Por tal motivo los agricultores deben tener en cuenta la importancia que tienen los bosques, en la amazonia existe un proyecto llamado Socio Bosque que tiene como objetivo proteger los bosques, páramos y sus valores ecológicos, económicos y culturales, reduciendo la tasa de deforestación y las emisiones de gases de efecto invernadero. Lo cual promueve incentivos económicos a campesinos y comunidades indígenas que se comprometen voluntariamente a la conservación y protección de sus bosques nativos.

Tabla 8. Valor económico de la fertilidad del suelo como servicio ecosistémico en la comunidad Boayacu.

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO COMO S.E							
Usos del Suelo	Chakra A	Chakra B	Chakra C	Ganadería A	Ganadería B	Ganadería C	Bosque
COT Mg ha ⁻¹	70,27	77,73	76,59	74,16	78,21	80,29	148,16
Precio de Mercado \$ x Mg	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00
Valor Económico \$ ha⁻¹	8783,44	9715,88	9573,38	9270,19	9776,25	10036,69	18520,41
Nitrógeno Inorgánico NI Kg ha ⁻¹	28,11	31,09	30,63	29,66	31,28	32,12	59,27
Precio de Mercado \$ x Kg	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
Valor Económico \$ ha⁻¹	30,36	33,58	33,09	32,04	33,79	34,69	64,01
Cantidad Fósforo (P ₂ O ₅) Kg ha ⁻¹	24,36	19,55	41,96	15,08	19,36	20,29	9,06
Precio de Mercado \$ x Kg	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Valor Económico \$ ha⁻¹	23,14	18,57	39,87	14,33	18,39	19,28	8,61
Cantidad Potasio (K ₂ O) Kg ha ⁻¹	72,38	71,16	93,09	163,04	150,80	63,40	59,58
Precio de Mercado \$ x Kg	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
Valor Económico \$ ha⁻¹	83,96	82,54	107,98	189,13	174,93	73,55	69,11
Valor Económico Total \$ ha⁻¹	8920,90	9850,57	9754,31	9505,68	10003,36	10164,20	18,662,13

Elaborado por: KG, (2018)

Tabla 9. Valor económico de la fertilidad del suelo como servicio ecosistémico en la comunidad Unión Llandia.

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO COMO S.E							
Usos del Suelo	Papa China	Papa China	Papa China	Caña de Azúcar	Caña de Azúcar	Caña de Azúcar	Bosque
	A	B	C	A	B	C	
COT Mg ha ⁻¹	72,45	88,92	80,90	73,51	85,64	59,39	171,73
Precio de Mercado \$ x Mg	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00
Valor Económico \$ ha⁻¹	9056,21	11115,26	10112,08	9188,85	10704,96	7423,26	21466,71
Nitrógeno Inorgánico NI Kg ha ⁻¹	28,98	35,57	32,36	29,40	34,26	23,75	68,69
Precio de Mercado \$ x Kg	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
Valor Económico \$ ha⁻¹	31,30	38,41	34,95	31,76	37,00	25,65	74,19
Cantidad Fósforo (P ₂ O ₅) Kg ha ⁻¹	18,64	22,36	25,80	16,55	17,45	13,60	10,51
Precio de Mercado \$ x Kg	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Valor Económico \$ ha⁻¹	17,71	21,24	24,51	15,72	16,57	12,92	9,98
Cantidad Potasio (K ₂ O) Kg ha ⁻¹	69,03	81,29	124,33	69,73	75,47	47,76	69,12
Precio de Mercado \$ x Kg	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
Valor Económico \$ ha⁻¹	80,07	94,30	144,22	80,89	87,54	55,40	80,17
Valor Económico Total \$ ha⁻¹	9185,29	11269,22	10315,76	9317,21	10846,07	7517,23	21631,06

Elaborado por: KG, (2018)

4.6.2 Valoración económica del CO₂ equi como servicio ecosistémico bajo distintos usos del suelo.

La valorización económica del CO₂ equi como servicio ecosistémico tiene un valor económico en el mercado (Tabla 10 y 11).

Los resultados del valor económicos del CO₂ equi en las dos comunidades Boayacu y Unión Llandia es el Bosque, con un valor de 37727,65 \$ Ha⁻¹ para Boayacu y con un valor de 19193,18 \$ Ha⁻¹ para Unión Llandia.

Los agricultores deben saber que beneficio tienen y por lo cual deben implementar nuevos métodos de siembras de sus cultivos para disminuir la degradación del suelo.

Tabla 10. Valor económico del CO₂ equi como servicio ecosistémico en la comunidad Boayacu.

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL CO₂ equi COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO			
Usos del Suelo	Mg CO₂ equi Mg ha⁻¹	Precio de Mercado \$ x Mg	Valor Económico \$ ha⁻¹
Bosque	2248,51	15,00	33727,65
Chakra A	197,07	15,00	2956,04
Chakra B	30,21	15,00	453,13
Chakra C	65,71	15,00	985,63
Ganadería A	29,64	15,00	444,61
Ganadería B	82,41	15,00	1236,09
Ganadería C	174,91	15,00	2623,72

Elaborado por: KG, (2018)

Tabla 11. Valor económico del CO₂ equi como servicio ecosistémico en la comunidad Unión Llandia

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL CO₂ equi COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO			
Usos del Suelo	Mg CO₂ equi Mg ha⁻¹	Precio de Mercado \$ x Mg	Valor Económico \$ ha⁻¹
Papa China A	0	15,00	0,00
Papa China B	0	15,00	0,00
Papa China C	0	15,00	0,00
Caña de Azúcar A	0	15,00	0,00
Caña de Azúcar B	0	15,00	0,00
Caña de Azúcar C	0	15,00	0,00
Bosque	1279,55	15,00	19193,18

Elaborado por: KG, (2018)

4.7 Parámetros estandarizados

En las (Tablas 12 y 13) se presenta los valores promedios de los análisis físicos y químicos por comunidad, en relación a los parámetros estandarizados.

Tabla 12. Resultados de los valores promedios en los análisis físicos del suelo en las comunidades de Boayacu y Unión Llandia, en relación con los parámetros estandarizados de Pla, (2010).

PARÁMETROS FÍSICOS				
Indicadores	Unidad de Medida	Valores Óptimos	Valores promedio Boayacu	Valor promedio Unión Llandia
Densidad Aparente (Da)	(Mg m ⁻³)	1,20	0,46	0,39
Conductividad Hidráulica Saturada (ksat)	(cm h ⁻¹)	0,50	36,49	21,95
Porosidad Total (Pt)	(%)	50,00	87,33	89,69
Porosidad de Aireación (Pa)	(%)	10,00	14,43	13,85
Porosidad de Retención (Pr)	(%)	55,00	72,90	75,85

Elaborado por: KG, (2018)

Tabla 13. Resultados de los valores promedios en los análisis químicos del suelo en las comunidades de Boayacu y Unión Llandia, en relación con los parámetros estandarizados de INIAP, (2015).

PARÁMETROS QUÍMICOS						
Indicadores	Unidad de Medida	Valores Estandarizados			Valores promedio de las comunidades	
		Ácido	Neutro	Alcalino	Boayacu	Unión Llandia
pH	5-5,5	>6,5-7,5	>8,5	4,53	4,67
		Bajo	Medio	Alto		
COT	%	5,16	5,16-8,6	>8,6	6,74	7,55
Acidez Intercambiable	(meq 100ml)	<0,50	0,5-1,5	>1,5	1,76	1,31
Aluminio Intercambiable	(meq 100ml)	<0,30	0,3-1,00	>1,00	0,85	0,61
Fósforo	(mg Kg ⁻¹)	<10	10-20	>20	6,59	6,78
Potasio	(meq 100ml)	<0,2	0,2-0,38	>0,38	0,15	0,14
Calcio	(meq 100ml)	<2	2-5	>5	1,2	2,39
Magnesio	(meq 100ml)	<0,5	0,5-1,5	>1,5	0,37	0,36

Elaborado por: KG, (2018)

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Las propiedades físicas (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr) evaluadas en las dos comunidades de estudio (Boayacu y Unión Llandia) presentaron resultados favorables, debido a los bajos valores de densidad aparente, alta porosidad y conductividad hidráulica saturada con un rango adecuado de aireación e infiltración y retención de humedad por lo cual no existen problemas de degradación y compactación.
- Las propiedades químicas (pH, $AL^{+3}+H^{+1}$, Al^{+3} , MO, P. K. Ca, Mg) evaluadas en las dos comunidades (Boayacu y Unión Llandia) no presentaron resultados favorables, ya que tienen un pH ácido, una acidez intercambiable alta. La comunidad de Boayacu en algunos usos del suelo presentó alta presencia de aluminio intercambiable, mientras en la comunidad Unión Llandia cuenta con una presencia media de aluminio intercambiable y una baja disponibilidad de nutrientes, es muy común en suelos de la región amazónica ecuatoriana lo cual pueden indistintamente influir mucho en la fertilidad del suelo.
- La valoración económica a la fertilidad del suelo y al dióxido de carbono equivalente correspondiente a los diferentes usos de la tierra en las dos comunidades, indicó un valor económico alto por ha^{-1} , lo cual se puede aprovechar de la mejor manera conservando los bosques ya que es donde se aprecia la mayor captura de carbono, esta conservación en un futuro es de mucha ayuda ya que disminuye los niveles de contaminación por gases de efecto invernadero.

5.2 Recomendaciones

- Evaluar los parámetros biológicos ya que son importantes debido a la existencia de la población microbiana que está relacionada con la cantidad de materia orgánica del suelo.
- Dar a conocer la importancia que tiene la fertilidad del suelo y CO₂ equi como servicio ecosistémico ya que esta genera una valoración económica en el mercado, por lo tanto los agricultores deben implementar otra forma de realizar los cultivos sin causar tanto daño al suelo, ya que debido al incremento de los monocultivos y de los pesticidas utilizados en los diferentes cultivos están deteriorando este recurso.
- Presentar un pago por servicio ambiental (PSA) a las familias para motivarles a la conservación de sus fincas, ya que se pudo presenciar el beneficio que brindan los Bosques, ya que actualmente es una de las medidas más apropiadas que se debe aplicar para mitigar, controlar y revertir el daño causado al deterioro del ambiente, los recursos naturales y pérdida de la diversidad.

CAPÍTULO VI

6. BIBLIOGRAFIA

- Altamirano, A., & Lara, A. (2010). Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro-sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 31, 53-64.
- Alvarado, A., & Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 85-94.
- Álvarez, C. R., Torres Duggan, M., Chamorro, E. R., & Taboada, M. A. (2009). Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. *Ciencia del suelo*, 27(2), 159-169.
- Barrera, J., Díaz, B., Durango, J. M., & Ramos, A. (2008). Efecto de las épocas de lluvia y sequía sobre la absorción de potasio y fósforo en plantaciones de plátano. *Acta Agronómica*, 57(1), 55-60.
- Bertsch, H. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo: San José, CR: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Blake, G. R., & Hartge, K. (1986). Bulk Density¹. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*(methodsofsoilan1), 363-375.
- Blake, J., & Hartge, L. (1986). Bulk density. In C.A. Klute (de). *Methods of soil analysis, Part 1. Agronomy*, 9, 349-378.
- Bravo, C., Benítez, D., Burgos, J. C. V., Alemán, R., Torres, B., & Marín, H. (2015). Caracterización socio-ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana: Caso Pastaza y Napo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4(1), 03-31.
- Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Torres, R., Navarrete, H., & Changoluisa, D. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(11), 1-16.
- Bravo, C. B., D; Durazno, G; Navarrete, H; Torres, B; Ramirez, A; Torres, V; Armijo, H, Paguay, D; Diaz, A; Vinueza, R. (2015). Informe Final: Diagnóstico ambiental de unidades de producción agropecuaria en tres pisos altitudinales de la provincia de Napo, Ecuador (pp. 54).

- Cabrera Moreira, S., Paneque Rondón, P., Pérez Olmo, C., & Plá Rodríguez, E. (2008). Métodos de estudio del estado físico de los suelos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(3).
- Caiza Quinatoa, D. D. (2015). *Estudio de la degradación física del suelo y plan de manejo ambiental para la finca Luis Cevallos*.
- Casanova, E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela.- UCV. Consejo de Desarrollo Humanístico y Científico, Caracas . Venezuela. 481 pp.
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., & Solorio-Sánchez, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(1), 133-143.
- Castillo, M. (2015). Estudio de impacto ambiental para el mejoramiento, ampliación e implementación de los sistemas de alcantarillados sanitario y pluvial de a ciudad de Puyo. <https://maepastaza.files.wordpress.com/2016/04/esia-puyo-vfinal-conpaginado.pdf>
- Combatt, C., Jarma, O., & Maza, A. (2008). Crecimiento de *Brachiaria decumbens* Stapf Y *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst en suelos sulfatados ácidos de Córdoba. *Revista MVZ Córdoba*, 13(2), 1380-1392.
- Cowling, R. M., Egoh, B., Knight, A. T., O'Farrell, P. J., Reyers, B., Rouget, M., . . . Wilhelm-Rechman, A. (2008). An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Cram, S., Cotler, H., Morales, L. M., Sommer, I., & Carmona, E. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones geográficas*, 81-104.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Sandoval-Villa, M., Bugarin-Montoya, R., Robles-Bermudez, A., & Juarez-Lopez, P. (2013). Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias*, 2(2).
- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista ecosistemas*, 13(2).
- Cueto, O. G., Coronel, C. E. I., Suárez, M. H., Bravo, E. L., & Iznaga, Á. S. (2008). Efecto de la humedad y la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic Ferralsol. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(2), 50-54.

- Dörner, J., Dec, D., Peng, X., & Horn, R. (2009). EFECTO DEL CAMBIO DE USO EN LA ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA Y LA FUNCIÓN DE LOS POROS DE UN ANDISOL (TYPIC HAPLUDAND) DEL SUR DE CHILE. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 9, 190-209.
- Duval, M. E., Galantini, J. A., Martínez, J. M., López, F. M., & Wall, L. G. (2015). Evaluación de la calidad física de los suelos de la región pampeana: efecto de las prácticas de manejo.
- Ferrer Alessi, V., & Torrero, M. P. (2015). Manejo integrado de cuencas hídricas: cuenca del río Gualjaina, Chubut, Argentina. *Boletín mexicano de derecho comparado*, 48, 615-643.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35, 125-138.
- Grijalva, O., Limongi, R., Arévalo Vizcaino, V., Vera, R., Quiroz, J., & Cerda, A. (2011). Mejoramiento de Chakras, Una alternativa de sistema integrado con cacao, cultivos anuales y árboles en el Alto Napo.
- Gutiérrez-Castorena, M. D. C., Hernández Escobar, J., Ortiz-Solorio, C. A., Anicua Sánchez, R., & Hernández Lara, M. E. (2011). Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17, 183-196.
- Gutiérrez, J. S., & Cardona, W. A. (2017). Potencial en el uso de las propiedades químicas como indicadores de calidad de suelo. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 450-458.
- Gutiérrez, P., Rocha, L., Reyes-Sánchez, N., Paredes, V., & Mendieta-Araica, B. (2013). Tasa de degradación ruminal de follaje de Moringa oleifera en vacas Reyna usando la técnica in sacco. *La Calera*, 12(18), 37-44.
- Hart, R. D. (1985). *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*: Bib. Orton IICA/CATIE.
- Hernández, J. A., Fernández, M. T., Ortuño, A., & Alarcón, M. A. (2010). Influencia del uso del suelo en su calidad ambiental en medio semiárido (Murcia SE España). *Revista de Ciências Agrárias*, 33, 199-208.
- Hernández-Félix, L., Molina-Rosales, D., & Agraz-Hernández, C. (2017). Servicios ecosistémicos y estrategias de conservación en el manglar de Isla Arena. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 14, 427-449.
- Huerta Lwanga, E., Rodríguez-Olán, J., Evia-Castillo, I., Montejo-Meneses, E., Cruz-Mondragón, M. d. I., & García-Hernández, R. (2008). Relación entre la fertilidad

- del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana*, 26, 171-181.
- Ingaramo, O. E. (2003). Indicadores físicos de la degradación de suelo.
- INIAP. (2015). *Definición de suelo*.
- Laterra, P., Castellarini, F., & Orúe, M. (2011). ECOSER: Un protocolo para la evaluación biofísica de servicios ecosistémicos y la integración con su valor social. *Valoración de Servicios Ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA, Buenos Aires, 359-389.
- Leiva Sajuria, C. (2014). La Agricultura y la Ciencia. *Idesia (Arica)*, 32, 03-05.
- Lozada Barrera, A. F. (2005). *Producción del cultivo de papa china (colocasia esculeta) utilizado dos métodos de propagación asexual bajo cuatro niveles de fertilización orgánica*. SANGOLQUÍ/ESPE-IASA I/2005.
- Lozano, Z., Romero, H., & Bravo, C. (2010). Influencia de los cultivos de cobertura y el pastoreo sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana. *Agrociencia*, 44, 135-146.
- Martín, N. J., & Pérez, G. (2009). Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. *Cultivos Tropicales*, 30, 00-00.
- Martínez H, E., Fuentes E, J. P., & Acevedo H, E. (2008). CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8, 68-96.
- Molina , E. (2002). Análisis de suelos y su interpretación. *Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica*.
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., & Muñoz, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles: INIA-Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria*.
- Nelson, D., & 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 Caicedo, C. 2012 Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazónica Ecuatoriana. INIAP-EECA. Publicación Miscelánea N° 405 Joya de los Sachas, Ecuador. 102 p.
- Orjuela, H. B. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124.

- Paguay, D. (2016). *Influencia de los sistemas agroforestales y monocultivo de cacao sobre la calidad de suelo, en el cantón Arosemena Tola*. Puyo-Ecuador.
- Pardos, J. A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global* (Vol. 20): INIA.
- Pinilla Quezada, H., Herrera Floody, L., Benavente I, R., & Sanhueza Roa, H. (2011). Efecto del magnesio en el rendimiento y contenido de gluten en trigo (*Triticum aestivum* L.) en un suelo andisol. *Idesia (Arica)*, 29, 53-57.
- 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.
- Power, A. 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365, 2959–2971.
- Quintero, V. E. V. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos a través del componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia forestal*, 16(1), 83-99.
- Rodríguez García, L., Curetti, G., Garegnani, G., Grilli, G., Pastorella, F., & Paletto, A. (2016). La valoración de los servicios ecosistémicos en los ecosistemas forestales: un caso de estudio en Los Alpes Italianos. *Bosque (Valdivia)*, 37, 41-52.
- Rojas, D., Ludwig, M., Rojas Palacio, H., & Menjívar Flórez, J. C. (2008). Estimación de la conductividad hidráulica saturada in situ en un suelo tratado con vinaza. *Acta Agronómica*, 57(2), 125-128.
- Sadeghian, S. (2016). Impacto de la ganadería sobre el suelo, Alternativas sostenibles de manejo.
<http://www.desertificacion.gob.ar/mapas/modelos/impacto%20de%20la%20ganaderia%20sobre%20el%20suelo.pdf>
- Salazar Riofrío, G. B. (2012). *Elaboración de una Planificación Estratégica para la Asociación de Cañicultores de Pastaza ASOCAP de la ciudad de Puyo cantón Pastaza provincia de Pastaza 2011 2013*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Sarandón, S., & Flores, C. (2014). La insustentabilidad del modelo de agricultura actual.
- Sarandón, S. J. (2002). El agroecosistema: un sistema natural modificado. *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina.

- Siavosh, S., Rivera, J., & Gómez, M. (2000). *Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia*. Paper presented at the conferencia electrónica de la FAO: agroforestería para la producción animal en Latinoamérica.
- Smith, J., Sabogal, C., JONG, W. d., & Kaimowitz, D. (1997). *Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina*: CIFOR Bogor.
- Ugalde, F. Z., Delgado, J. H., Obando, G. G., Fernández, J. D., Bravo, J. S., & Orjuela, H. B. (2018). Propiedades morfológicas de los suelos asociadas a los ecosistemas de Páramo, Nariño, Sur de Colombia. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 36(2), 183-196.
- Vargas-Machuca, R. N. (2010). *Indicadores biológicos para la evaluación de la calidad de los suelos*. Paper presented at the XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Estación Experimental del Zaidín, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEZ-CSIC). Granada, España.

CAPÍTULO VII

7. ANEXOS



Foto 1. Ubicación de las zonas de muestreo en las dos comunidades.



Foto 2. Determinación de la subparcela para la toma de muestras.

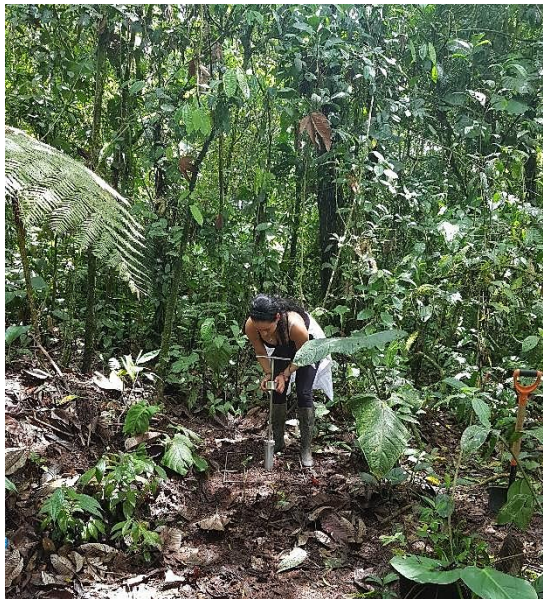


Foto 3. Recolección de muestras no alteradas con un barreno tipo Uhland a una sola profundidad de (0-30 cm) para los análisis físicos.



Foto 4. Recolección de muestras a una sola profundidad de (0-30 cm) para los análisis químicos.



Foto 5. Recolección de la muestra de biomasa (hojarasca).

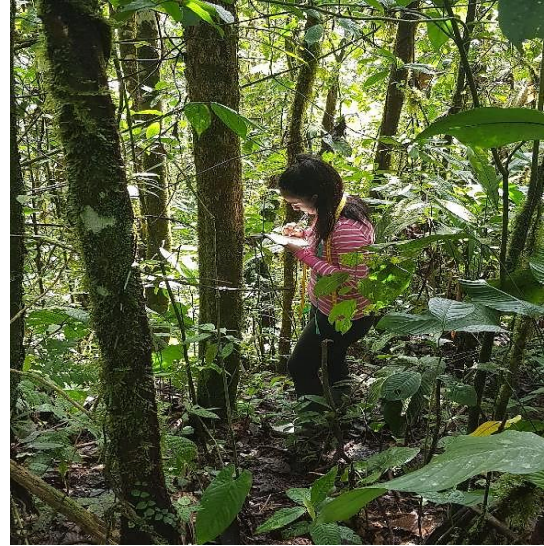


Foto 6. Establecimiento de parcelas de medición e identificación de árboles con diámetro mayores o iguales a 10 cm.



Foto 7. Secado de las muestras para los respectivos análisis de los parámetros físicos.



Foto 8. Tamizado respectivo de todas las muestras recolectadas.



Foto 9. Análisis de la conductividad hidráulica saturada por el método de carga variable.



Foto 10. Análisis de la porosidad por el método de la mesa de tensión o saturación.



Foto 11. Filtración de las muestras del suelo preparadas para el análisis de acidez y aluminio intercambiable.



Foto 12. Análisis de la textura por el método de Bouyoucos.