



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

CARRERA

INGENIERIA AMBIENTAL

DENOMINACIÓN DEL TÍTULO A OBTENER

INGENIERIA AMBIENTAL

TEMA

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO BAJO DISTINTOS USOS DE
LA TIERRA MEDIANTE PARÁMETROS AMBIENTALES EN LA
COMUNIDAD SIMÓN BOLÍVAR, PARROQUIA FÁTIMA - PROVINCIA DE
PASTAZA.

AUTORES

ANA RAQUEL ROSILLO TORRES

MARÍA BELÉN ALDAZ TUBÓN

DIRECTOR DEL PROYECTO

PHD. CARLOS ALFREDO BRAVO MEDINA

PUYO-ECUADOR

2017 - 2018

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.	12
1.1. INTRODUCCIÓN	12
1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.3. HIPÓTESIS.	14
1.4. OBJETIVOS:	14
1.4.1. Objetivo General. -.....	14
1.4.2. Objetivos Específicos. -.....	14
 CAPÍTULO II.	 15
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.	15
2.1. USO DE LA TIERRA	16
2.2.IMPACTOS DEL CAMBIO DEL USO DE LA TIERRA	20
2.2.1. Degradación del suelo	20
2.2.2. Erosión.....	21
2.2.3. Compactación del suelo.....	21
2.3. PROPIEDADES DEL SUELO	22
2.3.1. Propiedades físicas.	22
2.3.1.1. La textura.	22
2.3.1.2. La estructura.....	22
2.3.1.3. La consistencia.	22
2.3.1.4. La densidad Aparente (Da).	22
2.3.1.5. La aireación.....	23
2.3.1.6. El color del suelo.	23
2.3.2. Propiedades Químicas	23
2.3.2.1. pH del Suelo	23
2.3.2.2. Capacidad de Intercambio Catiónico.....	23
2.3.2.3.Materia orgánica.....	23
 CAPÍTULO III.	 24
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.1. LOCALIZACIÓN	24
3.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	25
3.3.USOS DE TIERRAS EVALUADOS	25
3.4.TIPO DE INVESTIGACIÓN	26
3.4.1.Investigación Exploratoria	26
3.5. MUESTREO DE CAMPO	26
.....	27

3.6.EVALUACIÓN DE VARIABLES	27
3.6.1. Evaluación de variables morfológicas y topográficas.....	27
3.6.2. Evaluación de variables físicas	27
3.7. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.	28
3.8. ANÁLISIS DE LABORATORIO	31
3.8.1. Análisis Físicos	31
3.8.2. Análisis Químicos	34
3.9. OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL SUELO.....	34
CAPÍTULO IV.	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES DE MUESTREO DE LAS FINCAS.	37
4.1.1. CARACTERISTICAS FÍSICAS.....	37
4.1.2. CARACTERISITICAS QUÍMICAS	41
4.1.3. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS.	48
4.2. SELECCIÓN DE INDICADORES DE LA CALIDAD FÍSICA-QUÍMICA DE LOS SUELOS MEDIANTE ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES Y CORRELACIÓN DE PEARSON.....	50
4.2.1. Análisis de Componentes Principales	50
4.3. OBTENCIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD FÍSICO QUÍMICO DEL SUELO BAJO DIFERENTES USOS DE LA TIERRA.....	54
4.3.1. Índice de Calidad física del suelo (ICFS)	54
4.3.2. Índice de Calidad químico del suelo (ICQS).....	55
CAPÍTULO V.	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1. Conclusiones	58
5.2. Recomendaciones.....	59
CAPÍTULO VI.	60
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	60
CAPITULO VI.	63
ANEXOS.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis comparativo de uso del suelo y cobertura vegetal.....	19
Tabla 2. Aptitud del suelo según actividad agropecuaria de la zona 3.....	20
Tabla 3. Indicadores de calidad de suelos, unidades de medida, valores máximos y mínimos, definidos según el tipo de uso de la tierra.	35
Tabla 4. Clases de Calidad de suelo	36
Tabla 5. Parámetros morfológicos con respecto a dos profundidades en la comunidad Simón Bolívar.....	49
Tabla 6. Componentes físicos y químicos del suelo bajo distintos usos de la tierra, comunidad Simón Bolívar.....	50
Tabla 7. Matriz de Análisis de componentes principales.	51
Tabla 8. Coeficiente de correlación para las distintas variables para los diferentes atributos físico químicos del suelo bajo los diferentes usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.	53
Tabla 9. Índice de calidad físico del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar en profundidad de 0-10cm.	54
Tabla 10. Índice de calidad físico del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar en profundidad de 10-30 cm.....	55
Tabla 11. Índice de calidad químico del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar en profundidad de 0-10 cm.....	56
Tabla 12. Índice de calidad químico del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar en profundidad de 10-30 cm.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica	25
Figura 2. Esquema de muestreo sistemático para el estudio de suelo, en cada uso de tierra y vegetación seleccionado (Bravo et al., 2016).	27
Figura 3. Procedimiento para determinar la textura del suelo.....	30
Figura 4. Densidad aparente en relación a las dos profundidades del suelo en la comunidad Simón Bolívar.....	37
Figura 5. Conductividad Hidráulica saturada (Ksat) del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.	38
Figura 6. Porosidad total del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.	40
Figura 7. Porosidad aireación del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.....	40
Figura 8. Porosidad de retención del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.....	41
Figura 9. Carbono Orgánico total del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.....	42
Figura 10. Valores obtenidos de pH del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.....	43
Figura 11. Valores de Acidez intercambiable del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.....	43
Figura 12. Aluminio intercambiable del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.....	44
Figura 13. Fósforo del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar	45
Figura 14. Valores de potasio en el suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.....	46
Figura 15. Calcio en el suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar	46
Figura 16. Magnesio en el suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar	47

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación dedico a Dios por darme conocimiento y fortaleza para cumplir una meta más en mi vida., a la mejor persona que conozco en el mundo mi madre Teresa Tubón, mi razón en todo momento por ser el motor de mi vida, por tenerme paciencia para todas mis actitudes y por mostrarme día a día que con humildad, paciencia y sabiduría todo es posible.

A mi hermano que ya no se encuentra conmigo, Dios se lo llevó a su lado; sin embargo, prevalece en mi mente y en mi corazón.

A mi amiga Anita Rosillo por ser esa amiga en quien puedes compartir tus alegrías y confiar tu tristeza, por haber formado parte de este proyecto y lograr culminar esta etapa universitaria.

María Belén Aldaz Tubón

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación le dedico a Dios ya que fue quien me regalo el deseo de superación, por darme sabiduría y entendimiento por mostrarme día a día que con humildad, paciencia y sabiduría todo es posible.

A mis padres Alegría Torres y Avelino Rosillo a quienes valoro muchísimo, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, por sus consejos, por la motivación constante que me ha permitido ser una mejor persona, por todos sus ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan, por el valor mostrado para salir adelante y por su inmenso amor.

A mi hermana a quien Dios se la llevó a su lado; pero siempre prevalecerá en mi mente y en mi corazón.

A mis hermanos Rene, Enith, Elza, Daniela y Roció que con sus palabras de aliento supieron llegar a mí, por su apoyo incondicional en todo momento.

A mi pequeña princesa Aitana Jaleth quien llego a mí en el momento indicado, que con sus locuras y risas llenan mi vida, por quien lucho cada día, para ser la madre que ella se merece.

A mi compañero de lucha Alexander Chiliquinga, por siempre haberme dado fuerza y apoyo cada día, por su paciencia y amor incondicional.

A mi primo Christian G. quien en cada momento estuvo enviándome palabras de superación y siempre me echaba porras para nunca decaer.

Y por último y no menos importante, a mi amiga Belén Aldaz quien en esta etapa de mi vida se ha convertido en una hermana más, gracias por tus consejos, por las largas charlas y por siempre mostrarme los errores que cometo en todo momento, además de ser mi compañera de este proyecto.

Ana Raquel Rosillo Torres.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a Dios, por brindarme salud y vida por darme las fuerzas necesarias en los momentos en que más lo necesité y bendecirme con la posibilidad de caminar a su lado durante toda mi vida.

Agradezco a la Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ingeniería Ambiental por ser parte primordial de mi formación profesional. Al Dr. Carlos Bravo por entregarme sus conocimientos y ser guía de este proyecto de investigación.

A los docentes de la institución que sin su ayuda no fuese posible alcanzar los conocimientos adquiridos que me llevaron a cumplir diferentes metas y que contribuyen sin lugar a duda con el proceso de formación profesional.

María Belén Aldaz Tubón

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por haberme guiado por el mejor camino, por darme salud y fuerzas en todo momento.

Agradezco infinitamente a la Universidad Estatal Amazónica, por ser parte de mi formación académica, a mi Tutor Dr. Carlos Bravo por guiarme, por brindarme sus conocimientos y siempre despejar mis dudas, sin el cual no hubiese podido culminar mi proyecto.

A cada uno de los docentes de la institución que impartieron sus conocimientos para así poder alcanzar cada una de las metas propuestas, además que asistieron en el proceso de desarrollo profesional.

A todas aquellas personas con quienes compartí mi faceta universitaria.

Ana Raquel Rosillo Torres.

RESUMEN

La definición más aceptada de calidad del suelo es la capacidad que tiene para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o antropogénico, mantener la productividad de plantas y animales, salvaguardar la calidad del aire y del agua, sostener la salud humana y el hábitat. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad del suelo bajo distintos usos de la tierra mediante parámetros ambientales en la comunidad Simón Bolívar de la Parroquia Fátima, provincia Pastaza. Se muestrearon seis usos de la tierra entre pastos y chakras evaluado a dos profundidades (0-10 y 10-30 cm), para cada uso se creó un transecto con cinco puntos de muestreo para determinar indicadores físicos y químicos. Se usó un análisis de componentes principales y la correlación de Spearman para elegir el grupo de indicadores seleccionando las variables de mayor carga y grado de agrupación. Se establecieron valores máximos y mínimos para cada indicador diferenciados del valor medido, reflejando los indicadores para la obtención de los índices de calidad física oscilando entre alta y moderada calidad y química de moderada a baja calidad del suelo, respectivamente. En las propiedades físicas se obtuvo en los usos de Chakra y Pastos están influenciadas por el contenido de materia orgánica y muestran un adecuado funcionamiento físico que se refleja en los valores medios de D_a , K_{sat} y porosidad indicando un nivel adecuado de aireación e infiltración, retención de humedad interpretando que no existen problemas de compactación. Las propiedades químicas en suelos evaluados reflejan una fertilidad baja, pH muy ácido, media-baja presencia de aluminio intercambiable y disponibilidad de nutrientes relacionado a las condiciones climáticas.

Palabras Claves: Uso de la Tierra, índice de calidad, Indicadores físicos y químicos, Fátima, Región amazónica.

SUMMARY

The definition most accepted of quality of the soil is the capacity that has to work inside the limits of a natural ecosystem or anthropogenic, to support the productivity of plants and animals, to safeguard the quality of the air and of the water, to support the human health and the habitat. The present work has as aim evaluate the quality of the soil under different uses of the land by means of environmental parameters in the community Simón Bolívar of the Parish Fátima, province Pastaza. Six uses of the land were sampled between pastures and chakras evaluated to two depths (0-10 and 10-30 cm), for every use a transecto was created by five points of sampling to determine physical and chemical indicators. There was used an analysis of principal components and Speerman's correlation to choose the group of indicators selecting the variables of major load and degree of group. There were established maximum and minimal values for every indicator differentiated from the measured value, reflecting the indicators for the obtaining of the indexes of physical quality ranging between high and moderate quality and chemistry of moderated to low quality of the soil, respectively. In the physical properties it was obtained in Chakra's uses and Pastures are influenced by the content of organic matter and show a suitable physical functioning that is reflected in the average values of It Gives, Ksat and porosity indicating a suitable level of aeration and infiltration, retention of dampness interpreting that do not exist problems of compaction. The chemical properties in evaluated soils reflect a low fertility, pH very acid, average - fall attends of exchangeable aluminium and availability of nutrients related to the climatic conditions.

Key words: Use of the Earth, index of quality, physical and chemical Indicators, Fátima, Amazonian Region.

CAPÍTULO I.

1.1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso no renovable, dinámico y vivo, vital para la producción de alimentos y para el mantenimiento regional y global. Es uno de los recursos naturales de la tierra menos conocido con referencia al aire y al agua. Sin embargo, el suelo es de gran importancia para el equilibrio de la tierra ya que es la relación entre la litosfera, la atmosfera, la hidrosfera y la biosfera (Vargas, 2010).

El cuidado del suelo es esencial para la supervivencia de la raza humana. El suelo produce la mayor parte de los alimentos necesarios, fibras y madera. El suelo es un medio Tridimensional que cumple una extensa variedad de funciones ecológicas y socioeconómicas. Es un medio complejo formado por una matriz porosa, en la que el aire, el agua y la biota actúan conjuntamente con los flujos de sustancias y líquidos que existen entre estos elementos. Las alteraciones de los procesos edáficos producen cambios en el funcionamiento de los ecosistemas, y muchos problemas medioambientales que cobran visibilidad en otros medios se originan en realidad en el suelo (Suquilanda, 2008).

Uno de los problemas ocasionados en el suelo de mayor relevancia es el enorme crecimiento poblacional a escala nacional y mundial que implica una serie de cambios en la estructura y composición. El crecimiento desmesurado de los núcleos urbanos es evidente en muchos países latinoamericanos y es también llamado “urban sprawl”, proceso de crecimiento de las ciudades que avanza principalmente por zonas naturales que prestan importantes servicios ambientales (Campusano, 2007).

La problemática ambiental en el Ecuador, según el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017 afirma que; es considerado uno de los diecisiete países mega diversos del mundo, con grandes recursos naturales, que a su vez ha sufrido un gran impacto de las actividades productivas, debido a las necesidades de su población (Silva, 2015).

Al poseer grandiosos recursos la Amazonía Ecuatoriana sufre la intervención del hombre de forma incontrolada a través de la tala indiscriminada de árboles, para posteriormente introducir la ganadería con pastos de mala calidad y desarrollar una actividad agrícola muy rudimentaria. Todo esto ha traído como consecuencia la pérdida de especies de árboles autóctonos de la región y la afectación de los suelos por un mal manejo agronómico (Martín & Pérez, 2009).

La ganadería es la actividad humana que ocupa una mayor superficie en la tierra causando degradación de los suelos principalmente por el sobrepastoreo, la compactación y la erosión resultantes de la acción del ganado. Además, es el responsable de la contaminación atmosférica al emitir gases de efecto invernadero y responsable de casi las dos terceras partes (64%) de las emisiones antropogénicas de amonio que contribuyen significativamente a las lluvias acida y a la acidificación de los ecosistemas, es considerada también la causa principal de la pérdida de la biodiversidad (Ruiz & GZ-Janica, 2012).

Según Montalvo (2013), el suelo ha quedado dañado por un manejo abusivo de los plaguicidas en la agricultura, puesto que éstos pueden quedar retenidos en el suelo, en las arcillas y en la materia orgánica, provocando una pérdida de la fertilidad a causa de los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Esta situación tiene repercusiones en la productividad de la agricultura, evidenciándose repercusiones no solo a nivel ambiental sino económico y social.

En la provincia de Pastaza se encuentra ubicada la parroquia Fátima con una extensión de 93 Km², en donde los pobladores se dedican en su mayoría a la ganadería y a cultivos agrícolas, pero no para la comercialización más bien para su propio consumo. Al poseer varios patrimonios naturales y culturales dando usos diferentes y recreativos han sido modelo para comunidades vecinas (Jimenez E. , 2013).

El presente proyecto pretende evaluar la calidad del suelo mediante parámetros físicos y químicos, proponiendo seis usos de la tierra centrándose entre los sistemas agrícolas y ganaderos con el objetivo fundamental de generar información base para valorar el estado actual del suelo en la comunidad.

1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

Las zonas de la región amazónica están atravesando un gran problema ambiental que se centra particularmente en la degradación del suelo. La comunidad Simón Bolívar es una de las zonas que se encuentra amenazada por la intervención del hombre a través de la tala indiscriminada de árboles, que a su vez desarrolla una actividad agrícola muy rudimentaria e introduce la ganadería con pastos de mala calidad lo que acelera los procesos de degradación de suelos desmejorando su calidad, considerando que constituye uno de los problemas medioambientales y la principal amenaza para la conservación de la biodiversidad.

1.3. HIPÓTESIS.

El cambio de uso de la tierra de bosque a sistemas ganaderos y agrícolas genera un impacto negativo a las propiedades físicas y químicas del suelo asociadas a la calidad del suelo.

1.4. OBJETIVOS:

1.4.1. Objetivo General. –

Evaluar la calidad del suelo bajo los distintos usos de la tierra mediante parámetros ambientales en la comunidad Simón Bolívar de la provincia de Pastaza.

1.4.2. Objetivos Específicos. -

- a) Analizar las propiedades físicas y químicas de los suelos bajo diferentes usos como la agricultura y ganadería.
- b) Seleccionar un grupo de indicadores de suelo que describan el impacto de uso de la tierra que conllevan al deterioro de la capacidad productiva mediante un análisis multivariado.
- c) Obtener el índice de calidad del suelo (ICS) mediante parámetros físicos y químicos, en los diversos usos de agricultura y ganadería.

CAPÍTULO II.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.

La definición más completa y globalmente aceptada define la calidad como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o antropogénico, mantener la productividad de plantas y animales, salvaguardar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat. Es ineludible evaluar y monitorear la calidad con el objetivo de optimizar o conservar la fertilidad y la productividad del suelo, así garantizando la sustentabilidad de los agro ecosistemas, como parte de las estrategias para alcanzar, resulta necesario la selección y uso de indicadores de calidad que faciliten información sobre los cambios generados en las propiedades edáficas (Vallejo, 2013).

El suelo no puede entenderse de manera aislada de los factores con los que interactúan, ya sean estos de origen natural o humano, está en constante transformación en la superficie de la corteza terrestre, influenciada por la degradación química de la roca madre y la interacción dinámica con los seres vivos, proceso que facilita el desarrollo de estructuras en horizontes que con llevan a los diferentes tipos de suelo. En el Ecuador se ha visto constantemente afectado por factores ambientales como: el calentamiento global, la intensa actividad antrópica, el crecimiento demográfico y por los desequilibrios socioeconómicos que provocan problemas ambientales de los cuales el suelo no está al margen del peligro (GeoEcuador, 2008).

La región amazónica representa una de las zonas con mayor biodiversidad y riqueza de recursos naturales. Esta gran cantidad de recursos requieren ser conservados y manejados con criterios de sustentabilidad, donde es perceptible la expansión de la frontera agrícola, repercutiendo la destrucción de sus bosques el cual representa el mayor impacto socio-ambiental a la Amazonía. Desde el punto de vista de la capacidad de uso del suelo, en la Amazonía ecuatoriana más de la mitad del territorio (52,7 %) tiene potencial para uso como bosque, el enfoque del manejo sustentable y agroecológico instaura como principio

que cualquier sistema de producción a desarrollar debe estar basado en usos compatibles con el ecosistema. (Bravo *et al.*, 2017).

El bosque en la Amazonía representa el ecosistema más importante por todo el papel ecológico relacionado con los servicios ecosistémicos que pueden proporcionar, dicha región por estar ubicada geográficamente en el cinturón del globo terrestre, comprende el 2 % de la cuenca del río Amazonas, con una extensión territorial de 116.441 Km² y representa en superficie la región natural más grande del Ecuador (Miranda *et al.*, 2017). Además, relata que entre las provincias de la región amazónica, Pastaza es la que ocupa una mayor superficie y cuenta con una extensión del 29.773 Km², donde 430 mil hectáreas de tierra son utilizadas en usos agropecuarios y afines, representando el 28% del total de la región y el 3% del total del país. En esta provincia la existencia de montes y bosques ocupan el 81% de la superficie, que corresponden a la selva amazónica inexplorada e inexplorada, seguida de pastos cultivados con el 15%, y apenas el 3% con cultivos permanentes.

La parroquia Fátima se encuentra ubicada en la provincia de Pastaza en la región amazónica del Ecuador, su extensión es de 93 Km², limita al Norte: con la parroquia Teniente Hugo Ortiz, Sur: con las parroquias Puyo y Diez de Agosto, Este: con la parroquia Diez de Agosto y Oeste: con la parroquia Mera, del cantón Mera. Está parroquia cuenta con varios patrimonios naturales y culturales por lo que se ha convertido en un modelo para comunidades vecinas, sin embargo, la difusión de este conjunto de atractivos es solamente a nivel provincial. Además, los pobladores en su mayoría se dedican a la ganadería y a cultivos agrícolas, pero no para la comercialización más bien para consumo (Jimenez E. , 2013).

2.1. USO DE LA TIERRA

En los últimos años se ha aumentado el interés en evaluar la calidad y la salud del recurso suelo debido a que es un componente fundamental de la biosfera. La calidad del suelo de diversas áreas de nuestro planeta ha decaído significativamente desde que sistemas pastoriles o forestales fueron paulatinamente sustituidos por la actividad agrícola (Bravo *et al.* 2017; Ferreras *et al.*, 2007).

Normalmente el uso de la tierra es definido en un contexto económico, así que se piensa en el suelo que es utilizado para agricultura, ganadería, residencias, comercio, y otros fines (Ministerio de agricultura, 2015).

El cambio de uso de la tierra de gran impacto se ha observado durante los últimos 30 años donde se considera una fuerte disminución de la superficie dedicada a bosques, a causa de la deforestación que ha sido dedicada a pasturas ya sea directamente, o luego de haber sido usada en cultivos anuales, sin embargo en los últimos años se ha incrementado el abandono de áreas cubiertas por pasturas por la degradación que estas han sufrido por la utilización de especies inapropiadas o por carencias en el manejo; a raíz de esto se pretende dar a conocer a la sustentabilidad agrícola como la capacidad de un agroecosistema de conservar la calidad y cantidad de los recursos naturales a mediano y largo plazo, estableciendo la productividad agrícola con relación a los impactos del ambiente y atendiendo las necesidades sociales y económicas de las comunidades rurales (Chimborazo, 2017).

Actualmente en el Ecuador la perspectiva agraria se encuentra dividido en zonas de cultivo agropecuario y en zonas de reserva natural; estas se preservan porque contienen recursos que permiten la resistencia de los seres vivos (Diaz, 2011).

La estadística del Banco Central respecto a la importación de insumos para la actividad agrícola se ha incrementado sistemáticamente, debido al fenómeno de desgaste de los suelos y de la extensión de la superficie agrícola. Las importaciones de insumos agrícolas FOB del 2000 fueron 212,4 millones de USD y en el 2006 se incrementaron a 380,45 millones de USD (GeoEcuador, 2008).

En la Amazonía ecuatoriana, la expansión de la frontera agrícola y su consecuente destrucción de los bosques ha permitido el desarrollo de sistemas ganaderos y agrícolas que afectan los recursos naturales, en especial el componente suelo, donde sus propiedades físicas, químicas y biológicas pueden perjudicar la calidad y fertilidad integral (Bravo *et al.*, 2017).

En la provincia de Pastaza la ganadería es la principal fuente de ingresos para la mayoría de las familias, especialmente en el sector de 10 de agosto, Triunfo, Veracruz, Fátima, Santa Clara, San Jorge y San José. Debido a la baja rentabilidad de la agricultura, los colonos y algunos pueblos indígenas cercanos a las vías de comunicación, se han inclinado por la ganadería extensiva y el pastoreo debido a la abundancia de tierras (Pastaza, 2014).

Dicha actividad está vinculada a la disminución de la cobertura boscosa como factor desencadenante del deterioro ambiental con áreas de pastos en proceso de degradación, esto concuerda cuando se compara la tasa de deforestación de Pastaza en dos periodos; para los años 1990-2000 se deforestaron 2432 ha, mientras que para el periodo 2000-2008 fueron 4773 ha. Esto se agrava acompañado de la implementación de prácticas de manejo inapropiadas como: quemas, labranza intensa del suelo, ausencia de cobertura vegetal, manejo ineficaz de la fertilidad del suelo y sobre pastoreo, provocando consecuencias para la biodiversidad, para los recursos bases que sostienen la producción ganadera, compactación y erosión de los suelos, asimismo, han aportado a la ruptura del balance hídrico en las cuencas y al incremento de la emisión de gases que aportan al calentamiento global (Chimborazo, 2017).

La baja sustentabilidad a nivel de finca está asociada a una serie de indicadores como ausencia del uso de prácticas agrícolas con una perspectiva agroecológica, baja diversidad de actividades productivas donde la ganadería y la agricultura se relacionen, bajo acompañamiento técnico, escasas prácticas de manejo ligadas a la ganadería, pérdida de la población rural, con consecuencias sociales, económicas y políticas (Benitez, 2013; Bravo *et al*, 2015).

Entre los principales cultivos de la Provincia de Pastaza, se anota a los siguientes:

- La caña de azúcar. - Constituye el cultivo comercial e industrial más importante de la Provincia de Pastaza, sin embargo, ha venido decayendo en la última década debido a problemas de organización, comercialización y monopolización (Mariño, 2002).
- La Naranja. - Producto de mayor adaptación al suelo de la Provincia y de mayor interés agrícola, ya que es una de las fuentes monetarias más importantes para un considerable grupo de agricultores (Ibídem).

- El plátano. - En la provincia, el principal cultivo permanente es de plátano con 2.687 hectáreas, representa el 42% de la superficie cultivada (GADPPz, 2012).
- La yuca. - es el segundo producto cultivado en Pastaza con 515 has se lo practica en pequeña unidad de producción siendo un cultivo transitorio (Ibídem).
- Papa China. - El cultivo ha demostrado ser según sus condiciones agro climáticas una opción de producción ecológica, que permite el desarrollo socioeconómico y cultural de los agricultores, la conservación de los recursos naturales y se reduce los impactos ambientales negativos (GADPPz, 2014).

Según GADPPz, (2008) indica un cuadro comparativo (Tabla 1) del uso del suelo y cobertura vegetal de la provincia de Pastaza, del período 1990-2008, muestra el avance de la intervención antrópica inadecuada, como principal peligro para la conservación del bosque primario amazónico.

Tabla 1. Análisis comparativo de uso del suelo y cobertura vegetal.

Uso y cobertura vegetal	Año 1990 (Ha)	%	Año 2008 (Ha)	%	Diferencia (Ha)	%
Bosque	2.669.506,06	90,06	2.612.822,65	88,15	56.683,41	2,12
Vegetación arbustiva y herbácea	47.815,14	1,61	34.328,79	1,16	13.486,35	28,21
Humedales	131.041,17	4,42	96.562,15	3,26	34.4709,02	26,31
Áreas agropecuarias	99.858,86	3,37	205.470,43	6,93	105.611,57	105,76
Zonas urbanas	171,76	0,02	2.454,73	0,08	1.736,97	242,00
Otras áreas	5.393,20	0,28	2.961,75	0,09	2.701,46	50,09
Área indeterminada	9.819,78	0,33	9.821,47	0,33		
TOTAL	2.964.151,97	100,00	2.964.151,97	100,00		

Fuente: GADPPz, (2008).

Según el MAGAP, (2015) muestra los resultados de las encuestas de superficie y producción del 2013 en la zonificación 3 en el cual la provincia cuenta con los siguientes resultados;

El Ecuador se encuentra dividido en 7 zonas, la zona estudiada se encuentra en la provincia de Pastaza en la zona 3, en la (Tabla 2) muestra Ha y % según las actividades en el suelo ocupado.

Tabla 2. Aptitud del suelo según actividad agropecuaria de la zona 3.

Provincia	Aptitud agrícola		Aptitud forestal		Aptitud para pastos		Total	
	Ha	%	Ha	%	ha	%	ha	%
Pastaza	263,042	9%	1'818.504	61%	347.369	12%	2'429.005	81%

Fuente. MAGAP,(2015).

2.2.IMPACTOS DEL CAMBIO DEL USO DE LA TIERRA

El uso actual que se le da a la tierra, produce mejores posibilidades para la región, y a la vez consecuencias como: la erosión y pérdida de fertilidad, la desertificación, la deforestación, la degradación, la salinización y alcalinización de suelos bajo riego y la sub-utilización de tierras agrícolas (Rojas & Ibarra, 2008).

En cualquier sitio la producción agrícola constituye la interacción del suelo y factores meteorológicos; sistemas de cultivo; actividades de siembra y labranza; uso de productos químicos (formulaciones, dosis, localización, tiempo y método de aplicación); irrigación (métodos de aplicación, calidad del agua, cantidades, frecuencia de aplicación); y métodos de cosecha y disposición de residuos. Las actividades pueden impactar los sistemas naturales perturbando procesos de transporte (erosión hídrica y eólica, escurrimiento superficial, infiltración del agua en el suelo) y transformación (química, física y biológica) (Ibídem).

2.2.1. Degradación del suelo

La degradación del suelo es definida como la pérdida de su productividad y utilidad actual, que involucra la decadencia del suelo en su capacidad inherente para promover bienes y servicios y para efectuar sus funciones de regulación ambiental. Una de las funciones del suelo como son la capacidad de regulación ambiental corresponde al bienestar de la humanidad y estas dependen de la calidad del suelo y de sus propiedades (Lopez, 2002). Los suelos de la Amazonía son caracterizados por una baja fertilidad, alta acidez y toxicidad causadas por el aluminio, deficiencia de fósforo. La degradación de suelos en la

Amazonía principalmente es producida por el mal manejo, la tala indiscriminada e introducción de la ganadería, unido al desconocimiento técnico, lo que ha propiciado que una gran cantidad de pequeños productores abandonen la siembra de cultivos, debido a los rendimientos cada vez más bajos y una mala calidad de los productos (Martín & Pérez, 2009).

2.2.2. Erosión

La erosión es el proceso de desprendimiento y acarreo del suelo y/o fragmentos de roca por acción del agua, el viento, el hielo o la gravedad, también es conocido como un fenómeno ligado a la evolución fisiográfica de la corteza terrestre, que a través de su acción lenta y efectiva ha contribuido a esculpir el relieve terrestre (Lopez, 2002).

En la región amazónica gracias a la protección eficaz prodigada a los suelos por la vegetación arbórea es menos susceptible a la erosión, sin embargo, empezaron a revelarse riesgos de erosión cuando la selva fue reemplazada por la agricultura a raíz de un proceso masivo de colonización agrícola. Pero actualmente hay poca erosión en la llanura amazónica, pero es posible encontrar ejemplos de erosión activa y de desgaste en las zonas antiguas de colonización, por ejemplo en Zamora, Puyo, Tena y Baeza, etc (Custode & Viennot, 1990).

2.2.3. Compactación del suelo

Es uno de los procesos de degradación de suelos más amplios y crecientes, está asociado a un uso más intensivo, la mecanización de la labranza y otras prácticas de manejo del cultivo, esto provoca una reducción en el volumen, en la distribución de tamaño y forma de los poros, lo cual afecta en sentido negativo a la capacidad de aireación del suelo, el intercambio de gases con la atmósfera, la capacidad de retención de agua, la conductividad hidráulica, la consistencia del suelo, y la resistencia mecánica al desarrollo de las raíces; afecta directamente al crecimiento de las plantas y la producción de cultivos, y provocar efectos indirectos como incrementos en los riesgos de erosión del suelo, de anegamiento y de pérdidas de agua por escorrentía (Pla I. , 2015). En la amazonia se han realizado varios estudios de suelo pero concluyen que las diferencias fueron probablemente debidas a que el pisoteo del ganado podría favorecer una mayor compactación del suelo de estos pastizales (Jimenez, Mezquida, Benito, & Rubio, 2008).

2.3. PROPIEDADES DEL SUELO

2.3.1. Propiedades físicas.

Las propiedades físicas de un suelo, “pueden ser alteradas por el hombre o los animales, mediante la labranza y el pisoteo del ganado. Estas propiedades permiten transporte del aire, del calor, del agua y de sustancia solubles en el suelo” (Lopez, 2002).

Según Mendiola & Brack, (2012) menciona estas propiedades físicas:

2.3.1.1. La textura.

Son partículas minerales que constituyen el suelo y se clasifican por su tamaño en cuatro grupos como se describe

- Fragmentos rocosos: son piedras, grava y cascajo
- Arena: puede ser gruesa, fina y muy fina. Los granos de arena ásperos al tacto y no forman agregados estables, porque conservan su individualidad.
- Limo: al tacto es como la harina o el talco, y tiene alta capacidad de retención de agua.
- Arcilla: al ser humedecida es plástica y pegajosa; cuando se seca forma terrones duros.

2.3.1.2. La estructura.

Se define como la manera en que las partículas del suelo se agrupan, con la ayuda de agentes cementantes como la arcilla y la materia orgánica, formando agregados.

2.3.1.3. La consistencia.

Es la firmeza del suelo a ser modificado o amasado (ruptura o moldeado). Según su contenido de humedad puede ser seca, suave, mojada, duro y muy duro.

2.3.1.4. La densidad Aparente (Da).

La densidad aparente se define como la masa por unidad de volumen, incluyendo los espacios de poros, mientras que la densidad real no incluye el espacio poroso del suelo, es decir, es la densidad de las partículas que lo forman.

2.3.1.5. La aireación.

Está relacionada con el contenido de aire del suelo y es de gran importancia para el suministro de oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono en el suelo para lograr el desarrollo de los microorganismos y el normal funcionamiento de las raíces de las plantas.

2.3.1.6. El color del suelo.

Puede definir ciertas propiedades y su tono varío con el contenido de humedad.

- Rojo indica contenido de óxidos de fierro y manganeso.
- Amarillo indica óxidos de fierro hidratado
- Blanco y el gris indican presencia de cuarzo, yeso y caolín.
- Negro y marrón indican materia orgánica.

2.3.2. Propiedades Químicas

Algunas propiedades químicas del suelo descritas por Huerta,(2010) son;

2.3.2.1. pH del Suelo

Una de las características del suelo más importantes es su reacción, ésta ha sido debidamente reconocida debido a que los microorganismos y plantas superiores responden notablemente tanto a su medio químico, como a la reacción del suelo y los factores asociados con ella. Tres condiciones son posibles: acidez, neutralidad, y alcalinidad

2.3.2.2. Capacidad de Intercambio Catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de una muestra de suelo expresa: el número de moles de iones de carga positivos adsorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca, bajo unas condiciones dadas de temperatura, presión, composición de la fase líquida y una relación de masa-solución dada.

2.3.2.3. Materia orgánica

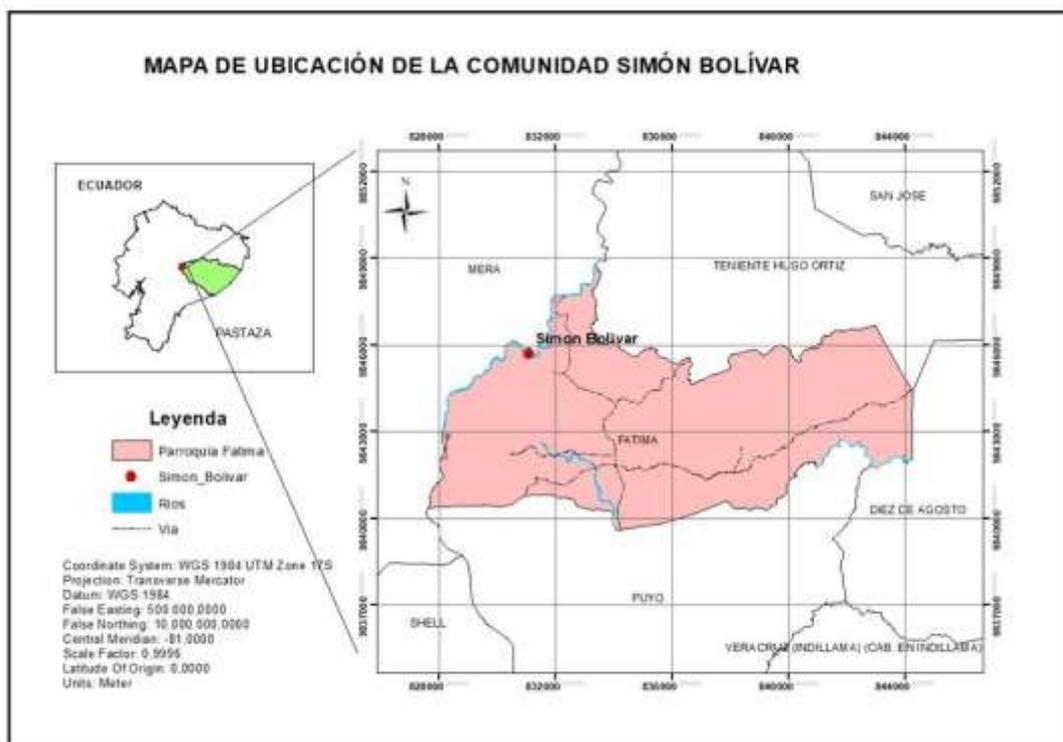
Constituye la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo, así como sustancias producidas por los organismos del suelo, la parte más estable de esta materia orgánica se llama humus, esta fracción regula los procesos químicos que allí ocurren y es el centro de casi todas las actividades biológicas en el mismo.

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

El área de estudio se localizó en la comunidad Simón Bolívar, parroquia Fátima, provincia



de Pastaza, tal como se muestra en la Figura 1.

Elaborado por: Rosillo & Aldaz, 2017

Figura 1. Ubicación geográfica

3.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La comunidad Simón Bolívar pertenece a la parroquia Fátima de Pastaza está rodeada de grandes recursos naturales, posee una hermosa belleza paisajística y valiosa riqueza, es una zona de alto grado de biodiversidad, tanto natural como cultural, la comunidad se dedica al cultivo orgánico para su sustento económico y alimenticio debido a que se encuentra dentro de un territorio de bosques tropicales y bosques nublados donde los suelos tienen una capa negra y son muy fértiles para el cultivo. Esta comunidad se encuentra aislada de la carretera, los comuneros realizan proyectos organizadamente de reciclaje, limpieza y así incrementar los cultivos. La economía en el lugar se basa en actividades como la Agricultura, ganadería y turismo comunitario (Jimenez E. , 2013).

Este estudio se realizó en un suelo manejado con bosque secundario, la misma que ha sido clasificada como Bosque siempre verde pie montano, a una altitud que va de 1200 msnm., con una precipitación promedio que oscila entre 3000 y 4000 mm distribuidos uniformemente durante todo el año y temperaturas promedio anuales entre 18 y 25°C (Bravo *et al.*, 2015).

3.3.USOS DE TIERRAS EVALUADOS.

El uso de tierras evaluados en el proyecto se codificó de la siguiente manera;

USOS	DESCRIPCION
Pasto con Árboles A	Pasto gramalote (<i>Axonopus scoparius</i>) y árboles, en su mayoría Pigue (<i>Piptocoma discolor</i>) 10, Palo de fósforo 1, guarumo (<i>Cecropia peltata</i>) 2 y guaba (<i>Inga edulis</i>) 1.
Pasto con Árboles B	Pasto gramalote (<i>Axonopus scoparius</i>) y árboles como Pigue (<i>Piptocoma discolor</i>) 40, Melastomataceae 4, Palo de fósforo 4, Pambil (<i>Iriartea deltoidea</i>) 1.
Pasto sin Árboles C	Pasto gramalote (<i>Axonopus scoparius</i>) se encuentre en crecimiento.
Chakra A	Guayaba (<i>Psidium guajava</i>) y plátano (<i>Musa × paradisiaca</i>), en el cual se pudo observó que la caña se está perdiendo.
Chakra B	Papa China (<i>Colocasia esculenta</i>), caña (<i>Saccharum officinarum</i>) y

	plátano (<i>Musa × paradisiaca</i>).
Chakra C	Café (<i>Coffea arabica</i>), plátano (<i>Musa × paradisiaca</i>) y caña (<i>Saccharum officinarum</i>).

3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. Investigación Exploratoria

La investigación exploratoria se fundamenta en medir parámetros ambientales para cada uso de tierra bajo una perspectiva agroecológica, tomando como referencia otros estudios realizados en la zona.

3.5. MUESTREO DE CAMPO

El estudio a nivel de campo comprendió una serie de pasos que de manera sistemática fueron los siguientes.

- a. Selección del uso de la tierra representativo en la zona (previo trabajo en oficina con las herramientas SIG).
- b. Establecimiento de transectos que cubran toda la variabilidad topográfica, vegetación y suelo en cada uso de tierra seleccionado.
- c. Localización sobre el transecto de cinco puntos de muestreo, de manera equidistante y en función del tamaño de la parcela.
- d. Establecimiento de una subparcela de 10 x 10 m en cada punto de muestreo (P1, P2, P3, P4 y P5), en la cual se recolectará cinco submuestras de suelo a dos profundidades (0-10 cm y 10-30 cm). Dichas muestras conformarán la muestra compuesta por punto y se usará para la evaluación de parámetros químicos. (Figura 2).
- e. En la parte central de la subparcela se colocará un cuadrante (0.25 m²), donde se tomará la muestra de biomasa (verde y hojarasca), las muestras no alteradas a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) para evaluación de parámetros físicos.
- f. En los usos de la tierra con árboles se establecerán tres parcelas temporales mediante una circunferencia con un radio de 15 a 30 m, donde se identificarán y se medirán árboles con diámetros mayores o iguales a 10 cm a la altura del pecho (Bravo *et al.*, 2016).

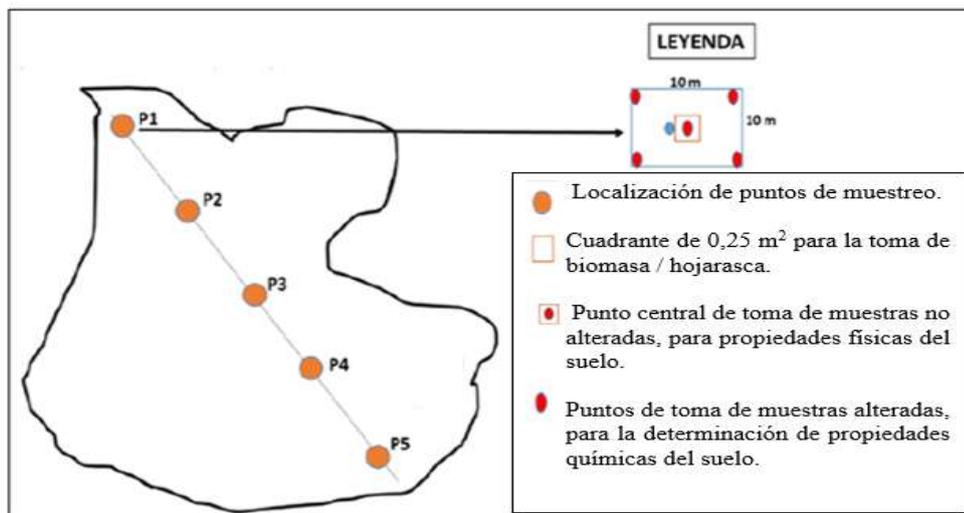


Figura 2. Esquema de muestreo sistemático para el estudio de suelo, en cada uso de tierra y vegetación seleccionado (Bravo *et al.*, 2016).

3.6. EVALUACIÓN DE VARIABLES

3.6.1. Evaluación de variables morfológicas y topográficas.

Las evaluaciones morfológicas y topográficas comprendieron una serie de parámetros asociados a la calidad del suelo y del paisaje usando metodologías sencillas (Hernández-Hernández *et al.*, 2011), entre ellos:

- a) Textura, estimada organolépticamente por el método de la cinta;
- b) Estructura, descrita morfológicamente usando una tabla de referencia (Granular, laminar o blocosa)
- c) Color, usando la tabla de Munsell;
- d) Erosión del suelo mediante la presencia o ausencia de surquillos, cárcavas,
- e) Pendiente usando un clinómetro;
- f) Altura msnm (GPS)

3.6.2. Evaluación de variables físicas

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 una toma muestra tipo Uhland, en los cuales se medirá las siguientes variables:

- a) Densidad aparente (D_a) usando el método del cilindro,
- 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 (Pa: poros de radio $>15 \mu\text{m}$),
- e) Porosidad de retención usando la mesa de tensión a saturación y a un potencial mátrico de -10 kPa.

3.7. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.

Muestras no Alteradas: comprendieron tanto las que no se remueven en las determinaciones directas en el campo, ya que se coloca "in situ" el equipo muestreador, como las que se extraen manteniendo el mismo volumen de suelo que ocupan en condiciones de campo. Para la extracción de estas muestras se utilizó un muestreador tipo Uhland.



Foto 1. Procedimiento para la toma de muestras no alteradas

Muestras Disgregadas: extraídas de los sitios de muestreo como pala, que no evitan la fractura en los planos más débiles que separan las unidades estructurales o agregados, pero sin desintegrarlos.

El objetivo de tomar muestras compuestas es minimizar la influencia de las variaciones tanto naturales, como las inducidas por el manejo, de ahí que la técnica de muestreo sea uno de los aspectos más importantes a considerar en un programa de análisis de suelo. Del tipo de muestra requerida dependerá el tipo de proceso de muestreo a planear (Foto1 y 2).



Foto 2. Extracción de muestras representativas.

Determinación de la textura del suelo.

Se realizó la textura al tacto, debido al sitio en donde se evaluó el suelo.

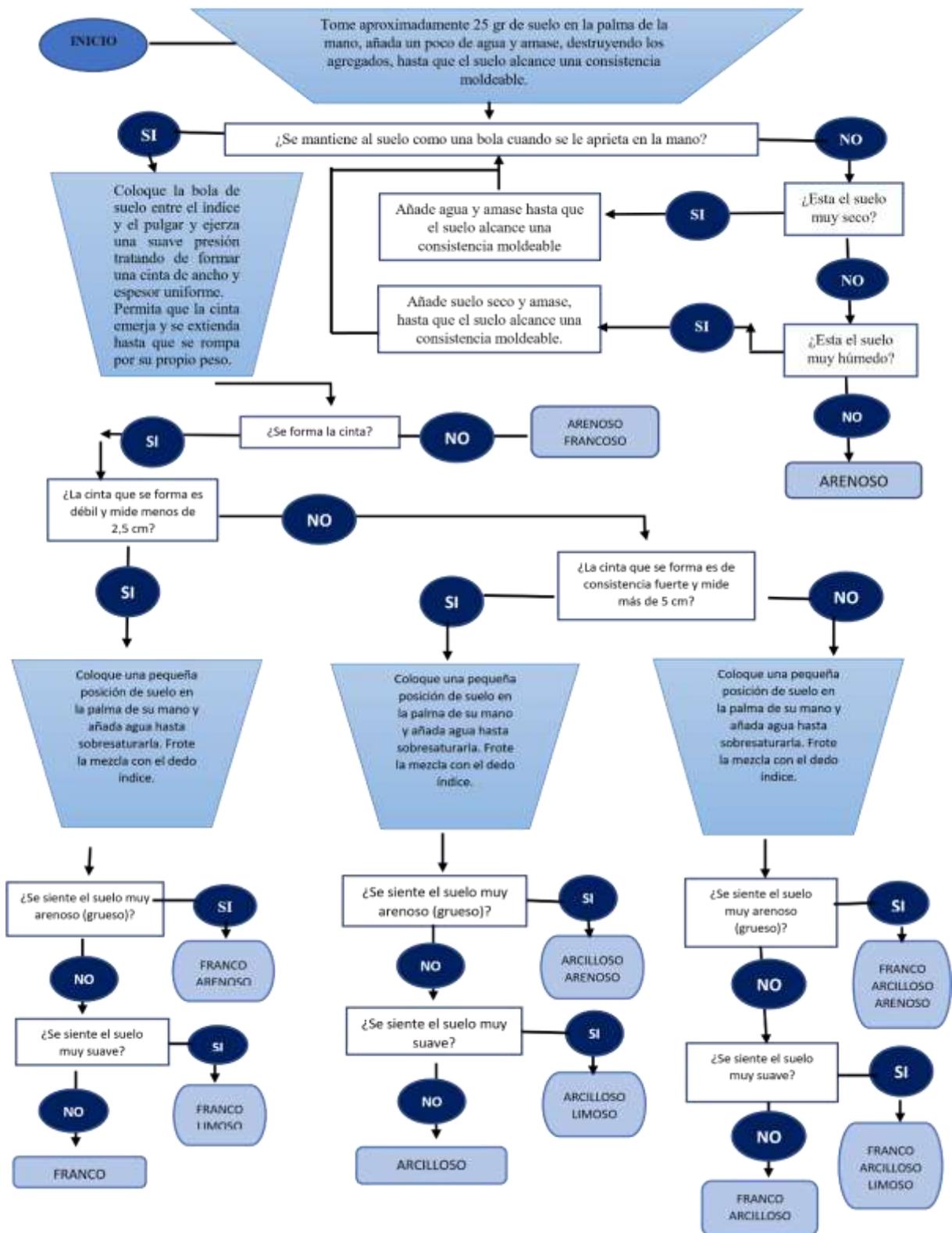


Figura 3. Procedimiento para determinar la textura del suelo.

3.8. ANÁLISIS DE LABORATORIO

3.8.1. Análisis Físicos

Procedimiento:

- Una vez obtenidos los cilindros de suelo en el campo, estos fueron trasladados al laboratorio para su preparación.
- En el laboratorio, con una navaja o espátula se le retira el suelo en exceso que se les dejó a las muestras para ajustarlas al tamaño del cilindro, teniendo cuidado de no sellar las superficies.
- En el extremo inferior se coloca a cada cilindro una cubierta de liencillo amarrada con una bandita de goma.



Foto 3. Preparación de muestras no alteradas.

- Los cilindros así preparados se ponen a saturar por capilaridad en una bandeja, sobre un soporte o anillo de manera que no se selle el fondo del cilindro. El agua en la bandeja debe alcanzar 1 cm por encima del fondo del cilindro.
- Una vez que los cilindros de suelo están saturados con agua (lo cual se comprueba por el aspecto brillante de la superficie superior), los cilindros se utilizan para la medición de la conductividad hidráulica. En el caso de que en un período de 48 horas aún no se haya logrado alcanzar la saturación, los cilindros se colocan en un aparato para hacer vacío a las muestras y se aplica una succión de 0,2 a 0,3 bares por una o dos horas, esto ayudará a extraer el aire de los poros facilitando la penetración de agua.
- Para la prueba de conductividad hidráulica (K_{sat}) por carga variable se les coloca a los cilindros una extensión de 5 cm de altura en la parte superior ajustada con una goma. Para este proceso se coloca el cilindro sobre un soporte o malla para evitar el contacto del borde inferior con el fondo de la bandeja.
- Los cilindros con la extensión se colocan sobre un frasco o que contiene un embudo y se le agrega agua hasta llenar la extensión.

- Una vez que comienza a salir agua por la parte inferior del cilindro, se comienza a contar el tiempo que se tarda en infiltrar toda el agua contenida en la extensión. Se anota el tiempo exacto requerido para ello.
- La prueba se puede prolongar hasta por 24 horas; después de transcurrido este período si no ha infiltrado toda el agua contenida en la extensión se mide el volumen recogido hasta ese momento, dando por terminada la determinación.
- Luego de la prueba se les retira el exceso de agua a los cilindros con un sifón y se colocan en un plato de porcelana previamente saturado a través de una manguera conectada a un frasco nivelador colocado unos 10 cm por encima de la superficie del plato.
- Se hace presión para establecer un íntimo contacto entre el suelo, la malla de liencillo y el plato de porcelana porosa. Se debe lograr que la humedad dentro del cilindro se equilibre nuevamente a punto de saturación, lo cual se logra en 3 a 4 horas.
- Luego de este período se pesan los cilindros saturados (a) y se vuelven a colocar de la misma forma sobre el plato de porcelana y estos se colocan en la mesa de tensión. Luego se baja el frasco nivelador a una altura que el nivel de agua en el frasco se mantenga 100 cm por debajo del nivel del plato, lo que provoca una succión de 10 kPa en el suelo que se encuentra en la parte central de los cilindros.
- Al mismo tiempo se mantiene saturada la zona por debajo del plato y se coloca la tapa a la mesa de tensión, dejando siempre una entrada de aire para mantener la presión atmosférica.
- Pasadas 48 horas se debe haber alcanzado el equilibrio y se procede a pesar nuevamente los cilindros hasta obtener peso constante (b) generalmente es necesario realizar varias pesadas.
- Alcanzado este peso se remueve el liencillo, la banda de goma y el cilindro de metal (c), esto último presionando por la parte superior con un envase plástico de diámetro ligeramente inferior al interno del cilindro de metal.
- Los cilindros de suelo sin su cubierta se colocan en una bandeja y se secan a estufa a 105 °C por 24 horas y se toma el peso seco (d).



Foto 4. Detalle de determinación de conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) por el método de carga variable.

Cálculos:

- 1) Conductividad hidráulica saturada con carga variable (K_{sat})

$$K_{sat} \text{ (cm/h)} = (H1 / \Delta t) * \text{Ln} (H2 / H3)$$

Donde;

K = Conductividad hidráulica saturada (cm/h)

$H1$ = Lamina de suelo (cm)

$H2$ = Altura del cilindro de suelo + extensión (cm)

$H3$ = Lámina de agua infiltrada (cm)

Δt = Tiempo transcurrido en recoger el agua percolada (h)

- 2) Distribución de tamaño de poros

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$PT(\%) = \frac{a - (c + d)}{v} * 100$$

$$Pa(\%) = \frac{a - b}{v} * 100$$

Donde:

V = Volumen del cilindro (cm³)

h = Altura del cilindro de aluminio (cm)

r = Radio del cilindro de aluminio (cm)

PT = Porosidad total (% v/v)

Pa = Poros de radio equivalente mayor a 15 μm (% v/v)

a = Peso saturado (g)

b = Peso constante (g)

c = Peso del liencillo, la banda de goma y el cilindro de aluminio (g)

d = Peso del suelo seco (g)

3) Densidad aparente

$$D_a \text{ (g/cm}^3\text{)} = d / V$$

Donde:

D_a = Densidad aparente (g/cm³)

V = Volumen del cilindro (cm³)

d = Peso del suelo seco (g)

3.8.2. Análisis Químicos

El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson y Sommer, 1982), para lo cual se realizó una oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1 N con adición de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por el Cr será medida por titulación usando una solución de sal de Morh 0.5 N ($H_2SO_4 + FeSO_4 \cdot 7H_2O$). El pH fue será medido por potenciometría (relación suelo-agua 1:2,5), las bases cambiables (Ca, Mg, K), contenido de fósforo y micro elementos fueron medidos por la metodología de Olsen modificado (Bertsh, 1995).

El número de lombrices se cuantificó en un área definida por una cuadrata de 0.25 m² considerando los primeros 10 cm de profundidad. En dicha cuadrata se recolectará las muestras de biomasa para determinar peso fresco tanto del verde como de la hojarasca, luego se colocarán en una estufa por un periodo aproximado de 24 horas a 70 °C para la determinación del peso seco (Bravo *et al.*, 2016).

3.9. OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL SUELO.

Para obtener el índice de calidad de suelo (ICS), se usó dos vías, primero se realizó un análisis componentes principales (ACP), utilizando un conjunto de variables que incluyeron parámetros físicos y químicos del suelo, usando el paquete estadístico SPSS, versión 21. Esto permitió reducir el número de variables y establecer las diferencias entre

los distintos usos de la tierra evaluados, así como para seleccionar mediante los 4 primeros componentes aquellas variables de mayor contribución para explicar las diferencias de calidad de suelo de usos seleccionados. Como segundo la selección de indicadores de calidad del suelo se aplicó la prueba de correlación Spearman ($P \leq 0.05$) para aquellas variables seleccionadas en el análisis de componentes principales.

Una vez seleccionados los indicadores se procedió a asignar las unidades de medida, el valor mínimo y máximo (Tabla 3) usando la metodología propuesta por (Cantu, Becker, Bedano, & Schiavo, 2007) para lo cual:

Tabla 3. Indicadores de calidad de suelos, unidades de medida, valores máximos y mínimos, definidos según el tipo de uso de la tierra.

Indicador	Unidad de Medida	I min	I max
Densidad aparente (Da)	Mg m ⁻³	0.27	1.20
Conductividad hidráulica saturada	(cmh ⁻¹)	0.5	1.20
Porosidad total (Pt)	%	55.00	95.00
Porosidad de aireación (Pa)	%	10.00	26.00
Porosidad de retención (Pr)	%	55.00	82.00
Carbono orgánico total (COT)	%	1.50	10.00
pH		4.00	6.50
Aluminio intercambiable (Al ⁺³)	meq/100 ml	0.12	1.50
Acidez intercambiable	meq/100 ml	0.50	3.00
Potasio intercambiable (K ⁺¹)	meq/100 g de suelo	0.01	0.45
Calcio intercambiable (Ca ⁺²)	meq/100 g de suelo	0.20	7.00
Magnesio intercambiable (Mg ⁺²)	meq/100 g de suelo	0.12	6.00

Tomado de: Bravo, (2014).

Para asignar el valor a cada indicador se consideró varios criterios: valores críticos, valores del suelo de referencia (Bosque Primario) y criterios teóricos. Para la densidad aparente (Da) se consideró como máximo el valor de referencia en base a la clase textural y mínimo el promedio de los valores de todos los usos de la tierra. Para la porosidad total (%), el mínimo se escogió de acuerdo a la clase textural (Texturas finas) y el máximo del conjunto de datos, la porosidad de aireación (Pa) se tomó como máximo el promedio de los valores del conjunto de datos y el mínimo por debajo del cual se pueden presentar severos problemas de degradación (10 %) en función del grupo textural. Para la porosidad de retención (Pr) tanto el mínimo y el máximo se seleccionaron del conjunto de datos. Para el carbono orgánico total, se consideró como mínimo el valor de 1,50 del rango categorizado como deficiente dentro de cada clase textural y como máximo el valor considerado como

alto. Los valores de la suma de bases serán seleccionados considerando el promedio más bajo obtenido del conjunto de datos de la zona y el máximo se corresponderá con el valor categorizado como alto (Bertsh, 1995). Posteriormente, los indicadores fueron normalizados utilizando una escala de 0-1 que representan respectivamente, la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad, independientemente de los valores absolutos medidos para cada indicador. Se evaluarón dos escenarios posibles:

- A) El primero cuando el valor máximo del indicador (I_{max}) correspondió a la mejor situación de calidad de suelo (Valor normalizado del indicador, $V_n=1$) y el cálculo es $V_n = \frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$.
- B) El segundo cuando el valor I_{max} corresponde a la peor situación de calidad de suelo ($V_n=0$) y se calcula como $V_n = 1 - (\frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}})$. Donde V_n = valor normalizado, I_m =medida del indicador, I_{max} = valor máximo del indicador; I_{min} = valor mínimo del indicador. Finalmente, se obtendrá el índice de calidad de suelo (ICS) promediando los valores de cada indicador que y categorizándolos usando una escala de transformación en cinco clases de calidad de suelo (Tabla 4), tal como ha sido sugerido por (Cantu, Becker, Bedano, & Schiavo, 2007).

Tabla 4. Clases de Calidad de suelo

Índice de calidad de suelos	Escala	Clases
Muy alta calidad	0,80 - 1,00	1
Alta calidad	0,60 - 0,79	2
Moderada calidad	0,40 - 0,59	3
Baja calidad	0,20 - 0,39	4
Muy baja calidad	0,00 - 0,19	5

Fuente: Cantú *et al.*, (2007).

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES DE MUESTREO DE LAS FINCAS.

4.1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Densidad aparente del suelo

En la figura 4 se muestran los valores promedios para los distintos usos evaluados a las dos profundidades consideradas. Se puede apreciar que para la primera profundidad de 0-10 cm hubo diferencia significativa agrupándolos en 3 categorías; perteneciendo en la categoría a, la ChackraB y Pasto sin ÁrbolesC, categoría b Pasto con árboles A, ChakraA y ChakraC y en la categoría c el Pasto con árboles B. En la segunda profundidad de 10-30 cm se agrupan en la categoría a todos los usos, a pesar de que los valores absolutos son diferentes, estadísticamente son similares. Igualmente se puede observar que independientemente del uso de la tierra se observó un incremento con la profundidad 10-30 cm.

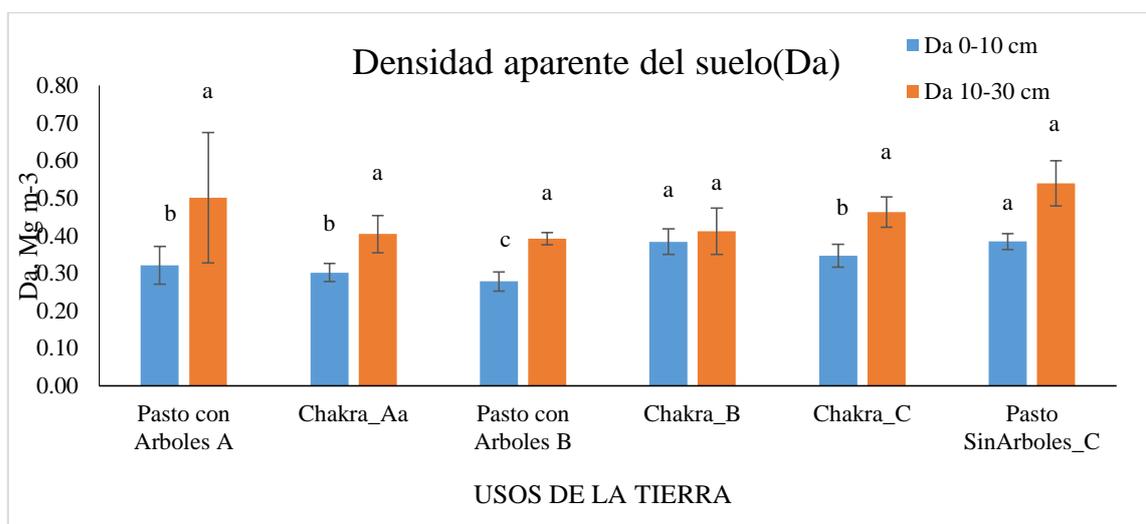


Figura 4. Densidad aparente en relación a las dos profundidades del suelo en la comunidad Simón Bolívar.

Cuando se comparan los valores de esta variable con los valores de referencia (1,2 Mg m⁻³) para este tipo de textura (arcilloso) en todos los casos los promedios obtenidos están por debajo de dicho valor lo cual significa que no existen problemas de degradación física,

coincidiendo con los resultados obtenidos por otros investigadores en condiciones amazónicas (Bravo *et al.*, 2017). Es bien conocido que la densidad aparente tiene una fuerte influencia sobre el desarrollo de raíces, la resistencia a la penetración, el movimiento de agua, aire, nutrientes y su disponibilidad (Taboada y Álvarez, 2008; Martínez & Zinck, 2004). Los valores bajos de esta variable están relacionados con la mayor cantidad de materia orgánica, mayor presencia de raíces que a su vez genera una condición estructural tipo granular descrita en campo, muy típica de esta zona (Bravo *et al.*, 2017).

Conductividad Hidráulica del suelo (Ksat)

Los valores promedios de la Ksat para los distintos usos evaluados y las dos profundidades consideradas se muestran en la Figura 5. Si bien no se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) los valores en el horizonte superficial fueron mucho mayores que la segunda capa lo cual indica una reducción en la velocidad del flujo del agua. A pesar de ello en todos los usos están muy por encima del valor considera como crítico (0,5 cm h⁻¹) (Pla, 2010), mostrando los mejores valores en los sistemas con arreglos con pastos.

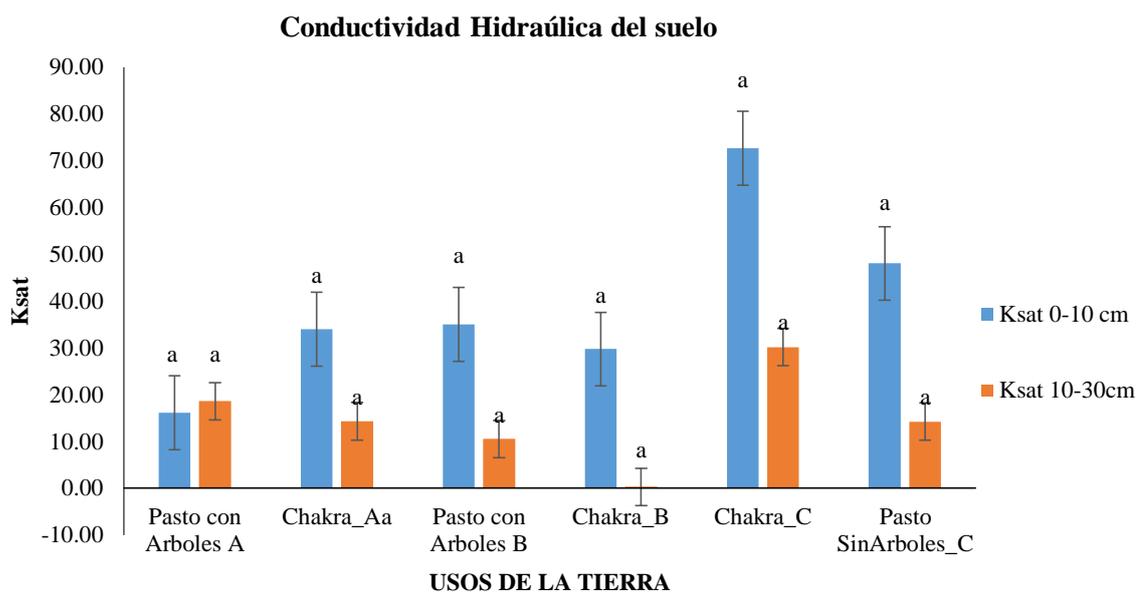


Figura 5. Conductividad Hidráulica saturada (Ksat) del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

La infiltración representa el proceso por el cual el agua que llega a la superficie del suelo penetra en él, tanto por el efecto de la gravedad (microporos) como de capilaridad (poros

pequeños), por tanto, dependiendo de la distribución de poros la velocidad de penetración puede ser afectada (Bravo *et al.*, 2017). En base a ello, los altos valores de esta variable están asociados tanto a los bajos valores de densidad aparente como a la buena porosidad de aireación que facilita la penetración y movimiento del agua en el en el suelo.

Distribución de Tamaño de Poros (Porosidad total, Pt), (Porosidad de aireación, Pa) y (Porosidad de retención, Pr)

En las Figuras 6, 7 y 8 se muestra los valores promedio de la Pt, Pa y Pr para los distintos usos de la tierra y profundidades consideradas. Se puede observar que ningún tipo de porosidad mostró diferencias significativas ($P \leq 0,05$), no obstante, si se perciben diferencias en términos absolutos, por ejemplo, la Porosidad total (Figura 6) registró altos valores en todos los usos y en ambos horizontes, en especial los sistemas con pastos. A pesar de esa diferencia en todo caso los valores fueron superiores al 55 % considerado como limitante. En el caso de la porosidad de aireación (Figura 7) los arreglos categorizados como Chakras presentaron los mayores valores (entre 14 y 17 %). El incremento de macroporos en la capa superficial pudiera estar asociado a la mayor actividad biológica, a la macro fauna especialmente las lombrices y los residuos que dejan las raíces de los cultivos anteriores (Bravo *et al.*, 2017). No obstante, se manifestó un descenso de la macro porosidad para la segunda profundidad e incluso el Pasto con Arboles B exhibió valores menores al valor señalado como crítico de 10 %, por debajo del cual se restringe el movimiento de oxígeno y agua afectando el crecimiento de las raíces (Pla, 2010). De la fracción del volumen total los poros la porosidad de retención (Pr) (Figura 8), representa el mayor porcentaje, lo cual les confiere a estos suelos una alta capacidad de retención de humedad, indistintamente del uso y no representa ninguna limitación física. Un deterioro de la fracción de los poros grandes no permite el drenaje; mientras la profundidad aumenta comienza a disminuir la porosidad (Bravo & Lozano, 2014).

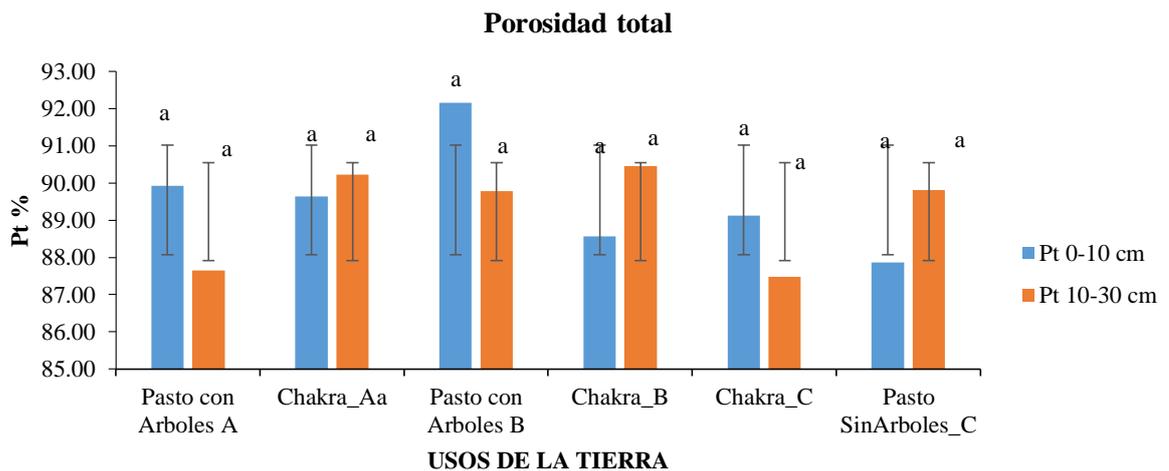


Figura 6. Porosidad total del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

Porosidad de aireación

La porosidad de aireación (Pa), en la profundidad de 0-10 cm en la Chakra A se obtuvo (15,86) y de 10-30 cm en Pasto con Arboles A (12,44) como valores altamente significativos en un nivel alto de macro poros, lo que indica que contribuyen activamente al flujo de agua y al movimiento de aire en el suelo proporcionando una condición adecuada para la actividad biológica del suelo. Además, se observa que estadísticamente se encuentran categorizados como a, pero dominan valores absolutos diferentes.

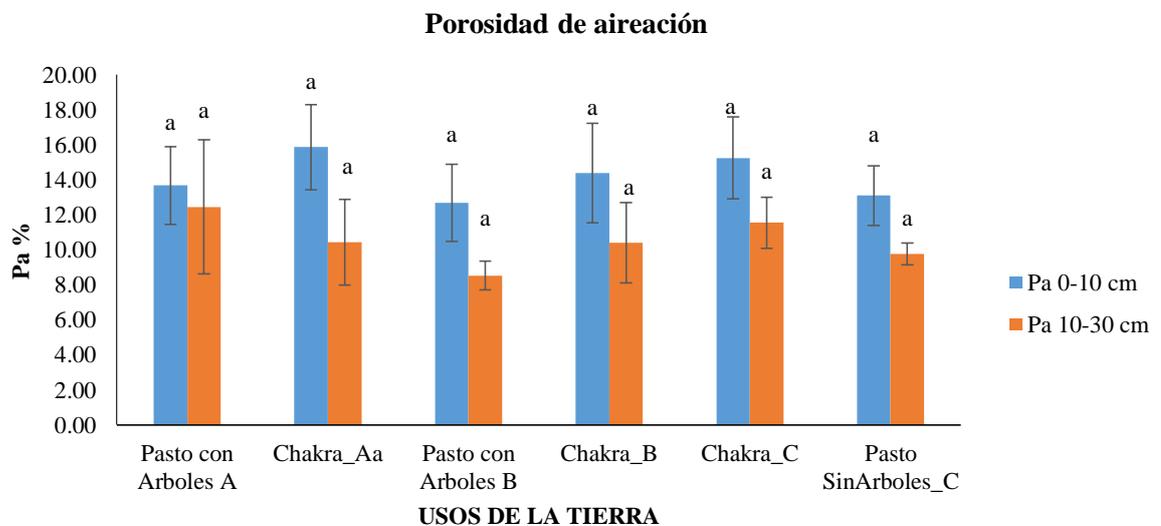


Figura 7. Porosidad aireación del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

Porosidad de retención.

Se muestra valores por encima del 70 % en las dos profundidades de los 6 usos de tierra, que equivalen a un nivel muy alto en macro poros y por ende tienen una adecuada infiltración de agua, ayudan a una mejor aireación del suelo y no presentan dificultad para la penetración de raíces

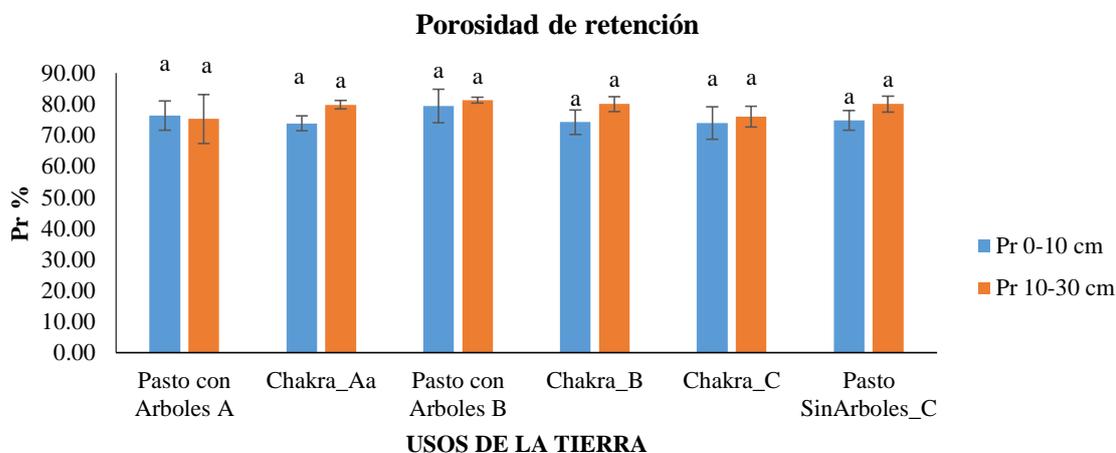


Figura 8. Porosidad de retención del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

4.1.2. CARACTERISITICAS QUÍMICAS

Carbono Orgánico del suelo (%)

Los resultados de carbono orgánico total (COT), mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en ambas profundidades agrupando los usos en dos categorías, la primera integrada por los usos con Pasto con árboles A-B y la Chakra A, y una segunda categoría conformada por el resto de los usos (Chakra B-C, Pasto sin arboles _C). Independientemente del uso de la tierra los mayores valores se obtuvieron en el horizonte superficial. Los resultados obtenidos coinciden con los reportado por otros investigadores en la zona (Bravo *et al.*, 2017), destacando que los mismos están asociado a los antecedentes de manejo, con Bosque caracterizados por una gran diversidad de especies de plantas, cuya cantidad y calidad de hojarasca y raíces contribuyen fuertemente a los ciclos biogeoquímicos mejorando los contenidos de algunos nutrientes en especial el nitrógeno (Bravo *et al.*, 2017; Nieto & Caicedo, 2012). Esta variable tiene un fuerte impacto en el mejoramiento de la calidad físicas del suelo, evidenciado por el mejoramiento de los índices estructurales tales como Da, Ksat, Pa, Pr y la resistencia a la penetración (Bravo *et al.*, 2017).

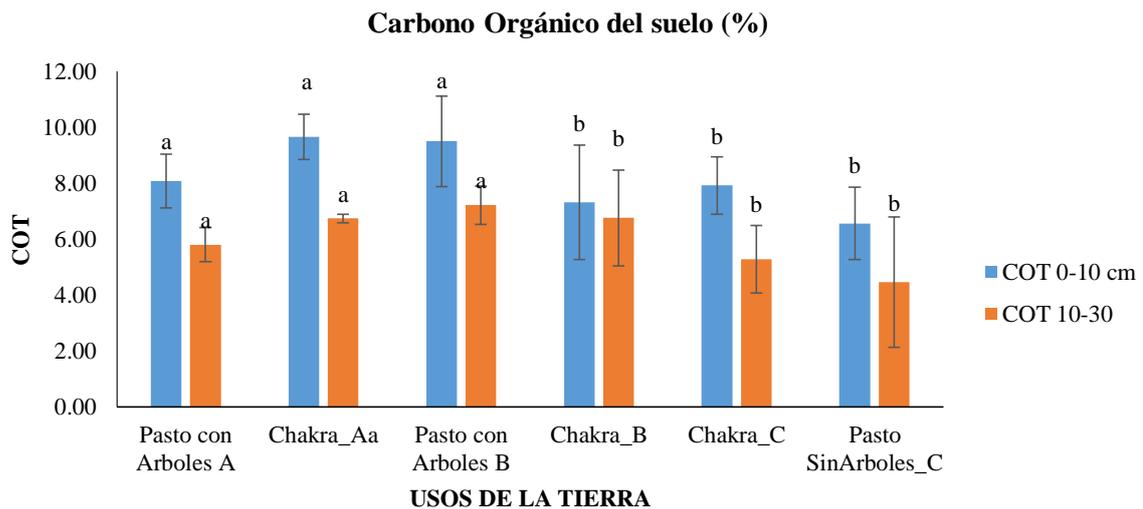


Figura 9. Carbono Orgánico total del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

El pH del Suelo, ácida intercambiable y aluminio intercambiable.

Los componentes de la ácida del suelo como el pH, la ácida intercambiable y el aluminio intercambiable constituyen atributos que tienen una gran influencia en la disponibilidad de elementos nutritivos esenciales, la presencia de elemento tóxicos que afecta el desarrollo radicular y el crecimiento de las plantas, ya que afectan, la capacidad de intercambio catiónico y tienen influencia sobre la magnitud y composición de las poblaciones de los microorganismos del suelo. Al observar el comportamiento de estos tres parámetros (Figura 10,11 y 12) se registraron diferencias significativas entre los usos en ambas profundidades. El pH mostro rango que oscilaron de 4,45 a 4,83 ambos considerados de fuertemente a extremadamente ácidos, lo cual está relacionado con los valores promedio de la ácida intercambiable la cual fue mayor en aquellos tratamientos o usos con menor pH (Chakra A), así como también la presencia de aluminio intercambiable. Se observa una mayor proporción de este elemento tóxico en la parte superficial sobre todo en aquellos tratamientos con Pasto con árboles A-B y Chakra-A, lo cual afecta la disponibilidad de nutrientes y se hace necesario neutralizar el aluminio mediante una aplicación de enmienda (Casanova, 2005). También, la alta concentración de Al^{+3} puede tener un efecto negativo sobre las propiedades químicas del suelo como solubilización, disponibilidad y absorción de nutrientes, físicas como estructura y estabilidad de agregados y biológicas como tipo de

organismos presentes en el suelo, ocasionando así una reducción en el crecimiento de las raíces lo cual afecta en forma negativa el crecimiento del cultivo (Casanova, 2005).

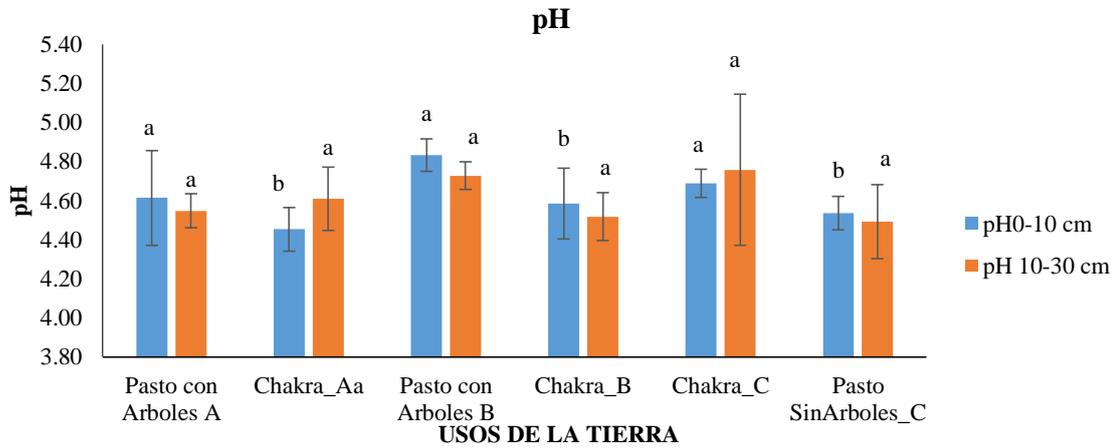


Figura 10. Valores obtenidos de pH del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

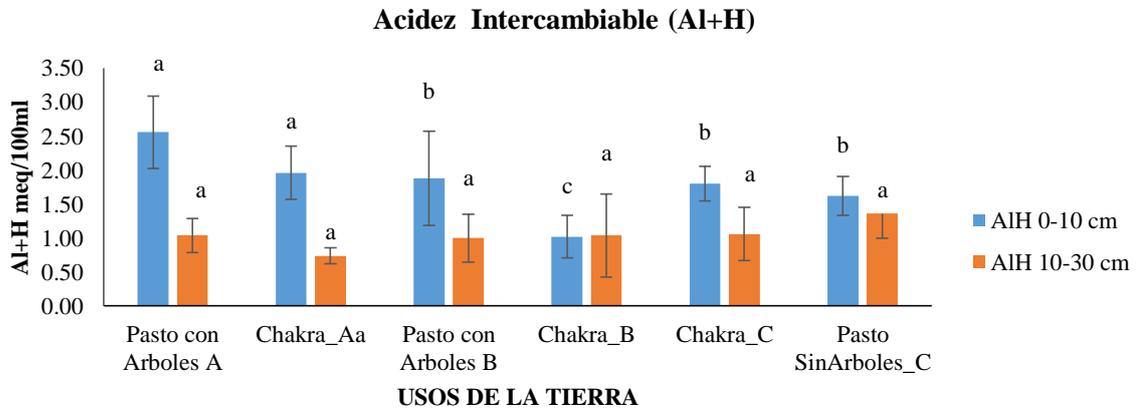


Figura 11. Valores de Acidez intercambiable del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

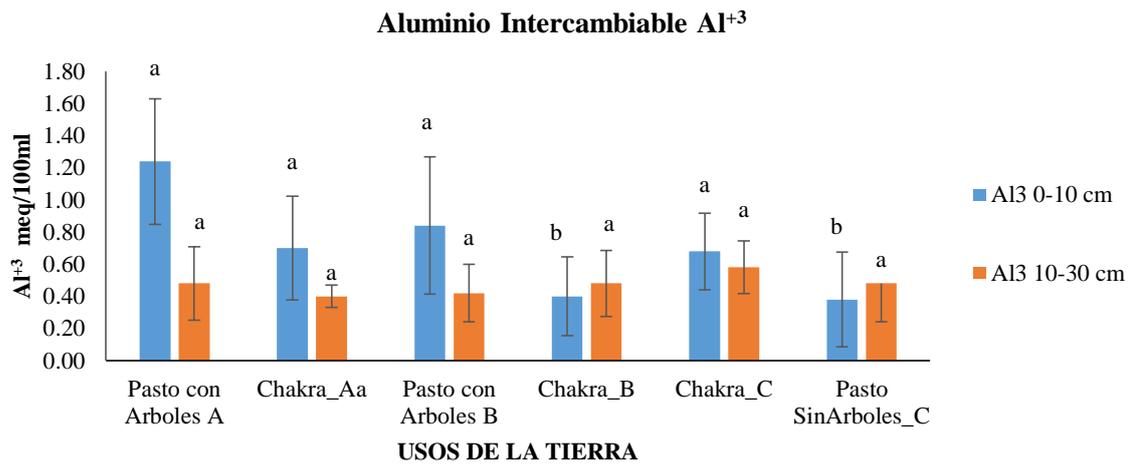


Figura 12. Aluminio intercambiable del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

Contenido de Fósforo disponible

Los valores promedios del contenido de P para los usos de tierra y las dos profundidades consideradas se presentan en la Figura 13. Se obtuvo diferencias significativas con mayor valor en el Horizonte superficial y con el tratamiento de Pasto con Árboles A con rangos cercanos a los 20 mg kg⁻¹ calificados como moderados. El resto de los tratamientos mostraron valores por debajo de 10 mg kg⁻¹ considerado como bajos y que no suplen la demanda de los cultivos. Se ha señalado que debido a la poca movilidad de este elemento y la descomposición de residuos en superficie son razones por las cuales se acumula en el primer horizonte (Lozano *et al.*, 2010).

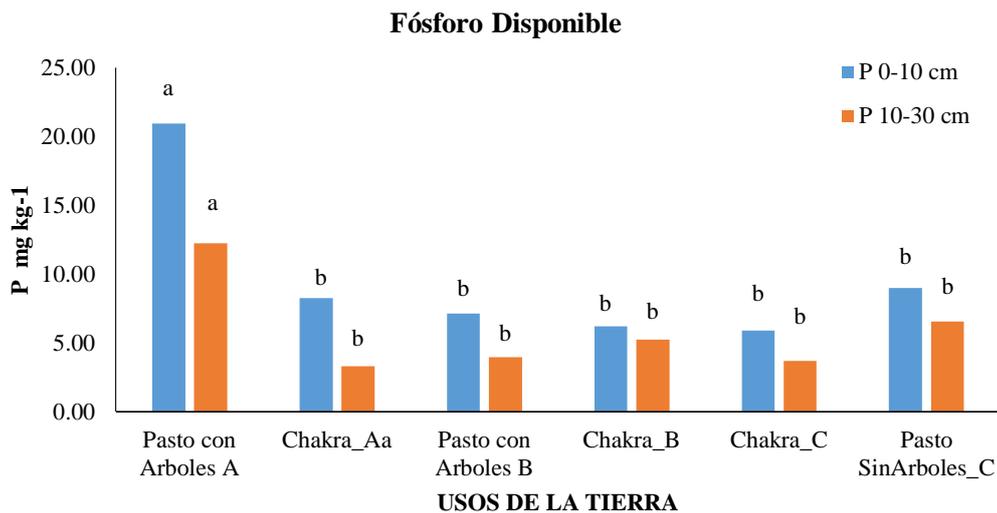


Figura 13. Fósforo del suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

Disponibilidad de Base Cambiables (K, Ca⁺² y Mg)

Potasio (K⁺¹)

Con respecto al Potasio (K) se detectó diferencia significativa ($p \leq 0,05$) en las dos profundidades. Los valores obtenidos en el intervalo de 0-10cm tienen la mayor cantidad de potasio en los dos usos de la tierra pasto con árboles A (0,58 meq/100ml) haciéndole significativamente diferente a los demás usos; Pasto con árboles B y Pasto sin arboles C (0,20meq/100ml), y en menor cantidad de 10-30cm en el uso de la tierra siendo Chakra A con la cantidad más baja (0,03 meq/100ml).

Calcio Intercambiable (Ca⁺²)

En relación al calcio (Ca) no se presentaron diferencias significativas en las dos profundidades. De 0-10 cm; el uso con Pasto sin arboles C exhibió el mayor valor (3,03 meq/100ml) y menor en Chakra B con (1,49 meq/100 ml). Para la segunda profundidad de 10-30cm en Pasto sin arboles C presentó los mayores contenidos de calcio (2,19 meq/100ml) y menor cantidad en Pasto con árboles A con (0,44 meq/100ml) demostrando que estadísticamente se encuentran en la categoría a, pero son diferentes con respecto a los valores absolutos.

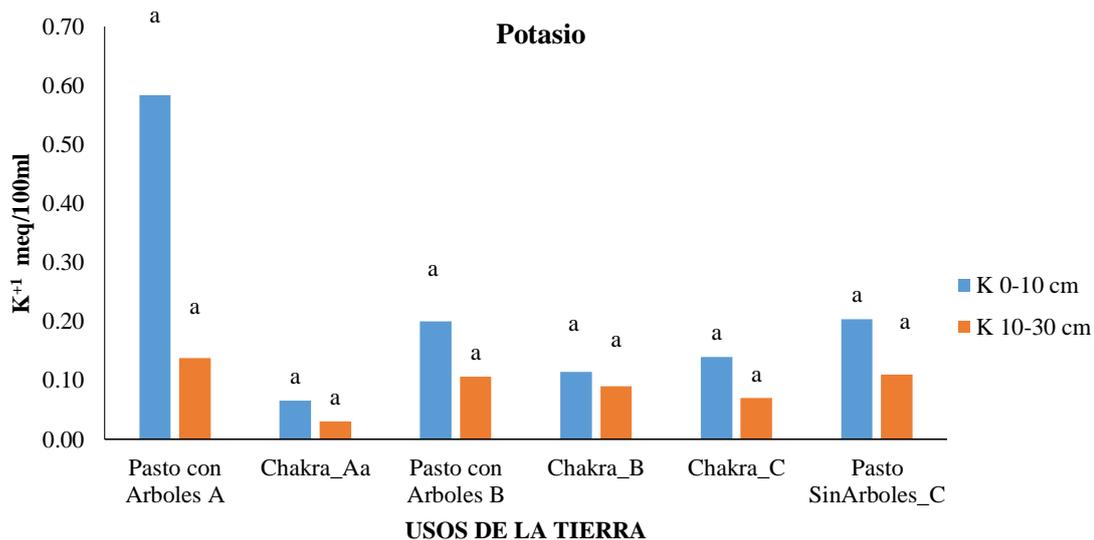


Figura 14. Valores de potasio en el suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

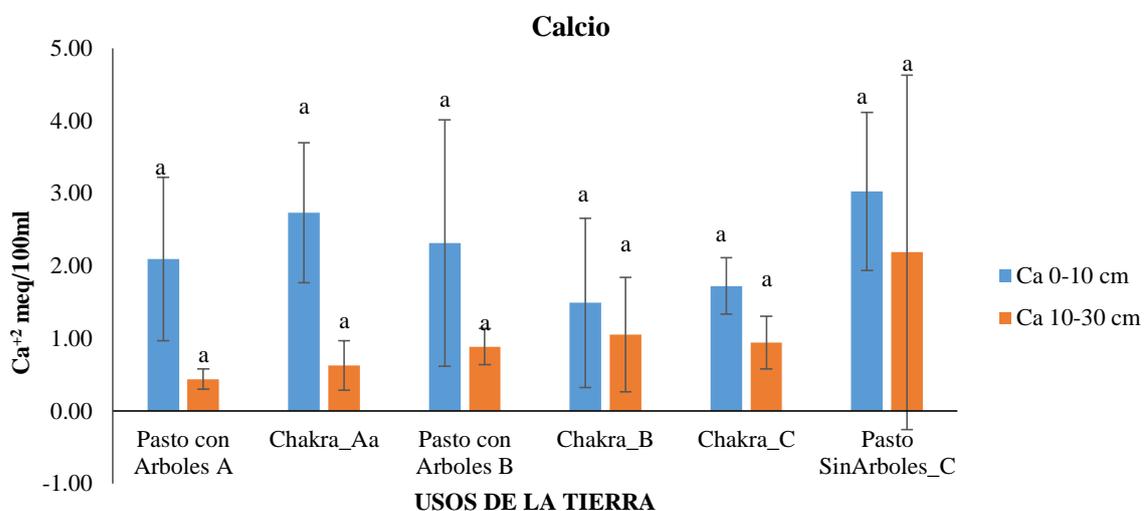


Figura 15. Calcio en el suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

En un trabajo citado por (Lozano et al., 2014) menciona que el Ca por efecto de los cultivos de cobertura en las dos primeras profundidades consideradas. Los contenidos variaron entre 109 y 142 mg kg⁻¹ a la profundidad de 0 a 5 cm, entre 44 y 139 mg kg⁻¹ en la capa de 5 a 15 cm y de 46 a 58 mg kg⁻¹ en la última capa. Los mayores contenidos se presentaron para todos para los cultivos de maíz y mixtos en la profundidad superficial. Así con los datos obtenidos en el presente estudio muestran que en la capa superficial del suelo (0-10 cm) valores de entre 3,03 – 1,49 meq/100ml indistintamente de los usos evaluados, a diferencia de la profundidad inferior (10-30 cm) los valores disminuyeron de

entre 2,19 – 0,49 meq/100ml que no sirven como indicadores de productividad y de fertilidad.

Magnesio (Mg^{+2}) en el suelo.

En la figura 16 se muestra los valores obtenidos de magnesio en los distintos usos de la tierra, en la profundidad de 0-10 cm se observa que los niveles de magnesio son altos ya que este nutriente contribuye a la fertilidad del suelo, independientemente del uso los valores llegan hasta 0,84 meq/100ml como es el caso de Pasto sin Arboles C seguido de Pasto con Arboles B posee un valor de 0,75 meq/100ml, a diferencia de la profundidad de 10-30 cm los valores oscilan entre 0,57 meq/100ml Pasto sin Arboles C, en esta profundidad se encuentra un uso con un valor de 0,09 meq/100ml lo que muestra un nivel bajo de magnesio. A pesar de que los valores varían en la segunda profundidad el estado del suelo en estudio es bueno.

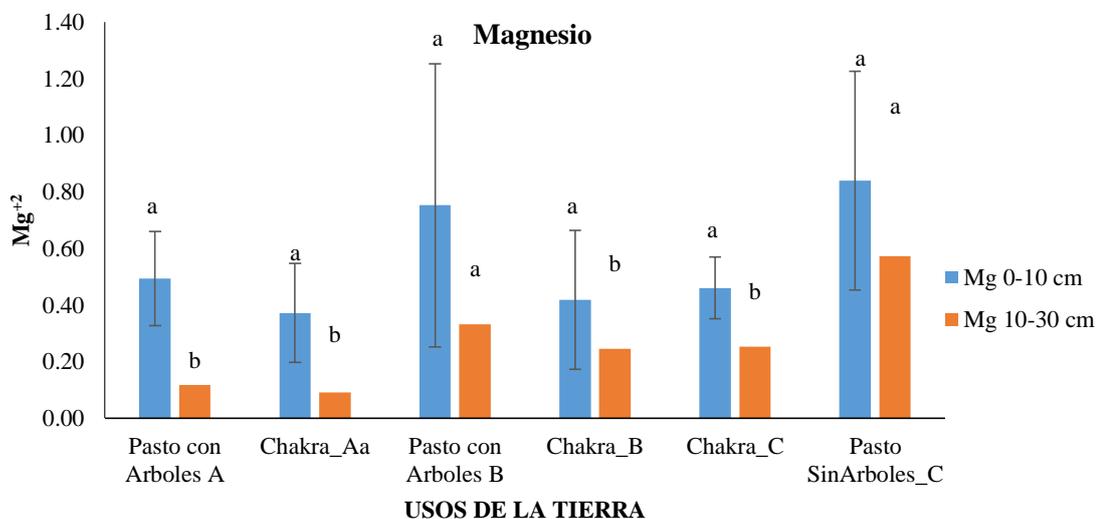


Figura 16. Magnesio en el suelo bajo distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

Los valores según los usos llegan hasta 0,84 meq/100ml como es el caso de Pasto sin Arboles C seguido de Pasto con Arboles B posee un valor de 0,75 meq/100ml, en la capa superficial (0-10 cm) mostrando niveles óptimos para la fertilidad de dicho suelo y rendimiento en su productividad, en comparación a un estudio realizado por (Lozano Z. et al., 2009) muestran resultados para el suelo donde se aprecia que los contenidos de Mg varían entre 61 y 119 mg kg⁻¹ en la capa superficial (0 a 5 cm), entre 22 y 44 mg kg⁻¹ en la capa de 5 a 15 cm y de 18 a 23 mg kg⁻¹ en la última capa. Con relación a los valores del suelo en condiciones iniciales, se produjo una disminución en el Mg disponible en CM

(cultivo de maíz) y un aumento en el resto de los tratamientos en la primera capa, así como una disminución en la segunda y tercera capa, debido a la absorción del elemento por parte de las coberturas.

4.1.3. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS.

En la Tabla 5 se presentan algunos parámetros morfológicos evaluados en campo y que han sido usados como indicadores de calidad de los suelos (Bravo et al., 2017). Dentro de los parámetros morfológicos (Tabla 5), en la variable textura se puede notar que en las dos profundidades el suelo es arcilloso, pero se puede notar una pequeña variación en dos usos de la tierra como es el caso de la ChakraC y Pasto sin arboles C que se observó un suelo arcilloso limoso. En el parámetro estructura existe una diferencia clara entre las dos profundidades de, 0-10 cm se obtuvo un suelo granular y de 10-30 cm un suelo blocosa. El color del suelo en la profundidad de 0-10 cm en el uso de pasto con árboles A, ChakraA y Pasto sin ÁrbolesC se obtuvo como resultado un color muy marrón oscuro, en el uso de Pasto con árboles B y Chakra B se obtuvo un color muy oscuro grisáceo marrón y en la Chakra C un color negro que muestra un alto contenido de materia orgánica. En la profundidad de 10-30 cm el color más representativo en la mayoría de los usos es el marrón amarillento oscuro.

El resultado de campo en parámetros morfológicos se puede apreciar que en la clase textural en la profundidad de 0-10 cm predomina medias y finas (Arcilloso limoso y Arcilloso), y en la profundidad 10-30 cm predomina finas (Arcilloso).

Tabla 5. Parámetros morfológicos con respecto a dos profundidades en la comunidad Simón Bolívar.

USOS DE LA TIERRA	TEXTURA	ESTRUCTURA	COLOR	PHA
	0-10 cm			
Pasto con Árboles A	Arcilloso	Granular	Muy marrón oscuro	12,20
ChakraA	Arcilloso	Granular	Muy marrón oscuro	11,9
Pasto con ÁrbolesB	Arcilloso	Granular	muy oscuro grisáceo marrón	19,9
ChackraB	Arcilloso	Granular	muy oscuro grisáceo marrón	13,9
Chakra_C	Arcilloso limoso	Granular	Negro	14,7
Pasto sin ÁrbolesC	Arcilloso limoso	Granular	Muy marrón oscuro	13,05
10-30 cm				
Pasto con ÁrbolesA	Arcilloso	Blocosa	marrón amarillento oscuro	
ChakraA	Arcilloso	Blocosa	muy marrón oscuro	
Pasto con ÁrbolesB	Arcilloso	Blocosa	marrón amarillento oscuro	
ChackraB	Arcilloso	Blocosa	marrón amarillento oscuro	
Chakra_C	Arcilloso	Blocosa	muy oscuro grisáceo marrón	
Pasto sin ÁrbolesC	Arcilloso	Blocosa	marrón oscuro	

De igual manera en un estudio realizado por (Bravo *et al.*,2017) sobre indicadores morfológicos y estructurales de calidad bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana, el suelo es evaluado a las mismas profundidades en usos de pasto con árboles y pasto sin arboles con resultados de 0-10cm para el horizonte superficial donde predomina de finas a medias (Arcillosas, Franco Arcillosa), mientras que para la profundidad interior predominan las texturas Arcillosas y Arcillo limosa. Valorar la variable textura es de gran importancia ya que está relacionada con parámetros físicos, químicos y biológicos como la

densidad aparente (Da), la porosidad total y porosidad de aireación y además que revela la estimación del potencial productivo y de erosión

4.2. SELECCIÓN DE INDICADORES DE LA CALIDAD FÍSICA-QUÍMICA DE LOS SUELOS MEDIANTE ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES Y CORRELACIÓN DE PEARSON.

4.2.1. Análisis de Componentes Principales

El porcentaje de la varianza relacionada con la calidad de suelo se explica en un 74,38 % con los cinco componentes seleccionados (Tabla 6). El primer y segundo componente etiquetados como Físico-químico y químico respectivamente aportaron un 47,56 % de la varianza total, mientras que en el tercer, cuarto y quinto componente en su conjunto aportan el 26, 82%, siendo mucho menor el quinto componente. Los indicadores seleccionados fueron aquellos que mostraron auto valores o cargas igual o mayores de 0.6 tal como se muestran en la Tabla 7 (Bravo *et al.*, 2017).

Tabla 6. Componentes físicos y químicos del suelo bajo distintos usos de la tierra, comunidad Simón Bolívar.

Varianza total explicada			
Componente	Auto valores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	4,55	30,35	30,35
2	2,58	17,21	47,56
3	1,46	9,70	57,26
4	1,34	8,90	66,16
5	1,23	8,22	74,38
Método de extracción: Análisis de Componentes principales.			

En el componente Físico - Químico se seleccionaron como variables los índices estructurales (Da, Pa, Estructura) cuyos contenidos promedios reflejan una adecuada condición física en la mayoría de los usos de tierras evaluados y variables químicas como COT, Acidez intercambiable, Al^{+3} y Ca^{+2} y Mg^{+2} que a su vez definen distintos procesos como la posibilidad de enraizamiento, compactación, movimiento de agua, aireación del

suelo y la retención de humedad muy relacionado con la calidad de estos suelos, tal como ha sido señalado por Bravo *et al.*, (2017).

Tabla 7. Matriz de Análisis de componentes principales.

Matriz de componentes	Componentes		
	Físico - Químico	Físico	Químico
Da (Mgm ⁻³)	-0,60	-0,27	0,24
Ksat (cm h ⁻¹)	0,30	-0,70	-0,09
Pt (%)	0,01	0,80	-0,22
Pa (%)	0,57	-0,50	0,07
Pr (%)	-0,36	0,88	-0,20
Textura	-0,26	0,08	0,38
Estructura	-0,75	0,10	0,17
COT (%)	0,72	0,13	-0,13
pH	0,10	0,35	0,59
Al+H (meq/100ml)	0,81	0,11	-0,04
Al ⁺³ (meq/100ml)	0,62	0,30	0,23
P (mg kg ⁻¹)	0,42	0,18	-0,17
K ⁺¹ (meq/100ml)	0,47	0,18	0,67
Ca ⁺² (meq/100ml)	0,75	0,14	-0,09
Mg ⁺² (meq/100ml)	0,71	0,11	0,04

Da: Densidad aparente del suelo; **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada; **Pt:** porosidad total; **Pa:** Porosidad de aireación; **Pr:** Porosidad de retención; **COT:** Carbono orgánico total; **pH:** grado de acidez o basicidad; **Al+H:** Acidez intercambiable; **Al³:** Aluminio; **P:** Fosforo; **K⁺¹:** Potasio; **Ca⁺²:** Calcio; **Mg⁺²:** Magnesio.

El componente 2 catalogado como componente físico incluyo Ksat, Pt, Pr (Tabla 7), indicando que existe un buen movimiento del flujo del agua el cual ayuda a un mejor enraizamiento evitando la compactación.

En la tabla 8 muestra las variables en función de su correlación y de su contribución para explicar la variabilidad de los resultados. Se observa que las variables que más se acercan a la unidad son aquellas ubicadas a lo largo del eje correspondiente al componente Físico - Químico en este caso son Da Mg m⁻³, Pa, Estructura, COT, Al+H, Al⁺³, Ca⁺², Mg⁺². Dado los resultados del análisis de los componentes principales y en función a la relación existente entre las variables evaluadas con el componente de mayor variación (componente Físico Químico), se obtuvo que las variables más útiles en explicar los cambios de calidad de suelo son las antes mencionadas.

El coeficiente de correlación (Tabla 8) para las diferentes variables muestra que Carbono Orgánico Total (COT) frente a Densidad aparente poseen una correlación de 0,64, Porosidad de retención (Pr) ante Conductividad Hidráulica de Saturación (Ksat) con 0,59, Porosidad de retención y Porosidad total están ligadas con una correlación al igual que con la variable Porosidad de aireación, las variables Aluminio intercambiable (Al^{+3}) frente a Estructura, Aluminio ante Acidez intercambiable, Magnesio y calcio son significativas las correlaciones. Lo que nos indica que poseen un potencial de lixiviación, de producción, además que se relaciona al contenido de humedad y transporte, y en la actividad microbiológica y de las plantas, límites para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiológica.

Tabla 8. Coeficiente de correlación para las distintas variables para los diferentes atributos físico químicos del suelo bajo los diferentes usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

	DaMgm3	Ksat	Pt	Pa	Pr	Textura	Estructura	COT	pH	Al+H	Al ⁺³	P	K ⁺¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²	
DaMgm3	1,00															
Ksat	-0,17	1,00														
Pt	-,380**	,461**	1,00													
Pa	-,313*	,416**	-0,10	1,00												
Pr	-0,06	,591**	,759**	-,725**	1,00											
Textura	0,10	-,258*	0,07	0,01	0,04	1,00										
Estructura	,521**	-0,23	-0,08	-,577**	,320*	0,11	1,00									
COT	-,638**	0,16	0,12	,361**	-0,16	-0,10	-,457**	1,00								
pH	-0,17	-0,10	0,20	-0,05	0,17	-0,01	0,05	0,12	1,00							
Al+H	-,345**	0,14	0,06	,339**	-0,18	-0,22	-,590**	,464**	-0,09	1,00						
Al ⁺³	-,342**	-0,06	0,07	0,10	-0,02	-0,02	-,302*	,395**	0,12	,766**	1,00					
P	-0,14	-0,08	-0,01	0,01	-0,02	0,00	-0,18	,294*	-0,13	,422**	,330*	1,00				
K ⁺¹	-0,17	-0,02	0,05	0,20	-0,10	0,02	-0,23	0,23	,313*	,377**	,411**	0,14	1,00			
Ca ⁺²	-,303*	0,05	0,03	0,24	-0,14	-,333**	-,442**	,478**	0,14	,488**	,317*	,378**	,256*	1,00		
Mg ⁺²	-0,24	0,16	0,00	0,19	-0,13	-,288*	-,413**	,379**	0,20	,487**	,335**	,255*	,321*	,883**	1,00	

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

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

Da: Densidad aparente del suelo; **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada; **Pt:** porosidad total; **Pa:** Porosidad de aireación; **Pr:** Porosidad de retención; **COT:** Carbono orgánico total; **pH:** grado de acidez o basicidad; **Al+H:** Acidez intercambiable; **Al⁺³:** Aluminio; **P:** Fósforo; **K⁺¹:** Potasio; **Ca⁺²** Calcio; **Mg⁺²:** Magnesio.

4.3. OBTENCIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD FÍSICO QUÍMICO DEL SUELO BAJO DIFERENTES USOS DE LA TIERRA.

4.3.1. Índice de Calidad física del suelo (ICFS)

El índice de calidad física del suelo (ICFS) en profundidad de 0-10cm osciló de 0,80-0,75-0,70-0,69-0,69 y 0,64 para el uso Pasto con árboles B, Pasto con árboles A, Chakra B, Chakra A, Pasto sin arboles C y Chakra C respectivamente, en donde los 6 usos de la tierra se ubican en la clase de Alta Calidad (AC) como se puede ver en la (Tabla 9). El valor del ICFS para el Pasto con árboles B fue influenciado por la mayoría de los indicadores los cuales presentaron una alta valoración, excepto por la Profundidad del Horizonte A (PHA). Al observar el valor del ICFS para la Chakra C se ve que también está afectada la Profundidad del Horizonte A (PHA) debido al uso de la tierra por cultivos de café, caña y plátano. La disminución de la PHA se debe al incremento de la Da. En la Tabla 10 los resultados para la segunda profundidad mostraron un descenso en la calidad física del suelo lo que se corresponde con los valores promedios para esta profundidad, no obstante, en todo caso la clase de calidad obtenida fue de Moderada donde la ChakraA y C obtuvieron los máximos valores (0.62).

La densidad aparente representa una variable de gran significado por su influencia sobre otras propiedades como la conductividad hidráulica saturada y la porosidad (Pla, 2010). La variación de estos indicadores incide sobre el comportamiento hídrico y biogeoquímico, en el flujo de agua y la aireación del suelo (Bravo *et al.*, 2015; Martín & Pérez, 2009).

Tabla 9. Índice de calidad físico del suelo bajos distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar en profundidad de 0-10cm.

Pasto con Arboles A	Chakra _A	Pasto con Arboles B	Chak ra_B	Chak ra_C	Pasto SinArboles_
--------------------------------	----------------------	--------------------------------	----------------------	----------------------	------------------------------

	C					
Da	0,95	0,97	0,99	0,88	0,92	0,88
Ksat	0,87	0,72	0,71	0,76	0,40	0,60
Pt	0,87	0,87	0,93	0,84	0,85	0,82
Pa	0,77	0,63	0,83	0,73	0,67	0,81
Pr	0,79	0,70	0,91	0,71	0,70	0,73
HA	0,27	0,26	0,44	0,31	0,33	0,29
COT	0,77	0,96	0,94	0,68	0,76	0,60
ICFS	0,75	0,69	0,80	0,70	0,64	0,69
Clase	AC	AC	AC	AC	AC	AC

Tabla 10. Índice de calidad físico del suelo bajos distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar en profundidad de 10-30 cm.

	Pasto con Arboles	Chakra _A	Pasto con Arboles B	Chakra_ B	Chakra _C	Pasto SinArboles_ C
Da	0,75	0,86	0,87	0,85	0,79	0,71
Ksat	0,41	0,32	0,23	0,00	0,67	0,31
Pt	0,82	0,88	0,87	0,89	0,81	0,87
Pa	0,37	0,20	0,04	0,20	0,30	0,15
Pr	0,67	0,83	0,88	0,84	0,70	0,84
Mo	0,51	0,62	0,67	0,62	0,44	0,35
ICFS	0,59	0,62	0,59	0,57	0,62	0,54
Clase	MC	MC	MC	MC	MC	MC

Da: Densidad aparente del suelo; **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada; **Pt:** porosidad total; **Pa:** Porosidad de aireación; **Pr:** Porosidad de retención; **Mo:** Materia orgánica.

4.3.2. Índice de Calidad químico del suelo (ICQS)

El índice de calidad químico del suelo las variables no son significativamente diferentes ya que para el uso Pasto sin Arboles C se obtuvo 0,49, Pasto con Arboles B 0,46 dando como índice medio a diferencia de los usos Chakra C y Chakra A sus índices son bajos.

En la Tabla 11 se muestra el valor normalizado de cada una de las variables químicas seleccionadas, para los distintos usos de la tierra para la primera profundidad. Se puede apreciar que la MO es la variable que contribuye en mayor proporción a mejorar ligeramente la calidad química del suelo (ICFS). Para el horizonte superficial el ICQS presentó un rango que osciló de 0,38 a 0,49 categorizados como clase de Baja a Moderada calidad, mientras que para el segundo horizonte (10-30 cm) la calidad disminuye para todos los usos de la tierra clasificando como de Baja calidad (BC) (**Tabla 12**). El descenso del índice de calidad de suelo (ICQS) con la profundidad es debido fundamentalmente a la disminución de la materia orgánica y nutrientes cuyos valores promedios en todos los usos son muy bajos, coincidiendo estos resultados con otros estudios realizados en la zona, donde se destaca que las variables químicas en la región Amazónica posee baja fertilidad debido a los materiales parentales y las condiciones climáticas de la zonas con alta precipitación que hace que ocurra el lavado de las bases intercambiables (Bravo *et al.*, 2017).

Tabla 11. Índice de calidad químico del suelo bajos distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar en profundidad de 0-10 cm.

Indicadores	Pasto con Arboles A	Chakra_ Aa	Pasto con Arboles B	Chakra _B	Chakra _C	Pasto SinArboles_C
pH	0,25	0,18	0,33	0,23	0,28	0,21
AL+H	0,18	0,42	0,45	0,79	0,48	0,55
Al ⁺³	0,19	0,58	0,48	0,80	0,59	0,81
K ⁺¹	0,97	0,09	0,32	0,18	0,22	0,33
Ca ⁺²	0,22	0,35	0,26	0,10	0,14	0,41
Mg ⁺²	0,23	0,13	0,42	0,17	0,20	0,49
COT	0,77	0,96	0,94	0,68	0,76	0,60
ICQS	0,40	0,39	0,46	0,42	0,38	0,49
Clase	MC	BC	MC	MC	BC	MC

Tabla 12. Índice de calidad químico del suelo bajos distintos usos de la tierra en la comunidad Simón Bolívar en profundidad de 10-30 cm.

Indicadores	Pasto con Arboles A	Chakra_Aa	Pasto con Arboles B	Chakra_B	Chakra_C	Pasto SinArboles_C
Ph	0,22	0,24	0,29	0,21	0,30	0,20
Al+H	0,46	0,76	0,50	0,46	0,44	0,14
Al ⁺³	0,41	0,32	0,34	0,41	0,52	0,41
K ⁺¹	0,29	0,05	0,22	0,18	0,14	0,23
Ca ⁺²	0,01	0,04	0,09	0,12	0,10	0,32
Mg ⁺²	0,03	0,01	0,18	0,12	0,12	0,35
COT	0,51	0,62	0,67	0,62	0,44	0,35
ICQS	0,27	0,29	0,33	0,30	0,30	0,28
Clase	BC	BC	BC	BC	BC	BC

pH: grado de acidez o basicidad; **Al+H:** Acidez intercambiable; **Al⁺³:**Aluminio intercambiable; **P:** Fosforo; **K⁺¹:** Potasio; **Ca⁺²:** Calcio; **Mg⁺²:** Magnesio; **COT:** Carbono orgánico total.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las variables físicas (Da, Ksat, Pt) debido a los valores bajos al de referencia indican que no existen problemas de degradación y por ende mayor presencia de raíces, en la conductividad hidráulica con una buena porosidad de aireación que ayuda al movimiento del agua en el suelo y las variables químicas (COT, Ph, K, Ca, Mg) del suelo variaron de acuerdo a la profundidad, el Carbono Orgánico Total obtuvo un mayor porcentaje en la capa superficial del suelo por la descomposición de raíces ya que se quedan en la capa superficial y no penetran a los demás horizontes; se obtuvo un Ph Acido que va relacionado a la Acidez y aluminio intercambiable en la parte superficial del suelo sobre todo en Pasto con Arboles A-B y Chakra A, afectando la disponibilidad y absorción de los nutrientes.

Mediante el análisis de componentes principales y Correlación de Pearson se obtuvo 3 componentes codificados como Fisicoquímico (Da, Pa, Estructura COT, AlH, Al3 y Ca), Físico (Ksat, Pr) y Químico (Ph, Potasio) que ayudaron a obtener resultados del impacto que provocan a la tierra, siendo estas las más útiles para explicar los cambios de calidad del suelo.

El índice de calidad física del suelo, osciló de entre moderada a alta calidad debido a que se encuentran valores considerables de COT y disminución de la Da mejorando la infiltración del agua, porosidad total, de aireación y de retención de humedad, lo que favorece a la penetración de raíces. El índice de calidad química determinó de clase moderada a baja calidad debido a la escasa cantidad de nutrientes y un pH ácido por lo que posee baja fertilidad debido a los materiales parentales y las condiciones climáticas de la zona con alta precipitación que hace que ocurra el lavado de las bases intercambiables.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Realizar monitoreos continuamente y con un enfoque práctico que permita su mejor utilización en las diversas disciplinas relacionadas con la producción agrícola y ganadera, que a su vez serán de gran ayuda para los propietarios con el fin de dar un mejor manejo al suelo libre de nutrientes tóxicos y que faciliten un buen funcionamiento para los cultivos y pastos del sector.
- ✓ Utilizar los resultados obtenidos para sustentar al suelo de manera adecuada sin que los indicadores ya antes mencionados se alteren y provoquen un suelo pobre en nutrientes y vulnerables a la compactación y erosión del mismo.
- ✓ Evaluar de forma particular los indicadores de la calidad de un suelo, ya que constituyen una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el manejo y uso del suelo a escala local, regional y global, según las condiciones de cada agro ecosistema, logrando así adaptar las características de estos con el uso óptimo de acuerdo con su capacidad de producción.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Benitez, D. (2013). *Sistematización del resultado del primer taller" Ganaderia Sostenible en el marco de la agenda de transformación productiva Amazónica*. Puyo: Universidad Estatal Amazónica - MAGAP.
- Bertsh, F. (1995). La fertilidad del suelo y su manejo. *Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo*, 157.
- Bravo, C., Aleman, R., Guitierrez, D., Herrera, M., Navarrete, H., Reyes, H., . . . Roldan , T. (2016). *Gestión de riesgo sosioambiental de comunidades localizadas en la cuenca alta del río Napo, Región Amazónica Ecuatoriana frente al cambio climático global*. Puyo: Universidad Estatal Amazónica.
- Bravo, C., Benitez, D., J. C., Aleman, R., Torres, B., & Martin, H. (2015). Caracterización socioambiental de unidades de producción agropecuaria en la región Amazonica Ecuatoriana caso Pastaza y Napo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 3-31.
- Bravo, C., Lozano, Z., Hernandez, R., Piñango, L., & Moreno, B. (15 de 10 de 2004). Efecto de diferentes especies de cobrturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana directa de maíz. Caracas, Venezuela: Bioagro.
- Bravo, C., Lozano, Z., Hernandez, R., Piñango, L., & Moreno., B. (2004). Efecto de diferentes especies de cobertura sobre las propiedades fisicas de un suelo de sabana con siembra directa de maiz. *Bioagro*, 163-172.
- Bravo, C., Marin, A., Mareno, P., Ruiz, M., Torres, B., Navarrete, H., . . . Changoluisa, D. (2017). *Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la Provincia de Napo, Amazonia ecuatoriana*. Barquisimeto: Bioagro.
- Bravo, C., Paguay, D., Vinueza, Nacevilla, Torres, B., & Changoluisa, D. (14 de Noviembre de 2014). Obtenido de Universidad Estatal Amazonica.
- Campusano, C. A. (Noviembre de 2007). Cambio en los usos y coberturas del suelo y sus efectos sobre la escorrentía urbana Valparaíso y Viña del mar, período 1980 - 2005. Santiago, Chile.
- Cantu, M., Becker, A., Bedano, J., & Schiavo, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el usos de indicadores e índices. *Ciencia del Suelo*, 25,173-178.
- Carlos Bravo, B. T. (24 de mayo de 2017). Indicadores morfológicos y estructurales y potencial de erosion del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonia Ecuatoriana. Puyo, Pastaza, Ecuador: Ediciones Complutense.
- Casanova. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Caracas.

- Chimborazo, C. (2017). *Los componentes e indicadores para la gestión y evaluación de la sustentabilidad en proyectos ganaderos en la parroquia 10 de Agosto del cantón Pastaza, Provincia de Pastaza*. Ambato.
- Custode, E., & Viennot, M. (1990). *El riesgo de erosión en la Región Amazonica*. Quito: Poltllcas sobre conservación de los recursos naturales.
- Díaz, J. (08 de Noviembre de 2011). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/JudithRebecaDiaz/agricultura-en-ecuador>
- Ferreras, L., Magra, G., Besson, P., Kovalevski, E., & García, F. (2007). *Indicadores de calidad física en suelos de la región Pampeana norte de Argentina bajo siembra directa*. Argentina.
- GADPPz. (2008). *Componente biofísico*. Puyo.
- GADPPz. (2012). *Pasataza.gob.ec*. Obtenido de <http://www.pastaza.gob.ec/leytransparencia/cpccs/PLAN%20VIAL%20DE%20LA%20PROVINCIA%20DE%20PASTAZA%202013-2025.pdf>
- GADPPz. (2014). *Pastaza.gob.ec*. Obtenido de http://www.pastaza.gob.ec/pdf/plan_productivo_pastaza_borrador.pdf
- GeoEcuador. (2008). *PNUMA*. Obtenido de <http://www.pnuma.org/deatl/pdf/Ecuador%20pdf/06.%20Capitulo%204.%20Estado%20del%20suelo.pdf>
- Huerta, H. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Qro. y su relación con el crecimiento bacteriano*. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Jiménez, E. (2013). *Estrategia de rescate de la cultura a través de las artesanías en la comunidad Simón Bolívar, parroquia de Fatima- provincia de Pastaza*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Jiménez, L., Mezquida, E., Benito, M., & Rubio, A. (2008). *Fertilidad del suelo de bosques tropicales y pastizales de uso ganadero en el sur del Ecuador*. Madrid: Actas de la II Reunión sobre Suelos Forestales.
- López, R. (2002). *Degradación del suelo causa, procesos, evaluación e investigación*. Mérida.
- Lozano, Z., Briceño, O., Villanueva, J. G., Bravo, C., Hernández, R. M., Moreno, B., & Piñango, L. (29 de 07 de 2009). Propiedades químicas del suelo bajo cultivos de cobertura en sistemas de labranza conservacionista y su efecto sobre el rendimiento de maíz. Caracas, Venezuela: Venesuelos.
- Lozano, Z., Briceño, O., Villanueva, J., Bravo, C., Hernández, R., Moreno, B., & Piñango, L. (2014). Propiedades químicas del suelo bajo cultivos de cobertura en sistemas de labranza conservacionista y su efecto sobre el rendimiento de maíz. *Venesuelos*, 24-41.

- MAGAP. (2015). *Agricultura.gob.ec*. Obtenido de [http://servicios.agricultura.gob.ec/politicas/La Política Agropecuaria al 2025 II parte.pdf](http://servicios.agricultura.gob.ec/politicas/La%20Pol%C3%ADtica%20Agropecuaria%20al%202025%20II%20parte.pdf)
- Mariño, O. (2002). *Aternativas para solucionar las deficiencias del sistema de comercialización de los productos agropecuarios en la provincia de Pastaza*. Quito: Instituto de Altos Estudios Nacionales.
- Martín, N. J., & Pérez, G. (12 de Enero de 2009). *Scielo*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100003
- Martinez, & Zinck. (2004). Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of colombian Amazonia. En *Soil Tillage* (págs. 3-17). Colombia.
- Medina. (1989). Bases para la interpretación de análisis de suelo y follaje, Departamento técnico. Coliap. Bogotá, Colombia.
- Mendiola, & Brack. (2012). *Enciclopedia ecológica del Perú*. Obtenido de http://www.peruecologico.com.pe/lib_c18_t03.htm
- Ministerio de agricultura, g. a. (2015). *Mapa de cobertura y uso de la tierra*. Quito.
- Miranda , F., Saant, K., Jara, W., Andino, A., Caiza, S., Cahipundo, G., . . . Bravo, C. (2017). *Caracterización física de la calidad del suelo mediante índices estructurales en un bosque secundario de la Amazonía ecuatoriana*. Puyo: Universidad Estatal Amazónica.
- Montalvo, F. (Mayo de 2013). Efectos de la contaminación del suelo en la productividad de cinco sectores agrícolas de la parroquia de Tumbaco. Quito, Ecuador.
- Nelson, D., & Sommer, L. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *9*(2), 539-579.
- Nieto, & Caicedo. (2012). Análisis reflexivo sobre sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. Joya de los Sachas: INIAP-EECA.
- Pastaza, G. A. (2014). *Plan de desarrollo de la provincia de Pastaza al año 2025*. Puyo.
- Pla. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. Propiedades Mecánicas. En *Suelos Ecuatoriales* (págs. 75-93). Suelos Ecuatoriales 40.
- Pla, I. (2015). *Problemas de degradación del suelos en el mundo: causas y consecuencias*. España: Universidad de Lleida.
- Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Bravo, C., Navarrete, H., . . . Marín, H. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana . *Revista electronica de veterinaria*.
- Rojas, A., & Ibarra, J. (2008). *La degradación del suelo y sus efectos sobre la población*. Asuncion.

- Ruiz, A., & GZ-Janica, H. (Abril de 2012). Efectos ambientales y socioeconómicos del sistema de producción ganadero con enfoque ambientalmente sostenible y el sistema tradicional, implementados en las fincas Escocia y Alejandrina, repedctivamente en el municipio de Monteria, departamento de Cordo. Cartagena, Colombia.
- Silva, W. P. (06 de Febrero de 2015). La problemática ambiental y el deterioro de los recursos naturales en el Ecuador. Una perspectiva desde la geografía. Quito, Ecuador.
- Suquilanda, M. (2008). *El deterioro de los suelos en el Ecuador y la producción agrícola*. Quito: Universidad Técnica Equinoccial.
- Vallejo, V. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles. . *Colombia Forestal*, 83-99.
- Vargas, R. N. (2010). *Indicadores biológicos para la evaluación de la calidad de los suelos*. Santo Domingo: Universidad Técnica Equinoccial.
- Vasquez, J., Macias, F., & Menjivar, J. (2013). Respiración del suelo según su uso y relación con algunas formas de carbono en el departamento de Magdalena, Colombia. *Scielo- BIOAGRO*, 175-180. Obtenido de <http://www.scielo.org.ve/pdf/ba/v25n3/art04.pdf>
- Vera, S., Lozano, Z., Lobo, D., Bravo, C., Hernandez, R., & Delgado, M. (2012). Propiedades físicas del suelo y distribución de raíces de maíz bajo diferentes tipos de cobertura y fertilización en un sistema conservacionista cereal-ganado. *Revista Agronomía UCV*, 49-63.

CAPITULO VI.

ANEXOS.

Análisis Físico en laboratorio.



Foto 1. Infiltración de las muestras



Foto 2. Saturación de muestras



Foto 3. Muestras en plato de Saturación



Foto 4. Peso de muestras secas después de 48 horas



Foto 5. Peso de muestras para analizar AlH y Al³.



Foto 6. Preparación de las muestras para COT

Análisis Químico en laboratorio



Foto 7. Preparación de las muestras



Foto 8. Filtración de las muestras



Foto 9. Muestras para titular Acidez Intercambiable



Foto10. Espectrofotómetro de luz ultravioleta



Foto 11. Espectrofotómetro de absorción atómica.