

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA VIDA CARRERA
INGENIERÍA AMBIENTAL



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL

TEMA:

ÍNDICES DE CALIDAD DEL SUELO BAJO REGENERACIÓN DE
PIGÜE (*Piptocoma discolor*) DE DISTINTAS EDADES EN UN
BOSQUE SIEMPREVERDE PIEMONTANO.

AUTORA:

GINA LISBETH SHIQUIA SANDU

DIRECTOR:

DR. JULIO CÉSAR MUÑOZ RENGIFO, PH.D.

PUYO- PASTAZA

ECUADOR

2019

Agradecimiento:

Quiero dar gracias a Dios por fortalecerme como ser humano y darme la fuerza para lograr mis metas planteadas con la frase: todo lo puedo en cristo que me fortalece.

Agradezco a mis padres, Beatriz Sandu y Luis Vidal Shiquia quienes me apoyaron, aconsejaron y depositaron su confianza en mí para llegar hasta la meta.

Agradezco al Dr. Julio César Muñoz Rengifo por su paciencia y dedicación, quién me supo colaborar con sus revisiones y recomendaciones como mi tutor, del mismo modo al Dr. Carlos Bravo y el Dr. Bolier Torres quienes me permitieron realizar este proyecto de tesis conducente al título de Ingeniera por la Universidad Estatal Amazónica, al MSc. Jorge Alba Rojas por todo el apoyo durante la fase de campo y para la elaboración de mi tesis, y de manera general a todas/os aquellas personas que colaboraron para la realización del mismo.

Gina Lisbeth Shiquia Sandu

Dedicatoria:

Mi tesis va dedicada a mis padres, Beatriz Prosperina Sandu, Luis Vidal Shiquia y mi Esposo, quienes sin importar cualquier circunstancia me apoyaron incondicionalmente con los recursos necesarios para culminar mi carrera y proyecto de tesis, para tener un mejor futuro.

A la prestigiosa Universidad Estatal Amazónica por abrir sus puertas y permitirme formarme en sus aulas como profesional, mediante los conocimientos brindados por docentes que impartían las diferentes asignaturas con mucha paciencia y dedicación.

Gina Lisbeth Shiquia Sandu

Resumen

Actualmente el recurso suelo a perdido su calidad, ya que está sometida a la degradación lo que constituye un problema ambiental a escala mundial y la principal amenaza para la conservación de la biodiversidad y sostenibilidad. Siendo uno de los recursos naturales de la tierra menos conocidos, con respecto al agua y al aire. En estas condiciones se puede identificar los índices de calidad con el pigüe (*Piptocoma discolor*) de distintas edades en un bosque siempreverde piemontano de la Comuna San Jacinto Parroquia Madre Tierra de la provincia de Pastaza. En la cual se recolectaron 31 muestras de suelo y hojarasca que fueron llevadas de campo a laboratorio donde se analizó los índices de calidad del suelo obteniendo; indicadores físicos (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr), químicos (pH, Al+H, Al, P, Mg, MO, K, P) de la calidad del suelo. En los usos de suelos evaluados se obtuvo predominancia de las condiciones físicas de este suelo que no presenta compactación ya que su porosidad se encuentra fuera de los valores críticos, al igual que su conductividad hidráulica saturada (ksat) y la densidad aparente (Da). En las químicas se pudo observar valores de alta acidez, presencia de aluminio (Al) que está dentro de un rango medio por lo que hay baja disponibilidad de nutrientes. Dependiendo del diverso uso de tierra los mejores valores de atributos físicos y químicos relacionados con la calidad de suelo se encuentran en el primer horizonte de 0-10cm. Todos los valores obtenidos de los componentes de los pigüe de distintas edades presentaron una diferencia mínima de variabilidad. Sin embargo, químicas son todo lo contrario ya que la mayoría de sus variables tienen una pequeña mejoría, se encuentran en rangos no adecuados para la agricultura, el cambio de uso de tierra afecta las características del suelo. Por lo que se concluye que el estudio realizado presentó variabilidad en la Da, Pt, Pa aptos para ser usados en la identificación de cambios de usos de los suelos amazónicos.

Palabras claves: Indicadores, Bosque siempreverde piemontano, Pigüe, Análisis de Componentes Principales.

Summary

Currently the resource soil has lost its quality, since it is subject to degradation which constitutes a global environmental problem and the main threat to the conservation of biodiversity and sustainability. Being one of the less known natural resources of the earth, with respect to water and air. Under these conditions, the pigüe quality indexes (Piptocoma discolor) of different ages can be identified in an evergreen piedmont forest of the San Jacinto Commune Madre Tierra Parish of the province of Pastaza. In which 31 samples of soil and litter were collected that were taken from field to laboratory where the soil quality index was analyzed obtaining; physical indicators (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr), chemicals (pH, Al + H, Al, P, Mg, MO, K, P) of soil quality. In the evaluated land uses, predominance of the physical conditions of this soil that does not present compaction was obtained since its porosity is outside the critical values, as well as its saturated hydraulic conductivity (ksat) and the apparent density (Da). In the chemistries it was possible to observe values of high acidity, presence of aluminum (Al) that is within a medium range so there is low availability of nutrients. Depending on the different land use, the best values of physical and chemical attributes related to soil quality are the first horizon of 0-10cm. All the values obtained from pigüe components of different ages showed a minimum difference of variability. However, chemicals are the opposite since most of their variables have a small improvement, are in ranges not suitable for agriculture, the change in land use affects the characteristics of the soil. Therefore, it is concluded that the study presented variability in Da, Pt, Pa apt to be used in the identification of changes in Amazonian land uses.

Keywords: Indicators, piedmont evergreen forest, Pigüe, Principal Components Analysis.

Contenido

CAPÍTULO I.....	5
1.INTRODUCCIÓN.....	5
1.2.JUSTIFICACIÓN.....	8
1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	8
1.4. HIPÓTESIS.....	9
1.5. OBJETIVO GENERAL:.....	9
1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	9
CAPÍTULO II.....	10
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	10
2.1. PIGÜE (<i>Piptocoma discolor</i>).....	10
2.2. IMPORTANCIA DEL PIGÜE.....	10
2.3. LA PRODUCCIÓN DE PIGÜE EN EL ECUADOR.....	11
2.4. MANEJO DEL CULTIVO DE PIGÜE (<i>Piptocoma discolor</i>) EN EL ECUADOR.....	11
2.5. PROBLEMÁTICA DE LOS SUELOS AMAZÓNICOS.....	12
2.6. CONCEPTOS Y DEFINICIÓN DE CALIDAD DE SUELO.....	12
2.7. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO.....	13
2.8. INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO.....	13
2.9. INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS.....	14
CAPÍTULO III.....	16
3.MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Localización.....	16
.....	16
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS.....	17
3.3 MATERIALES DE CAMPO.....	17
3.4 EQUIPOS Y MATERIALES DE OFICINA.....	17
3.5 EQUIPOS Y MATERIALES DE LABORATORIO.....	17
3.6 REACTIVOS.....	18
3.7 FACTORES DE ESTUDIO VARIABLES DEPENDIENTES.....	18

3.7.1 PROPIEDADES FÍSICAS	18
3.7.2 PROPIEDADES QUÍMICAS.....	18
3.7.3 Variables independientes	19
3.7.4 Mediciones experimentales.....	19
3.7.5 Análisis físicos.....	19
3.7.6 Análisis químicos y biológicos	19
3.7.7 Análisis estadístico	20
3.8 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	21
3.8.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	21
3.8.2 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.....	21
3.8.3 INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA.....	21
3.9 METODOLOGÍA DE CAMPO	21
3.10 ANÁLISIS DEL LABORATORIO.....	23
3.10.1 SECADO	23
3.10.2 TAMIZADO	23
3.11 ANALISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS	24
3.11.1 DETERMINACIÓN DE PH.....	24
3.11.2 DETERMINACIÓN DE ACIDEZ INTERCALABLE.....	24
3.11.3 SOLUCIÓN EXTRACTORA DE CLORURO DE POTASIO 1 N.....	24
3.11.4 HIDRÓXIDO DE SODIO 0.01% (NaOH).....	24
3.11.6 ESTANDARIZACIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO 0.01	25
3.11.7 DETERMINACIÓN DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE	26
3.11.8 SOLUCIÓN EXTRACTORA DE CLORURO DE POTASIO 1N.....	26
3.11.9 HIDRÓXIDO DE SODIO 0.01%	26
3.11.10 ROJO DE METILO 0,02%	26
3.11.11 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA POR CALCINACIÓN	27
3.11.12 SOLUCIÓN DE SAL DE MORH 0,5 N	27
CAPÍTULO IV	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29

1) Calidad física del suelo bajo regeneración de pigue de distintas edades en un bosque siempreverde piemontano.	29
.....	32
2) Calidad química del suelo	34
2.1 Calculo de los valores promedios de las propiedades químicas con su desviación estándar de las profundidades 0-10 cm y 10-30 cm.	34
2.1.1 El pH:	35
2.1.2 Acidez intercambiable (A+H).....	36
2.1.3 Aluminio intercambiable (Al ⁺³).....	36
2.1.4 Fósforo disponible (P)	37
2.1.5 Potasio disponible (K)	37
2.1.6 Calcio disponible (Ca)	37
2.1.7 Magnesio disponible (Mg).....	38
2.2 La selección de indicadores de calidad en base al Análisis de componentes principales y la correlación.....	38
.....	40
.....	41
3) Índice de la calidad total del suelo bajo regeneración de pigue de distintas edades en un bosque siempreverde piemontano.	42
3.1 ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO	42
CAPÍTULO V	44
5. CONCLUSIONES	44
5.1 RECOMENDACIONES.....	44
CAPÍTULO VI.....	45
6.BIBLIOGRAFÍA:	45
CAPITULO VII.....	50
ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 2: Valores promedios de las propiedades químicas de las profundidades 0-10 cm y 10-30cm del pigüe de distintas Edades.....	34
Tabla 3: Análisis de Componentes principales.....	39
Tabla 4: Matriz de componentes principales de la muestra de pigüe de distintas edades.....	40
Tabla 5: Correlacion de las propiedades físicas y químicas de Spearman de los diferentes componentes de la muestra.....	41
Tabla 6. Clases de calidad de los suelos propuesta por (Cantú et al., 2007).....	43
Tabla 1: Rangos de interpretación de pH de los suelos.....	50
Figura 1: Mapa de la provincia de Pastaza. Los puntos de color rojo representan los lugares donde se llevó a cabo la investigación.....	16
Figura 2: Diseño de muestreo para diagnostico ambiental a nivel del uso de la tierra. Fuente: adapto de (Bravo, 2014).	23
<i>Figura 3: valores de densidad aparente de las profundidades del pigüe de distintas edades.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4: Valores de conductividad hidráulica (ksat)de las diferentes profundidades del pigüe de distintas edades.....</i>	<i>30</i>
Figura 5: Valores de porosidad total (Pt) en las diferentes profundidades del pigüe de distintas edades.	31
Figura 6. Valores de porosidad de aireación (Pa) de las profundidad de las plantaciones pigüe de las distintas edades.....	32
Figura 7: Valores de porosidad de retención de las profundidades de las plantaciones de pigüe de las distintas edades.....	33
Figura 8: Índice de calidad del suelo de las diferentes profundidades de pigüe de distintas Edades.....	42

CAPÍTULO I

1.INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país que por su gran variedad biótica y abiótica ha sido considerado uno de los 17 países más mega-diversos del mundo (Tobar Viteri, 2010). Este territorio ecuatoriano esta forma por 4 regiones naturales, una de ellas es nuestra región amazónica que tiene una extensión de 130.000 km² con una gran número de ecosistemas como los bosques premontanos, bosques húmedos premontanos y bosque pluvial premontano (Acurio & Rafael, 2009). Sin embargo estos ecosistemas se caracterizan por tener suelos de alto grado de acidez, baja concentración de nutrientes y con presencia de oligoelementos. Por lo tanto, la implementación de producción de alimentos es baja y provoca una degradación en los suelos (Martín & Pérez, 2009).

El suelo es dinámico cuyo funcionamiento es de vital importancia para la producción de alimentos y mantenimiento de la calidad ambiental regional y global (Doran, Jones, Arshad, & Gilley, 1999). Este es un recurso natural menos conocido de la tierra, con respecto al aire y al agua. Por lo tanto, el suelo es fundamental para el equilibrio, ya que forma como interfase entre la litosfera, atmosfera, hidrosfera y la biosfera. Esté en condiciones naturales, tiene un estado de equilibrio lento en un proceso de formación llamado edafogénesis. En esta condición el suelo está cubierto de vegetación, la misma que le aporta una cantidad de materia orgánica y nutrientes, lo que produce una mejora en la estructura. Se puede decir que los suelos mantienen una calidad adecuada. El suelo, además de cumplir con sus funciones de soporte físico y productor de alimentos, juega un papel crítico importante en el mantenimiento de la calidad del aire, almacenamiento de agua y nutrientes para las plantas, y sirve como medio purificador de contaminantes mediante los procesos físicos, químicos y biológicos.

En gran parte nuestro suelo pierde calidad , por lo se encuentra sometida a procesos como: la deforestación es una de las perturbaciones antropogénicas que ocasiona severos impactos sobre los servicios que proveen los ecosistemas, por ejemplo la perturbación de los ciclos hidrológicos de los ecosistemas, provoca la disminución de la humedad en los suelos, aumento de temperatura y presión atmosférica (Poveda Jaramillo & Mesa Sánchez, 1995) . Por otro lado, en los bosques amazónicos se identifican: disminución en la provisión de alimentos, regulación de las condiciones ambientales, regulación hídrica y formación de los suelos (Aliaga Lordemann,

Villegas Quino, & Leguía, 2010). Con ello, degradación es la pérdida acelerada del suelo sufriendo cambios en su función como, por ejemplo: los acontecimientos naturales y la intervención antrópica por la tala indiscriminada de árboles maderables y su cambio de uso destinadas para otras actividades causando así: la erosión, la salinización, contaminación y desertificación (Orjuela, 2010) .

En la actualidad en el Ecuador una de las principales técnicas agroforestales para el mejoramiento en la producción y la calidad del suelo es la utilización de especies nativas (Merino, 2011). La importancia del suelo es un tema principal porque el hombre aprovecha sus recursos para su bienestar y desarrollo, ya que es un recurso natural y esencial debido a que proporciona diferentes servicios eco-sistémicos, a considerar: aportar nutrientes al crecimiento de las plantas, filtra el agua, regula y transforma la materia por medio de algunos invertebrados involucrados en el ciclo, para posteriormente almacenar agua para las épocas de sequía (Alexander, 1981). Por lo tanto, la calidad del suelo es la sostenibilidad de la capacidad para dar elementos esenciales, teniendo como atributos la fertilidad, potencial de productividad y calidad ambiental, este sirve para comprender la utilidad y la salud de este recurso, entre ellas sus funciones las cuales son: 1) Promover la productividad, 2) Disminuir los contaminantes ambientales, y 3) Mejorar la salud de las plantas, animales y humanos dentro de un ecosistema (Cruz, Barra, del Castillo, & Gutiérrez, 2004). Sin embargo, los ecosistemas de la región amazónica están caracterizados por suelos de baja retención de nutrientes, debido a la alta concentración de aluminio e hidrogeno (Burgos, 2016). En este contexto se encuentran los suelos de la provincia de Pastaza, los cuales están siendo intervenidos por el hombre a través de la tala indiscriminada de árboles, introducción de la ganadería con pastos de mala calidad y su desarrollo agrícola rudimentaria (Martino, 2007), contribuyendo así a la pérdida de especies autóctonas de la región y la afectación de los suelos por un manejo inadecuado de sus recursos (Martín & Pérez, 2009).

En los sistemas agroforestales amazónicos para la conservación de especies maderables de la amazonia, la especie característica es el pigüe (*Piptocoma discolor*), ya que es una especie nativa, que crece en suelos limonosos y arcillosos, que tiene la capacidad de regenerar áreas abandonadas (González, Papue, González, Borja, & Oliva, 2018) . Además, el pigüe regula las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que le permite capturar grandes cantidades de

carbono (González et al., 2018). Esta especie, mantiene el equilibrio de los ecosistemas, gracias a su capacidad de regeneración y la formación de los ciclos geomorfológicos, lo que permite que muchos de sus productores se beneficien de sus servicios como la regeneración natural en áreas abandonadas con el fin de generar materia orgánica y nutrientes al suelo (Merino, 2011). En efecto diversas características hacen de esta especie atractiva para fines maderables o podría ser utilizada como indicador de calidad del cambio de uso suelo que mejorarían los ingresos económicos de los pobladores (Dezseo, 2000).

Este proyecto de investigación forma parte de la titulación con el tema índices de calidad del suelo bajo la regeneración de pigüe (*Piptocoma discolor*) de distintas edades en un bosque siempreverde piemontano, localizado en la parroquia Madre tierra de la provincia de Pastaza. Que tiene como propósito generar información de indicadores de sustentabilidad en las diversas fincas de las comunidades, que nos permitirá analizar los índices de calidad del suelo mediante sus propiedades físicos, químicos y biológicos bajo varios usos (C Bravo, 2014).

1.2.JUSTIFICACIÓN

Esta presente investigación tiene la finalidad de estudiar la calidad del suelo debido al cambio de uso de tierra bajo regeneración del Pigüe de distintas edades ya que es de vital importancia para mantener un equilibrio sostenible en la producción de servicios para la agricultura y la población en general, lo que permitirá conocer los diferentes problemas en la que se ven afectadas las comunidades encañadas, amazonas y Puerto santana por la degradación y compactación de los suelos causando dificultades en la producción. La importancia de esta investigación radica en el impacto económico y social del pigüe de distintas edades que permitirá generar datos del cambio de uso de suelo de los diferentes pigüe de 1,5,6 y 7 años como indicadores de calidad de suelo que pueda influenciar en un futuro ya que la información obtenida aportará al mejoramiento en la utilización de las especies nativas lo que generará una nueva alternativa de uso y regeneración de los sitios abandonados por el manejo indiscriminado de la agricultura, a través de sistemas agroforestales que serán puestas en práctica por los comuneros dando paso a una agricultura responsable en la provincia de Pastaza.

1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En las comunidades “La Encañada”, “Amazonas” y “Puerto Santana”, pertenecientes a la comuna San Jacinto ubicado en la Parroquia Madre Tierra-Provincia de Pastaza, los pobladores realizan actividades como la ganadería y agricultura. Estas diversas formas de cambios de usos de suelos como la implementación de pasto alemán a algunos sistemas de producción, como es el caso de la producción bovina bajo pastoreo, han ocasionado daños al medio ambiente y la biodiversidad debido a la destrucción de selvas y bosques, provocando la reducción a la diversidad de la flora y la fauna de esta región. Sin embargo, la pérdida de especies nativas como el pigüe que es una especie que existe solo en los bosques secundarios ayudaría a regenerar el cambio de uso de suelo usándolo como indicador de la propiedades físicos, químicos y biológicos que mejorarían la calidad del suelo. En efecto estas condiciones tienen un importante impacto que es la degradación de los suelos, y como resultado una gran cantidad de pequeños productores abandonan la siembra de cultivos, debido a los rendimientos cada vez más bajos, la mala calidad de los productos y el encarecimiento de los costos de producción de las comunas.

1.4. HIPÓTESIS

Como influirá la calidad del suelo de la Parroquia Madre tierra, en las distintas edades de plantaciones de pigüe en un bosque siempreverde piemontano.

1.5. OBJETIVO GENERAL:

Identificar los índices de calidad del suelo bajo regeneración de pigüe (*Piptocoma discolor*) de distintas edades en un bosque siempreverde piemontano de la comuna San Jacinto (comunidades: Encañada, Amazonas y Puerto santana)

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1) Analizar la calidad física del suelo bajo regeneración de pigüe de distintas edades en un bosque siempreverde piemontano.
- 2) Determinar la calidad química del suelo bajo regeneración de pigüe de distintas edades en un bosque siempreverde piemontano.
- 3) Obtener un índice de la calidad total del suelo bajo regeneración de pigüe de distintas edades en un bosque siempreverde piemontano.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. PIGÜE (*Piptocoma discolor*)

El pigüe es una especie nativa de América del sur, con predominancia en el bosque secundario; esta especie ayuda a regenerar bosques perturbados por lo que resulta ideal para el manejo sostenible, esta es producida fácilmente por familias campesinas sin necesidad de asistencia o insumos externos (Erazo, Izurieta, Cronkleton, Larson, & Putzel, 2014). Esta especie es un árbol de madera blanda y su crecimiento es rápido estos pueden alcanzar una altura máxima 30m, el diámetro del tronco es de 60 cm, con forma cilíndrica y crece en suelos limosos y arcillosos de los bosques secundarios tempranos y tardíos de la región amazónica (Merino, 2011). Las hojas y tallos son tiernos y representan un contenido proteico crudo de un 20,4% (Hurtado & Suárez, 2013).

Existe gran densidad de los árboles pigüe (*Piptocoma discolor*) se encuentran en los bosques secundarios del cantón y provincia de Pastaza, la misma que se encuentra desde los 500 hasta los 1.500 msnm y su temperatura oscila a los 20°C. La dispersión de las semillas de *Piptocoma discolor* es realizada por anemócora, debido a sus escamas floreales propias de la familia Asterácea (Erazo et al., 2014), el pigüe cuenta con un alto porcentaje de semillas por Kilogramo y presenta un 95% de germinación (Aguirre Mendoza & Leon Abad, 2012).

2.2. IMPORTANCIA DEL PIGÜE

El pigüe (*Piptocoma discolor*) es una especie maderable es blanda, fácil de uso; ya que es una especie pionera que ayuda a regenerar los suelos y los bosques que han sido abandonados o fuertemente explotados por sus propietarios, además es una fuente de ingreso económico a nivel local lo que permite sustentar a varias familias de las comunidades anteriormente mencionadas que dependen de este tipo especie (Merino, 2011) .

Además cabe recalcar los saberes ancestrales que brindan las comunidades indígenas acerca la corteza del árbol de pigüe, ya que ellos le dan uso medicinal para diferentes tratamientos como por ejemplo: para la mordedura de culebra debido a la lejanía que se encuentran estos sectores

y otros hacen uso de las hojas de este árbol para tratar las diarreas de los infantes (García, Abril, Djibeyan, Andrade, & Ontaneda, 2016).

2.3. LA PRODUCCIÓN DE PIGÜE EN EL ECUADOR

En las zonas rurales de la amazonia los pobladores locales producen y comercializan muchos tipos de madera que se utiliza en diversos usos, que sirven para la construcción permanente de materiales de embalaje para envíos. El uso y la comercialización de un solo tipo de madera a nivel local depende de un sin número de factores incluido su dureza, color y otras propiedades físicas o mecánicas. Las maderas que tienen alta demanda a nivel local son las que tienen un número reducido de árboles de bosques naturales que son de crecimiento lento, y las cuales se encuentran fuera del alcance de los residentes locales, incluyendo a los que viven en zonas urbanas. La demanda local de este tipo de madera ha generado el crecimiento del mercado de la madera que se caracteriza por su rápido crecimiento y su baja calidad (Erazo et al., 2014).

La venta, uso y comercialización de productos elaborados con la especie pigüe (*Piptocoma discolor*) empezaron en la década de los 90, en la que empezaron los primeros aserrados investigados en el área de estudio, estos se especializan en hacer cajas para las frutas. Sin embargo, desde el año 2000 ha crecido la demanda de “tucos” del pigüe (Merino, 2011), los cuales son utilizados para la elaboración de parihuelas y cajas para la transportación de frutas de las zonas rurales de producción, hacia los mercados locales. Debido a su aporte en la capacidad de regeneración ecológica, los agricultores de esta especie pigüe (*Piptocoma discolor*) lo producen mediante manejo de barbechos y nichos ecológicos donde crecen de manera natural (Erazo et al., 2014).

2.4. MANEJO DEL CULTIVO DE PIGÜE (*Piptocoma discolor*) EN EL ECUADOR

En la actualidad se han hecho diversos estudios sobre el manejo del cultivo pigüe (*Piptocoma discolor*) para implementarlo en los sistemas silvopastoriles para el manejo y recuperación de áreas que han sido deforestadas y degradadas por la producción agrícola y ganadera de la región. El pigüe (*Piptocoma discolor*) es una especie que se maneja como forraje con podas de 80cm

para luego ser alimento de ganado con ramoneo y pastoreo rotacional (cada 60 días); este árbol también sirve para sombrío (Hurtado & Suárez, 2013).

2.5. PROBLEMÁTICA DE LOS SUELOS AMAZÓNICOS

Debido a la acción antropogénica en las diferentes actividades ya sea de conservación, producción, etc., el suelo es un recurso natural muy importante, se ve alterado y en algunos casos está expuesto y en peligro (López, 2002). La pérdida de los suelos y el establecimiento de suelos erosionados, desertificados etc., no solo afecta la capacidad de retener los nutrientes del ecosistema y la permanencia de las especies, sino que genera migración, abandono de estos lugares y establecimiento de nuevos asentamientos en zonas con selva virgen, bosques, lo cual genera problemas de contaminación de suelos y agua en otros lugares, debido a la falta de manejo de residuos, el mal manejo de los cultivos para asegurar el reciclaje de nutrientes, entre otros (Sánchez & Rosales, 1998).

Los sistemas agroforestales son una alternativa sostenible para el aumento de la biodiversidad vegetal y animal, con ello se trata de aprovechar varios estratos de vegetación para mejorar la dieta alimentaria del animal, proporcionando diversos alimentos como forraje, frutos y flores que le permitan variar su dieta y aumentar el nivel de producción (Sánchez & Rosales, 1998). En lugares que han perdido su vegetación se implementa la utilización de pigüe para la recuperación de su estructura. En la amazonia el pigüe (*Piptocoma discolor*) crece en los suelos limosos y arcillosos ya que estos tienen alto contenido de materia orgánica (Thompson & Troeh, 1988).

2.6. CONCEPTOS Y DEFINICIÓN DE CALIDAD DE SUELO

Existen muchas definiciones para la calidad del suelo, una de estas es la desarrollada por la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo la cual se centra en describir la capacidad que tiene el suelo para que las personas puedan realizar actividades de producción, conservación, entre otras que nos permite entender la capacidad del suelo para cumplir diversas funciones de acuerdo al uso que le vayamos a dar (Richards, Gardner, & Ogata, 1956). También se define la calidad del suelo como la capacidad de cumplir diversas funciones dentro de un ecosistema natural o intervenido, ya sea para el mantenimiento de plantas y animales, mejorar la calidad del aire y agua, y/o sostener la salud humana y el hábitat; que constituyen las funciones más

aceptadas por la población mundial (Cruz et al., 2004); mientras que para (Arshad & Coen, 2001). La calidad del suelo es la capacidad de acumular y recibir grandes cantidades de agua, minerales y energía para el desarrollo de cultivos. Según (Karlen, 2011), los suelos tienen 3 funciones: 1) promover y mantener la productividad sin alterar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; 2) disminuir contaminantes y patógenos; y, 3) mantener la salud de todo ser vivo que habita en un ecosistema.

2.7. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO

A comienzos de la industrialización agrícola, ha tomado mayor importancia obtener la máxima producción de cultivos sin considerar el deterioro de la calidad del suelo. Sin embargo, existe un interés creciente de diversos grupos de la sociedad en cambiar este concepto erróneo y han tratado de entender, analizar, describir, etc., las funciones e interrelaciones de las propiedades del suelo y su relación con diversos sistemas de producción (Cruz et al., 2004). Es así como ha tomado mayor relevancia, el realizar evaluaciones periódicas y el monitoreo de las propiedades del suelo para mantener o mejorar la calidad (Vallejo, 2013).

La calidad del suelo es una dependencia del conjunto de variables o indicadores físicas, químicas y biológicas que son evaluadas y que nos permitirán saber la situación actual del sitio, sus cambios existentes y percibir el impacto posible a causar debido a la intervención humana y determinar si hay sostenibilidad en el uso del recurso (Prieto-Méndez, Prieto-García, Acevedo-Sandoval, & Méndez-Marzo, 2013).

2.8. INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO

Los indicadores son aquellos datos que mediante el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos, nos proporcionan información para entender el estado actual y el impacto que han ocasionado las actividades a los que han estado expuestos los suelos (Cruz et al., 2004).

Los indicadores cumplen varios requisitos, a considerar: 1) Sensibilidad a los cambios inducidos por el manejo; 2) separar los cambios naturales con los inducidos del manejo; 3) Ser medible fácilmente; 4) Ser relevante en el sitio y característico en el tiempo; y, 5) Debe responder a medidas correctivas (Cruz et al., 2004). Cuando se vaya a realizar la selección de indicadores es

necesario tomar en cuenta aquellos que parezcan más fiables en casos específicos. Ya que existen muchos criterios en la actualidad sobre los indicadores. Un grupo sugiere estudiar los mismos en todos los casos para así poder comparar a nivel nacional e internacional; mientras otros aluden que se debería escoger de acuerdo a las limitaciones presentes en los suelos y tomando en cuenta las funciones que se evalúan (Cruz et al., 2004).

Para determinar la sustentabilidad es importante considerar aquellos indicadores que definen calidad (Michelena et al. 2001). Mientras que (Quiroga & Peinemann, 2001), mencionan que siempre se debe tomar el indicador de la materia orgánica (MO) ya que esta tiene influencia en la calidad de los suelos y la producción de plantas. Los datos de los indicadores evaluados son valores que tienen un significado por lo que se realiza una comparación a un sistema de referencia adecuado (Astier Calderón, Maass Moreno, & Etchevers Barra, 2002). Los indicadores que han sido seleccionados deben representar la potencialidad que tiene dicho suelo (Karlen, 2011). Por esta razón se tomará un grupo pequeño de indicadores que tienen un conjunto mínimo de datos las cuales deberán ser medibles para evaluar la calidad del suelo (Doran & Parkin, 2010). Se cree conveniente tomar indicadores que permitan comprender la actualidad del suelo mediante procesos estadísticos como en el caso de análisis de componentes principales (Andrews & Carroll, 2001). Por lo tanto, la selección de datos se realiza bajo la opinión de expertos (Doran & Parkin, 2010).

Estos parámetros a evaluar no siempre son los mismos ya que dependen del lugar, sus circunstancias, objetivos de estudio y tipo de suelo. Por lo tanto, existen un grupo de parámetros que han sido tomado en diferentes estudios dentro del conjunto mínimo de datos. Los expertos en esta materia recomiendan: la densidad aparente, pH, conductividad hidráulica, porosidad edáfica, materia orgánica, nitrógeno (N), potasio (K), fósforo (P), respiración basal y edáfica, carbono de la biomasa entre otras (Doran & Parkin, 2010).

2.9. INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

Los indicadores físicos, químicos y biológicos dependen de la función de cada suelo donde se va a evaluar, es importante escoger un sin número de indicadores (Navarro et al., 2008), de tal manera que nos dé un conjunto de números de valor que nos permite entender la dinámica del agua en el suelo, entendiendo que esta retiene y transmite a las plantas, también estos indicadores

limitan el crecimiento de raíces, dando como resultado el comportamiento y función del suelo a evaluar (Cruz et al., 2004). Este tipo de indicadores deberían permitir: a) Identificar los puntos críticos de la situación actual, b) Analizar los posibles impactos que causara la intervención, c) Monitorear el impacto de las intervenciones y d) Determinar si el uso del recurso es sostenible (Astier Calderón et al., 2002).

Los indicadores físicos son los más adecuados para la evaluación de calidad de suelos como: la densidad aparente, conductividad hidráulica, textura, capacidad de retención, porosidad entre otros, mientras que los indicadores químicos reflejan la relación existente entre el suelo y las plantas, en cuanto a la disponibilidad de los nutrientes entre las especies vegetales y otros seres vivos que crecen en el suelo; entre sus principales indicadores están el pH, relación C-N, Nitrógeno (N), fósforo (P), Magnesio (Mg), Potasio (K) y Materia orgánica (Cruz et al., 2004).

Los indicadores biológicos son los que nos permiten entender la descomposición de los vegetales y animales que están en el suelo, mediante diversas actividades de los macro y microorganismos donde se destacan los átrapos, lombrices y hongos, etc. (Cruz et al., 2004). El estado microbiológico y bioquímico son propuestas como indicadores biológicos del suelo que permiten la recuperación de ecosistemas naturales y agroecosistemas (Bolton Jr, Elliott, Papendick, & Bezdicek, 2009). Sin embargo, estos bioindicadores son sensibles a cambios por lo que se ve reflejada en la calidad del suelo. Este término de “bioindicador” está definido como un parámetro microbiano que representara características o impactos que se puedan ser interpretados en la información de la medición del parámetro (Nielsen, Winding, & Binnerup, 2002). (Doran & Parkin, 2010) definieron como indicadores al C y N de la biomasa microbiana, el N como potencial mineralizable y respiración del suelo.

CAPÍTULO III

3.MATERLIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

El trabajo de investigación se desarrolló en fincas con parcelas de Pigüe (*Piptocoma discolor*) de productores independientes de la parroquia Madre Tierra en las comunidades “La Encañada”, “Amazonas” y “Puerto Santana”. Estas comunidades pertenecen a la comuna San Jacinto ubicado en la Provincia de Pastaza, la cual cuenta con una extensión de 84 Km² y su temperatura oscila entre los 18° C y 24° C (PASTAZA, 2019). En cada uno de los lugares mencionados se evaluó 1 finca de Pigüe tecnificada en la que se realizó el muestreo de suelo en campo para posteriormente realizar los análisis físicos y químicos, se puede observar en la **figura1**.

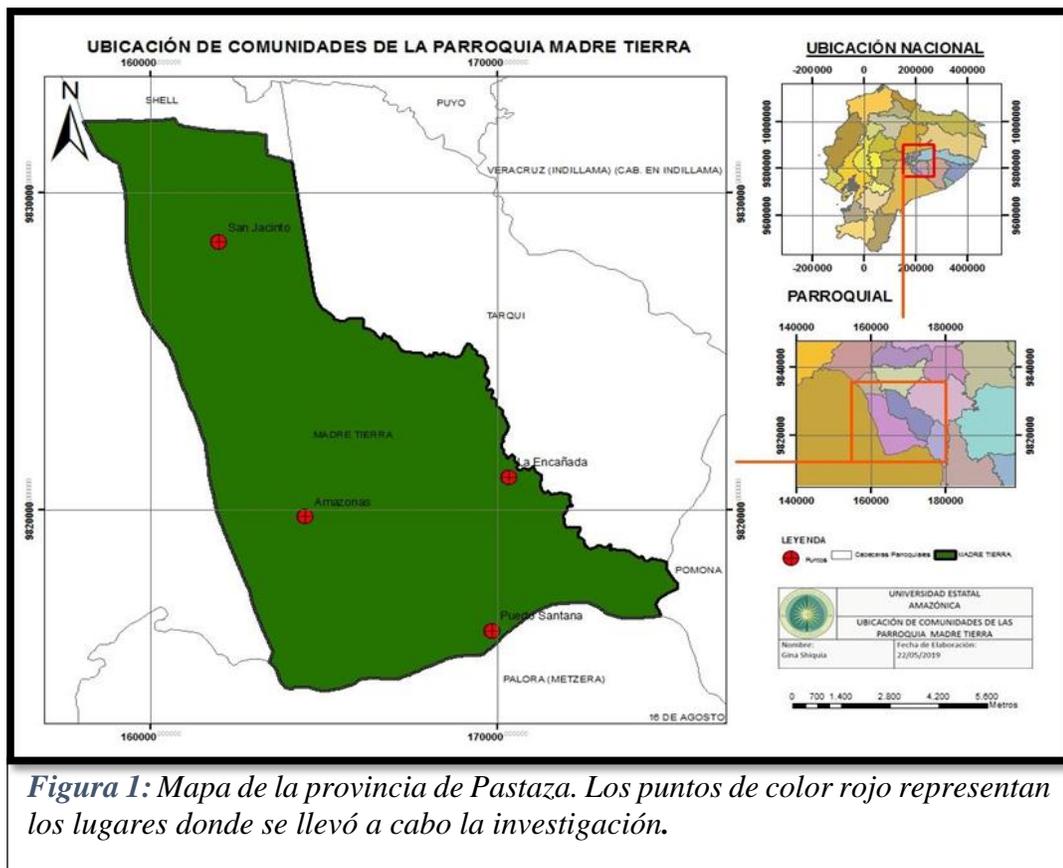


Figura 1: Mapa de la provincia de Pastaza. Los puntos de color rojo representan los lugares donde se llevó a cabo la investigación.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos que se utilizaron para la toma de las muestras en campo y en el laboratorio son las siguientes:

3.3 MATERIALES DE CAMPO

- Pala para tomar las muestras alteradas
- Barreno tipo Uhland para tomar las muestras no alteradas
- Cinta métrica
- Fundas ziploc
- Penetrómetros
- Envases de plásticos
- Frascos de vidrios
- Papel de aluminio
- Navaja
- GPS
- Libreta de apuntes

3.4 EQUIPOS Y MATERIALES DE OFICINA

- Computadora
- Hojas papel bond
- Impresora

3.5 EQUIPOS Y MATERIALES DE LABORATORIO

- Estufa
- Balanza analítica
- Plato de presión
- Mesa de tensión
- Soporte de bureta y nuez

- Matraz aforado
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Tamiz
- Bandejas
- Bureta
- Fiolas
- Potenciómetro

3.6 REACTIVOS

- Hidróxido de sodio – NaOH
- Fenolftaleína
- Cloruro de bario - BaCl₂
- Ácido Clorhídrico - HCl
- Ácido sulfúrico – H₂SO₄
- Cloruro de potasio – KCl
- Dicromato de potasio – K₂Cr₂O₇

3.7 FACTORES DE ESTUDIO VARIABLES DEPENDIENTES

3.7.1 PROPIEDADES FÍSICAS

- Densidad aparente (Da)
- Conductividad hidráulica saturada (ksat)
- Porosidad total (Pt)
- Porosidad de aireación (Pa)
- Porosidad de retención (Pr)
- Textura
- Resistencia en la penetración (RP)

3.7.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

- pH
- Acidez intercambiable (aluminio intercambiable)

- Materia orgánica (Carbono Orgánico)
- Fosforo (P)
- Potasio (k)
- Calcio (Ca)
- Magnesio (Mg)

3.7.3 Variables independientes

- Calidad del suelo
- Usos de la tierra

3.7.4 Mediciones experimentales

3.7.5 Análisis físicos

Para definir este parámetro se midió las siguientes variables: densidad aparente (Da) usando el método del cilindro (*Blake & Hartge, 1986*); la distribución de sus poros (Pt: porosidad total), porosidad de aireación (Pa: poros de radio $> 15\mu\text{m}$) y porosidad de retención se midió utilizando la mesa de tensión de saturación con un potencial mátrico de -10 KPa (*Blake & Hartge, 1986*). La conductividad hidráulica saturada (Ksat) se realizó con el método de carga variable, procesado por el método de (*Pla Sentis, 1983*). La resistencia a la penetración se calculó con un penetrómetro de punta cónica en su extremo y con la varilla graduada a distintos intervalos para alcanzar la profundidad de 40 cm.

3.7.6 Análisis químicos y biológicos

El carbono orgánico total (COT) se definió mediante el cálculo de digestión húmeda Walkley y Black (*Nelson & Sommers, 1982*), por lo que se realizó una oxidación con dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 1N se añadió ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y consecutivamente la cantidad de carbono orgánico oxidado por el Cr se midió por titulación utilizando la solución de Morh 0,5N ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Para la medición del pH se usó el método potenciométrico con la correlación suelo-agua, el nitrógeno total se calcula por el método de Kjeldahl y contenido de fosforo (P), Azufre (S) y las bases cambiables (Ca, Mg, K), estas fueron medidas por la metodología de Olsen modificado por (*Bertsch Hernández, 1995*). La respiración edáfica

contiene la respiración de raíces y microorganismos del suelo esto se midió en campo mediante el método de cámara estática donde se utilizó envases de plástico (PET) colocados y enterrados en 1 cm de profundidad ,luego fueron recogidos y depositados en un envase de vidrio 30 ml en una solución de NaOH 1M donde se atrapo el CO₂ producto de la actividad biológica. Esta prueba se realizó por un tiempo de 24 horas en la cual se añadió de 3 a 4 ml de cloruro de Bario (BaCl₂) para contener la reacción y luego se tituló con HC11N.

La respiración basal fue evaluada a nivel de laboratorio, usando 50g de suelo pasando por un tamiz de 2 mm donde se les retiró gran parte de las raicillas. Las muestras de suelo fueron colocadas en un envase de 100 g y se empapo para alcanzar una consistencia fiable. Después se colocó en un envase de plástico (11) junto con un vial de vidrio con 20 ml de NaOH 0,5 M, se cerró herméticamente y se dejó incubando por 24 horas. Al finalizar la incubación se interrumpió la reacción añadiendo 2ml de BaCl₂ 0,5 M y luego se tituló con HC1 0,5M. El número de lombrices se consideró en un cuadrante para los primeros 10 cm de profundidad.

En las muestras de hojarasca se definió peso fresco, después se puso en la estufa por un tiempo de 24 horas a 105°C para la determinación del peso seco.

3.7.7 Análisis estadístico

Para cada uso de tierra o tratamiento se manejó como unidad experimental sus referentes repeticiones y estadísticamente se realizó un diseño totalmente aleatorizado (*Torres, Cobo, Sánchez, & Raez, 2013*). Para ello, antes de elaborar los análisis de varianza se efectuó una evaluación de la normalidad de los datos aplicando la prueba de Will-Shapiro ($P < 0.05$). Después se estableció las diferencias entre los distintos usos de tierra considerando el factor profundidad y uso (Fig1, Fig 5, Fig6 y Fig7) mediante el análisis de varianza y la comparación de medias de Tuckey ($P < 0,05$). Equivalentemente se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman (r_s) ($P < 0.001$) para cuantificar el grado de relación de los distintos parámetros e indicadores seleccionados de calidad del uso de tierra. Ambos estadísticos (Coeficiente de Spearman y prueba de Tuckey) se utilizaron para la seleccionar un mínimo de indicadores con alto grado de asociación (≥ 0.70) y alta significancia. Todo esto sirvió para la seleccionar un sin número de variables que nos permita obtener un índice de calidad del suelo (ICS), utilizando la metodología

de propuesta por (Cantú, Becker, Bedano, & Schiavo, 2007). Los análisis estadísticos fueron realizados con el paquete estadístico SPSS, versión 21.

3.8 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.8.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación se basa en la investigación experimental y exploratoria.

3.8.2 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Es aquella que tiene como objetivo un planteamiento científico el cual permite analizar los diferentes parámetros del suelo para generar un índice de calidad del suelo de acuerdo al uso bajo regeneración de pigüe de distintas edades de un bosque siempreverde piemontano.

3.8.3 INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Es aquella que se ejecuta con el fin de medir los parámetros físicos y químicos que permiten determinar los índices de la calidad del suelo.

3.9 METODOLOGÍA DE CAMPO

Se uso la metodología de muestreo aleatorio simple basada en la idéntica probabilidad de ser seleccionadas para la muestra, la cual fue adaptado de (C Bravo, 2014) . Que consta de los siguientes pasos para el análisis de las propiedades físicas:

- 1) Se estableció las 3 áreas de estudios (**ver Anexo 1**).
- 2) Se delimito una parcela de 10 x100 m en cada comuna.
- 3) Se dividió la parcela en tres subparcelas tomando en cuenta la distribución del Pigüe dependiendo si era bosque o chacra.
- 4) Dentro del área de muestreo de las subparcelas se ubicaron 3 puntos (P1, P2, P3) (Figura 1).

5) Dentro de la subparcela se desarrolló la recolección de muestras, en cada punto se procedió a recolectar dos muestras, una para análisis físico-químicos (**ver Anexo 2**). La muestra física se realizó en cada punto (P1, P2, P3), estas muestras son empaquetadas y etiquetadas (**ver Anexo**). Para la obtención de la muestra química se procedió a recolectar en cada punto P1, P2 y P3 trazando diagonales alejándolo del centro de cada punto 5 m, sacando las muestras alteradas, estas muestras son separadas de 0cm-10cm en un lugar y de 10cm – 30cm en otro lugar (encima de lonas confeccionadas de plástico transparente). Las muestras se homogenizan para obtener una muestra compuesta y la toma de muestras no alteradas de suelo a tres profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm) para la evaluación de parámetros físicos de fertilidad edáfica. Las cuales son respectivamente empaquetadas y etiquetadas para ser enviadas al laboratorio.

6) En la parte central de las subparcelas se colocó un cuadrante de 0,250 m² que definió el área para el muestreo de la hojarasca y conteo de lombrices.

7) como parte de las actividades se contabilizan las lombrices que se visibilicen dentro de la cuadrícula, este dato da información de los efectos benéficos que representan la actividad de las lombrices en los suelos, en la confección de galerías que mejoran la aireación, percolación del agua, la infiltración y la fertilidad por el aporte de humus. Cada muestra física y química realizadas en cada punto deben ser etiquetadas con el nombre de la finca, profundidad de la muestra, punto al que corresponde y la fecha (**Ver Anexos 6 y 7**).

8) Para la determinación de las variables físicas a nivel de laboratorio se tomaron muestras de suelo no alteradas con cilindros de 5 cm de largo y 5 cm de diámetro que fueron recolectados con una barreno tipo Uhland (**ver Anexo 3**) para luego determinar densidad aparente (Da) (**ver Anexo 8**) por el método del cilindro, distribución de tamaño de poros (Pt: porosidad total); porosidad de aireación (Pa: poros de radio mayor a 15 µm), y porosidad de retención (Pr) usando el método de la mesa de tensión a saturación y con un potencial mátrico de -10 kPa (Blake & Hartge, 1986) Se evaluó la conductividad hidráulica saturada (Ksat) por el método de carga variable de acuerdo a la metodología de (Pla, 2010), (**ver Anexo 9**).



3.10 ANÁLISIS DEL LABORATORIO

Para medir la calidad del suelo se utilizará la metodología de acuerdo al programa de minimización de residuos del laboratorio de suelos de la UEA. En el que ingreso de la muestra y su codificación debe estar de acuerdo al registro del laboratorio. Estos son los procedimientos a seguir:

3.10.1 SECADO

El secado se ejecuta de la siguiente manera, se esparce la cantidad de la muestra en una o dos bandejas, posteriormente se procede a la destrucción de terrones y la limpieza de raicillas y restos vegetales, posteriormente el secado se realiza a temperatura ambiente de 3-4 días o en estufa a 45 °C (ver Anexo 4).

3.10.2 TAMIZADO

Se realiza por medio de una molienda mecánica o manual en tamiz de 2mm (Ver Anexo 5).

3.11 ANALISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

3.11.1 DETERMINACIÓN DE PH

Para la determinación de pH se pesan 10 gramos (g) de suelo añadiendo 25 ml de agua destilada (ver Anexo 10), se procede a agitar la muestra por 5min- 400 rpm y se deja 30min en reposo, se debe poner a calibrar el peachimetro, recordando que se agita durante la lectura finalmente se concreta con el lavado y secado del electrodo, para cada muestra. Tabla 1 (Ver Anexos)

3.11.2 DETERMINACIÓN DE ACIDEZ INTERCALABLE

Para la determinación de acidez intercalable se procede a pesar 2,5 g de suelo adicionando 25 ml de cloruro de potasio (KCl) 1N y luego se agita las muestras por 10 min a 400 rpm, luego que se procede a realizar la filtración con (papel filtro N1); como siguiente punto se toma una alícuota de 10 ml de filtrado, después se adiciona 10 ml de agua destilada y 3 gotas de fenolftaleína por muestra. como último punto se debe titular con hidróxido de sodio (NaOH), 1N (color rosado tenue) color que se coloca en las muestras a analizar para determinar la acidez del suelo.

3.11.3 SOLUCIÓN EXTRACTORA DE CLORURO DE POTASIO 1 N

Pesar 74,76 g de cloruro de potasio y llevar 1 litro con agua destilada, donde se colocará en una pipeta para extraer la solución de la muestra que nos indicara el nivel de nutrientes que contiene el suelo estudiado.

3.11.4 HIDRÓXIDO DE SODIO 0.01% (NaOH)

Pesar 0.4 g de NaOH y llevar 1 litro con agua destilada, esta solución debe estar estandarizada con un ácido de normalidad conocida para obtener una reacción que indique que la muestra de suelo analizada del área de estudio tiene la capacidad de retención de la humedad.

3.11.5 FENOLFTALEINA 0.05%

Pesar 0.05g de fenolftaleína y disolver en 50 ml de alcohol etílico. Aforar a 100 ml usando agua destilada. Esta solución tiene un rango de pH de viraje de 8.2- 10 donde se utilizará la ecuación siguiente:

CÁLCULOS

$$Al^{+3} + H^{+3} = V1 \times N \times 100 \quad (1)$$

Donde:

V1= Volumen de NaOH, utilizados al titular de la fenolftaleína.

N= Normalidad del NaOH (0.01)

$Al^{+3} + H^{+3} = \text{meq} / 100\text{ml o Cml}/ \text{kg}$

3.11.6 ESTANDARIZACIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO 0.01

Esto se realiza para analizar muestras y compuestos que indican su normalidad.

Por lo que se calcula con Ftalato ácido de potasio peso que tiene equivalencia 204.22 g; meq=0.20422 que serán remplazadas en la siguiente ecuación.

$$g = \text{ml} \times N \times \text{meq fталato} \quad (2)$$

$$g = 25\text{ml} \times 0.01N \times 0.20422$$

$$g = 0,051055 \approx 0.0511 \text{ fталato}$$

Se pesará 3 veces 0.0511g de fталato acido de potasio en Erlenmeyer de 250ml con el que se colocará 25 ml de agua libre de CO2 y se titulará con la solución de NaOH 0. 01N. Se anotará el consumo y calculará la normalidad real de la solución de NaOH.

$$N = \frac{\text{gramos de Fталato}}{\text{ml} \times \text{meq}} \quad (3)$$

$$N = \frac{0.0511\text{fталato}}{25 \text{ ml} \times 0.20422}$$

$$N = 0.01 \text{ fталato/ml}$$

3.11.7 DETERMINACIÓN DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE

Para realizar la determinación de aluminio intercambiable se procede a tomar la muestra de 2.5 g de suelo añadiendo 25 ml de KCl1N agitando la muestra por 10 min- 400 rpm se filtra de la muestra con la ayuda del papel Whatman #1, después se toma con ayuda de una alícuota 10 ml del filtrado, también se añade 10 ml de agua destilada y 3 gotas de rojo metilo y se titula NaOH 0.1 N (color amarillo opaco).

Encalado para fines agrícolas para verificar la disminución de nutrientes en el suelo.

Si el pH nos da < 5.5 determinamos acidez intercalable del suelo estudiado que indica que está en los rangos medianamente acida.

Si la acidez intercalable de un valor < 1.1 determinamos aluminio intercalable con la ayuda de un papel Whatman.

3.11.8 SOLUCIÓN EXTRACTORA DE CLORURO DE POTASIO 1N

Pesar 74,56 g de cloruro de potasio y llevar a 1 litro con agua destilada para medir la muestra en una pipeta (**Ver en Anexos**).

3.11.9 HIDRÓXIDO DE SODIO 0.01%

Pesar 0.4 g de NaOH y llevar a 1 litro con agua destilada (esta solución debe ser estandarizada con un ácido de normalidad conocida).

3.11.10 ROJO DE METILO 0,02%

Pesar 0,02g de rojo de metilo. Disolver en 60 ml de alcohol etílico y llevar a 100 ml usando agua destilada. Esta solución tiene un rango de pH de viraje de 4,8 a 6,0 que nos ayudara a calcular la acidez intercambiable de la muestra del suelo estudiado, con la siguiente ecuación:

CÁLCULOS

$$\text{H}^+ \text{ intercambiable} = V_2 \times N \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Al}^{+3} = \text{Al}^{+3} + \text{H}^+ - \text{H}^+ \quad (5)$$

V_2 = Volumen NaOH, utilizando al titular con el rojo de metilo

N = Normalidad del NaOH (0.01)

Al^{+3} = meq/100 o Cmol/kg

3.11.11 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA POR CALCINACIÓN

Según Schulte y Hopkins para determinar la cantidad de la materia orgánica, se pesa 5g de muestra en crisoles de 15ml para posteriormente colocar en la estufa durante 24 h a 105° C, luego se coloca durante 2h en una mufla a 360°C, se deja enfriar las mismas en el desecador y se pesa. Para luego posteriormente transferir a un desecador y enfriar para registrar el peso nuevamente y al final se realiza el cálculo de Materia Orgánica (MO) para diferenciar el peso a distintas temperaturas. Calculamos el porcentaje con la siguiente ecuación:

CÁLCULOS

$$\% \text{MO} = (\text{peso } 105^\circ \text{C} - \text{peso } 360^\circ \text{C}) * 100 / \text{peso } 105^\circ \text{C}$$

3.11.12 SOLUCIÓN DE SAL DE MORH 0,5 N

En las soluciones de sal de morh 0.5 N se pesa 139.01g de sulfato de hierro II heptahidratado donde se agrega alrededor de 500 ml agua destilada a lo que se añade 15 ml de ácido sulfúrico concentrado, se mezcla y se completa con agua destilada hasta 1000ml. Tiene como objetivo de analizar el tipo humus del suelo y otras características de la misma.

Por lo que se calcula con la siguiente ecuación:

CÁLCULOS

$$CO\% = \frac{(V_o - V) \times N \times 0.39}{PM}$$

$$MO\% = \frac{(V_o - V) \times N \times 0.39 \times 1.72 \times 1.1}{PM}$$

V_o= Volumen gastado en la titulación del blanco.

V= Volumen gastado en la titulación de la muestra

N= Normalidad exacta de sulfato de hierro.

1.7= Constante de conversión de C a MO, sobre la hipótesis de la materia orgánica contiene **58%** de C, en la generalidad de suelo encontrados en Pastaza.

1.1 =error de conversión de C a MO (10%).

PM= Peso de la muestra del suelo.

0.39= $3 \times 1.3 / 100$ (3=peso equivalente de carbono y 1.3 es el factor de compensación por la combustión incompleta de la materia orgánica de este procedimiento).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1) Calidad física del suelo bajo regeneración de pigüe de distintas edades en un bosque siempreverde piemontano.

Parámetros físicos:

Cuando se determinaron los valores promedios de las propiedades físicas para las distintas profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm) densidad aparente (D_a), conductividad hidráulica (K_{sat}), porosidad total (P_t), porosidad de aireación (P_a) y porosidad de retención (P_r) teniendo en cuenta el factor profundidad se observa que todas las variables presentan mayor significancia ($P \leq 0,05$). Estos resultados reflejan gran cantidad de materia orgánica en el horizonte superficial ya que presenta mayor porosidad de aireación, mayor K_{sat} , menor D_a , en la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

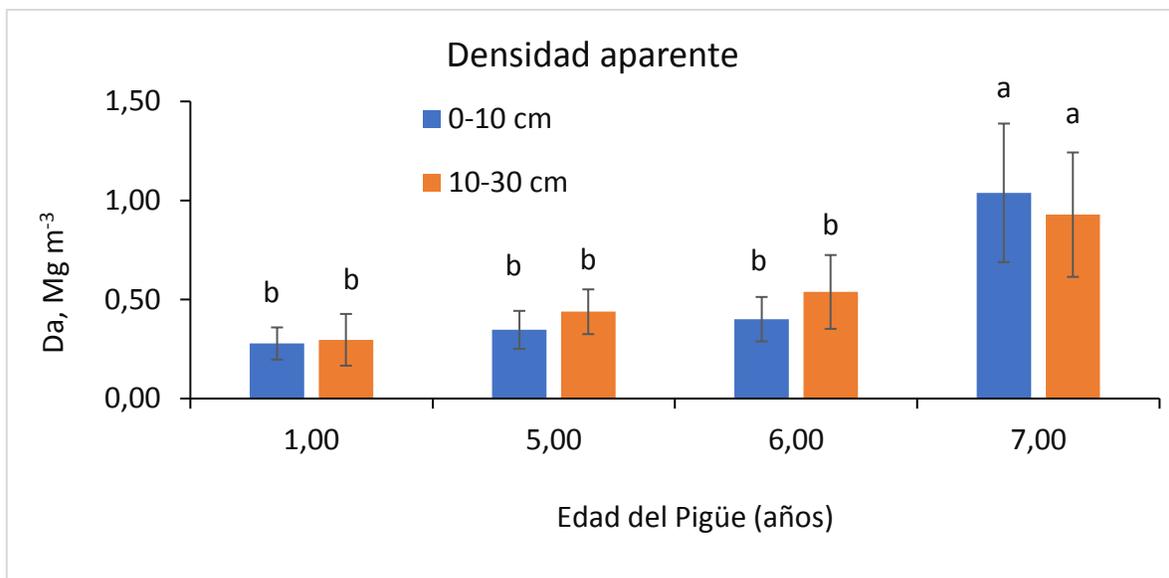
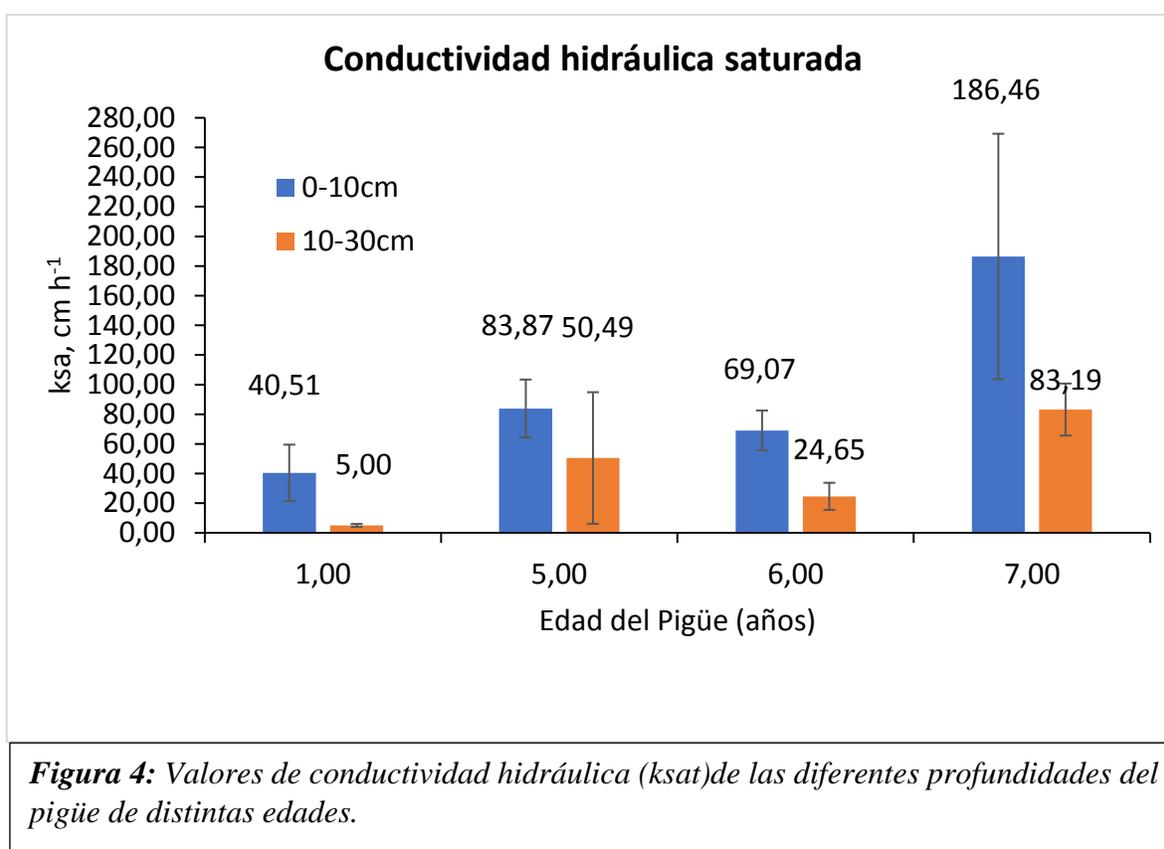


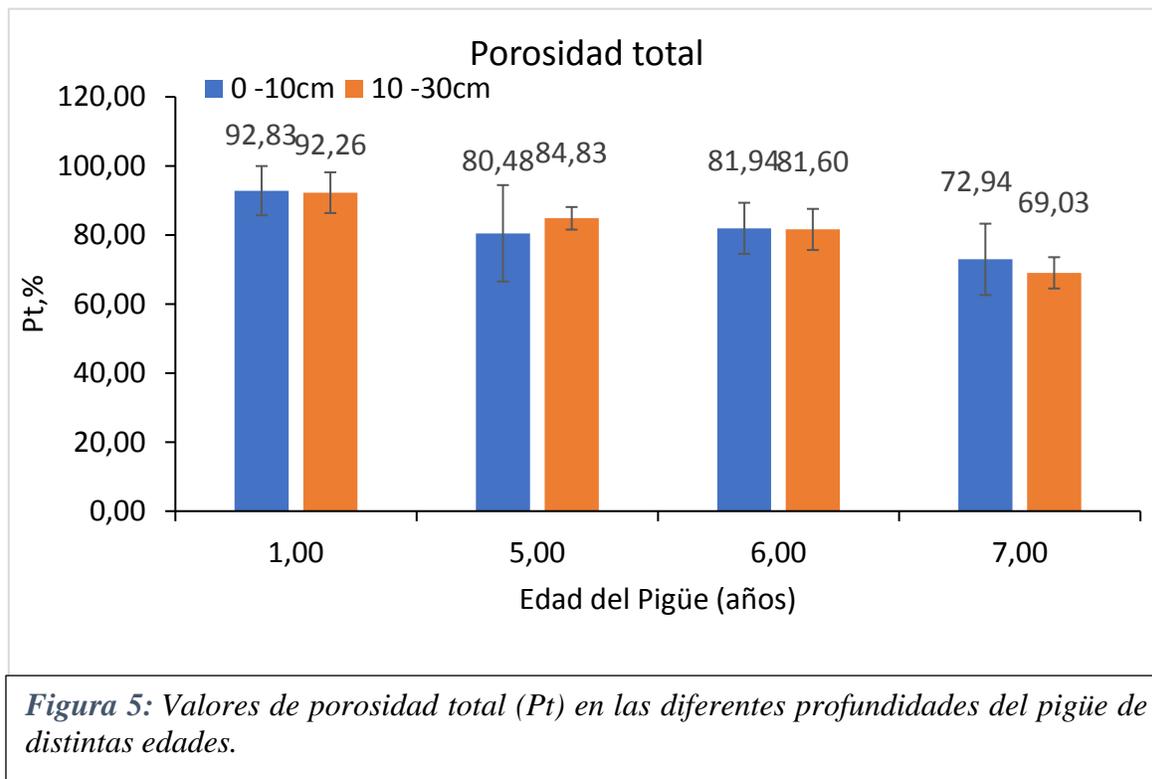
Figura 3: valores de densidad aparente de las profundidades del pigüe de distintas edades.

En la figura 3: Se muestran los valores promedios de la Da bajo diferentes edades de pigüe. Se puede observar para ambas profundidades diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con mayores valores en la plantación con 7 años. Independientemente de la edad de la plantación la menor densidad se registró en el horizonte superficial, con rangos que oscilan entre 0,25 a 0,90 Mg m^{-3} tal situación obedece o se relaciona con la mayor concentración de MOS que mejora la estructura del suelo, su porosidad que hace que disminuya la Da (Carlos Bravo et al., 2017). Al comparar los resultados obtenidos con el valor crítico de 1.3 Mg m^{-3} en todas las plantaciones y profundidades los valores obtenidos estuvieron por debajo de dicho límite lo cual indica que no existen problemas de compactación y de penetración de raíces (Pla, 2010).



En la Figura 4, se muestra los valores promedios conductividad hidráulica (k_{sat}) bajo diferentes edades de pigüe. Se puede observar para ambas profundidades diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con mayores valores en la plantación con 7 años. Independiente de la edad de la plantación la menor conductividad se registró en la segunda capa, con rangos que oscilan entre 24,65 a 83,19 K_{sat} y 86,46 a 8,87 K_{sat} . Tal situación obedece o se relaciona con la mayor concentración de MOS que mejora la estructura del suelo, su porosidad que hace que la Da

disminuya o aumente (Carlos Bravo et al., 2017). Al comparar los resultados obtenidos con el valor crítico de $0,5 \text{ cm h}^{-1}$ y $0,2 \text{ cm h}^{-1}$ en todas las plantaciones y profundidades los valores obtenidos estuvieron por debajo de dicho límite lo cual indica que no existe degradación y compactación de suelos (Pla, 2010).



En la **figura 5** se muestran los valores promedios de la porosidad total (Pt) bajo diferentes edades de pigüe. Se puede observar para ambas profundidades diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con mayores valores en la plantación de pigüe de 1 año. Independiente de la edad de la plantación la menor densidad se registró en el horizonte superficial, con rangos que oscilan entre 69 a 92 %. Tal situación obedece o se relaciona con la mayor concentración de MOS que mejora la estructura del suelo, su porosidad que se relaciona con la porosidad de retención donde se mostró similitud con rangos de 50 a 78 % (Carlos Bravo et al., 2017). Al comparar los resultados obtenidos con el valor límite de 35% en todas las plantaciones y profundidades los valores obtenidos estuvieron por encima de dicho límite (Pla Sentis, 1983), la cual indica que no existe problemas de aireación en el suelo.

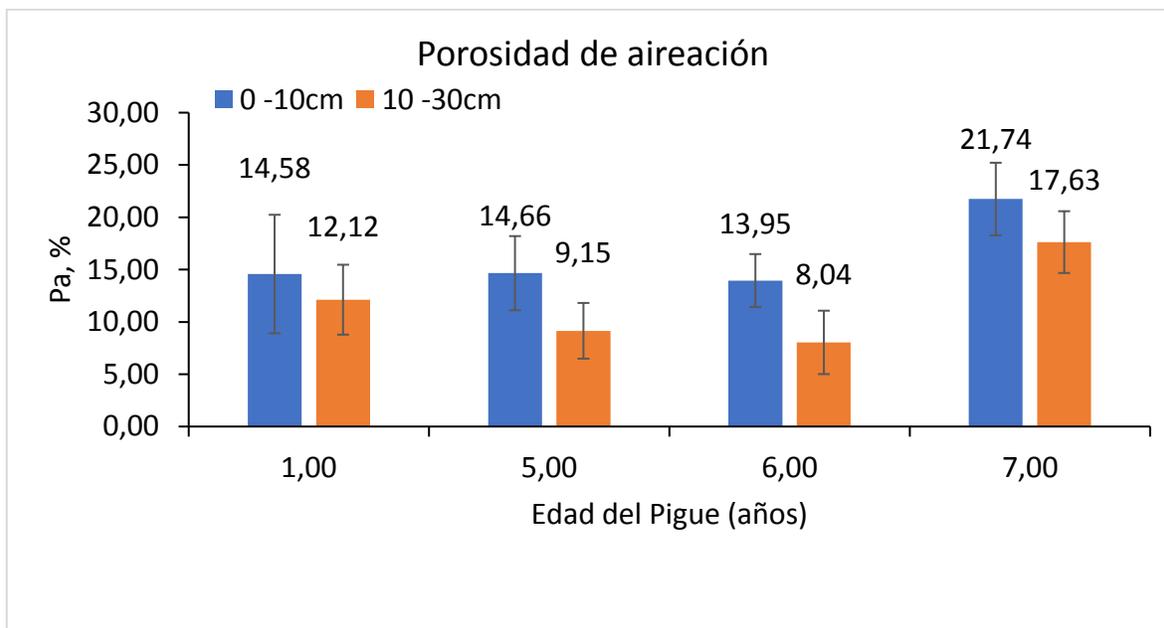
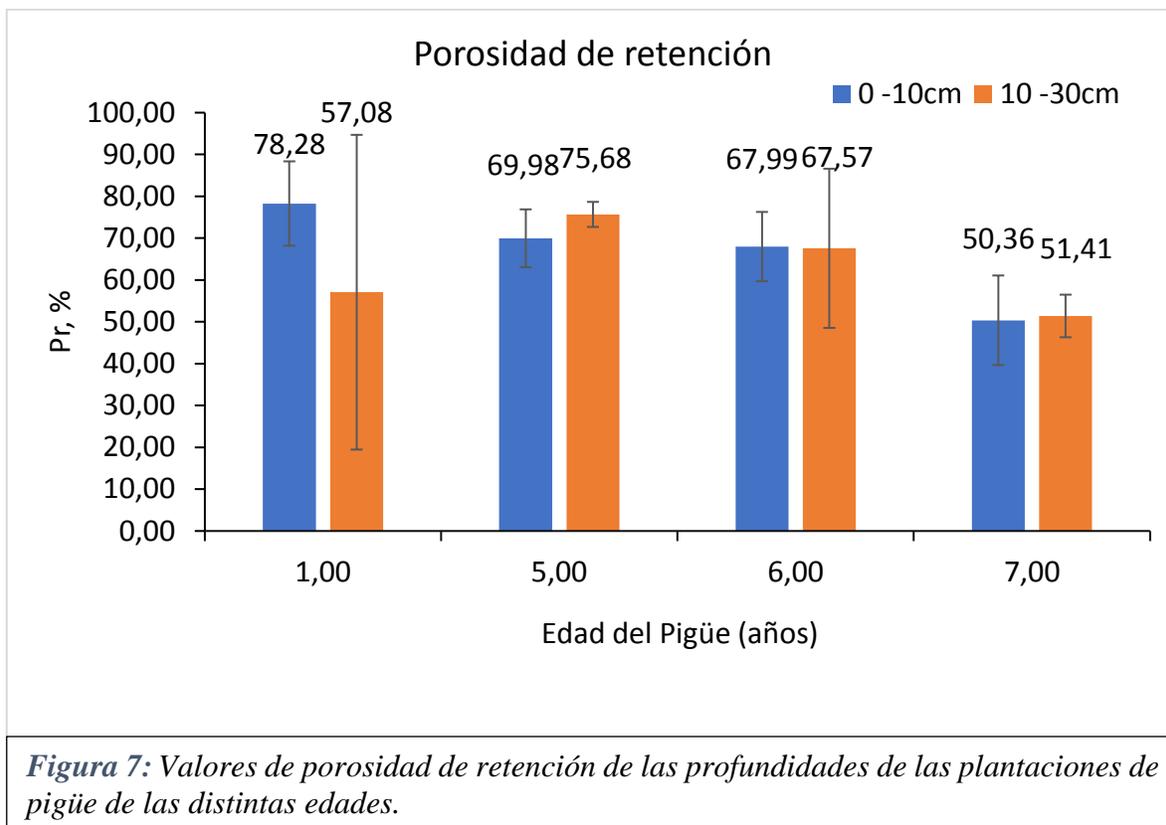


Figura 6. Valores de porosidad de aireación (Pa) de las profundidades de las plantaciones pigüe de las distintas edades.

En la **figura 6** se muestran los valores promedios de la porosidad de aireación bajo diferentes edades de pigüe. Se puede observar para ambas profundidades diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con mayores valores en la plantación con 7 años. Independiente de la edad de la plantación la menor densidad se registró en el horizonte superficial, con rangos que oscilan 21 a 14 % y 9 a 17% en la segunda capa. Tal situación obedece o se relaciona con la mayor MOS que se mejora la estructura del suelo, su porosidad que hace que disminuya la D_a (Carlos Bravo et al., 2017). Al comparar los resultados obtenidos con el valor crítico de 10% en todas las plantaciones y profundidades los valores estuvieron P_r encima de dicho límite lo cual indica que no existen problemas de drenaje, lo que representa una buena calidad de aireación (Malavolta, Vitti, & de Oliveira, 1989). Este componente representa a los microporos ya que permite el movimiento del agua, aireación e introducción de raíces en el suelo (Lima & Lima, 1996).



En la **figura 7** se muestran los valores promedios de la porosidad de retención (Pr) bajo diferentes edades de pigüe. Se puede observar para ambas profundidades diferentes significativas ($P \leq 0.05$) con mayores valores en la plantación con 1 año. Independientemente de la edad de la plantación la menor densidad se registró en la segunda capa, con rangos que oscilan entre 51 a 75 y 50 a 78 % en la primera capa. Tal situación obedece o se relaciona con la mayor concentración de MOS que mejora la estructura del suelo, su porosidad que hace que se disminuya la Da (Carlos Bravo et al., 2017). Al comparar los resultados obtenidos con el valor crítico 25% en todas las plantaciones y profundidades los valores obtenidos estuvieron por encima de dicho límite lo cual indica que tiene la alta capacidad de estos suelos para la retención de agua y su disponibilidad en las plantas (Meza & Geissert 2003). Ya que esta se encarga de la conservación del agua que entran a los microporos (Lima & Lima, 1996).

2) Calidad química del suelo

Parámetros químicos: son indicadores de calidad química del suelo con relación a su función que es proporcionar nutrientes al suelo (Cruz et al., 2004). Dentro de estos parámetros se estudia el pH, Al+H, Al, MO,P,K,Ca y Mg.m

2.1 Cálculo de los valores promedios de las propiedades químicas con su desviación estándar de las profundidades 0-10 cm y 10-30 cm.

Variables	(0-10cm)		
	Promedios	Promedios	Promedios
pH	5,07 ± 0,27 b	5,15 ± 0,32 a	5,65 ± 0,21 a
Al+H meq/100ml	1,50 ± 0,25 a	1,14 ± 0,61 a	0,63 ± 0,16 a
Al meq/100ml	0,47 ± 0,25 a	0,37 ± 0,13 a	0,33 ± 0,16 a
M.O %	37,20 ± 9,77 a	29,16 ± 8,52 a	11,01 ± 4,90 b
P ppm	3,57 ± 3,14 a	4,74 ± 3,38 a	7,62 ± 3,22 a
K meq/100ml	0,22 ± 0,11 a	0,18 ± 0,09 a	0,12 ± 0,03 a
Ca meq/ 100ml	2,87 ± 2,30 a	3,60 ± 3,41 a	3,37 ± 155 a
Mg meq/ 100ml	0,76 ± 0,48 a	0,71 ± 0,48 a	0,66 ± 18 a
(10-30cm)			
pH	5,55 ± 0,30 a	5,49 ± 0,25 b	5,91 ± 0,24 a
Al+H meq/100ml	0,57 ± 0,12 a	0,54 ± 0,21 a	0,48 ± 0,12 a
Al meq/100ml	0,33 ± 0,06 a	0,21 ± 0,11 a	0,22 ± 0,08 a
M.O %	18,70 ± 2,40 a	20,17 ± 6,64 a	4,97 ± 2,02 b
P ppm	2,34 ± 1,00 a	3,04 ± 6,00 a	4,05 ± 1,84 a
K meq/100ml	0,5 ± 0,02 5	0,08 ± 0,07 a	0,06 ± 0,01 a
Ca meq/ 100ml	0,82 ± 0,53 a	1,48 ± 1,43 a	1,34 ± 0,23 a
Mg meq/ 100ml	0,25 ± 0,06 a	0,27 ± 0,16 a	0,26 ± 0,08 5

Tabla 2: Valores promedios de las propiedades químicas de las profundidades 0-10 cm y 10-30cm del pigüe de distintas Edades.

En la **tabla 2** se puede observar las variables y sus diferentes medias junto con sus respectivas desviación estándar ya que estos valores calculados representarían a la profundidad 0-10 cm que tiene rangos de mayor significancia con valores altos, mientras que la profundidad de 10-30 cm tiene rangos bajos de significancia, por esta razón estarán representadas con la letra **a** valores mínimos significativos y **b** que son lo que tienen valores bajos de significancia para cada variable, por lo que en la varianza estándar se puede apreciar una mínima diferencia entre las dos profundidades de los distintos pigües de distintas edades. La profundidad de 0-10 se puede observar que pH, MO, P y Ca, mostraron una diferencia significativa, mientras que la profundidad de 10-30 cm el pH, Al+H, MO y Mg muestran una diferencia mínima de significancia, entre la comparación de las variables 0-10 cm el pigüe de 5 años tiene un pH de 0,32, Mo: 8,52, P:3,38 y Ca: 0,48 por lo que en las variables de 10-30 cm el pH: 0,25; Al+H: 0,21; MO: 6,64 y Mg: 0,16 esto quiere decir que el nivel de diferencia en el pigüe de 5 años es significativa en las dos profundidades. Estos promedios indican un valor de significancia en los diferentes tratamientos de los pigües de distintas edades.

2.1.1 El pH: Es un parámetro importante para analizar la calidad del suelo ya que este tiene influencia en otras propiedades físicas, por lo que es indicador de acidez, neutralidad y alcalinidad que tiene mayor influencia en los suelos y en el desarrollo de los seres vivos plantas y microorganismos. Para la correcta interpretación de los valores de pH de los suelos pH<4 indican ácidos libres, en caso que exista pH <5.5 indica presencia de aluminio intercambiable y cuando hay pH entre 7.8 a 8.2 tienen alta concentración de CaCO₂ (Rodríguez & de Muñoz, 1973) **ver tabla 2.**

En ambas profundidades el pH presenta rangos de ligeramente ácidos o fuertemente ácidos. Estos resultados son el reflejo de la naturaleza de los suelos amazónicos. Estos suelos son típicos de las regiones donde su precipitación es alta y hay lavado de cationes básicos (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺⁺), por lo que prevalece las fuentes de acidez o cationes ácidos (Al⁺⁺, H⁺), en los sitios de intercambio de la solución de los suelos (Rodríguez & de Muñoz, 1973).

2.1.2 Acidez intercambiable (A+H)

Están reflejan al Al^{+3} y H^{+} intercambiable en un suelo, ya que estos perjudican el crecimiento de las especies vegetales. Cuando sus valores de acidez intercambiable son superiores a 0.5 meq/100 ml lo que impide que algunas plantas no se desarrollan; cuando existe valores mayores a 1 meq/100ml se dice q su acidez es muy alta, y un Al+H que está por debajo de 0.3 meq /100ml es bueno para el crecimiento para las plantas (Molina, 2007) **ver tabla 2.**

Las variables de acidez (Al+H) en la profundidad de 0-10 cm tienen promedios 1.50, 1.14 y 0.63 meq 100ml sin ninguna diferencia significancia entre los tratamientos mientras que la profundidad de 10-30 cm muestra una diferencia significativa.

2.1.3 Aluminio intercambiable (Al^{+3})

Este elemento químico es más abundante en la corteza terrestre, por ser más tóxico para las plantas cuando hay pH por debajo de 5 y cuando la concentración de aluminio es mayor a 1 o 2ppm (Posada & Aguilar, 2007). El aluminio liberado en procesos naturales o antropogénico por ejemplo en la agricultura; esté elemento es un indicador de contaminación ambiental (Porta , López, & Roquero de Laburu, 2003) **ver tabla 2.**

En los resultados de los promedios de la profundidad de 0-10 cm presentaron una varianza significativa ($P \leq 0.05$) mientras que la profundidad de 10-30 se obtuvieron el siguiente orden Pig1, Pig5 y Pig7 años sin observarse una varianza significativa.

La evaluación de los valores de Al son definidos como suelos medio tóxicos porque tienen un rango 0.3-0.10 meq 100 ml, mientras que otros son tóxicos por estar >1.0 meq ml , respecto a su contenido de aluminio (Bertsch Hernández, 1995).

En las soluciones de aluminio de suelo es un factor importante debido a su carácter toxico para las plantas, por lo que los valores obtenidos no representan concentraciones altas para las plantas. Se han demostrado que la concentración de aluminio en el suelo dependerá de la materia orgánica. Por lo que a mayor cantidad de materia orgánica menor será la de aluminio para el nivel de pH (Casanova, 2005).

2.1.4 Fósforo disponible (P)

Es un elemento esencial para la nutrición de las plantas, este se encuentra en el suelo como un componente mineral y orgánico, ya que las plantas necesitan cantidades necesarias para realizar el desarrollo y producción (Lozano, Romero, & Bravo, 2010). Los componentes de P más importantes son los minerales, la materia orgánica y residuos vegetales (Casanova, 2005).

Los valores promedios obtenidos de (P) **ver Tabla 2** se pueden apreciar que hay una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos para ambas profundidades. Tanto para el horizonte 0-10cm y 10-30cm.

Sin embargo, la disponibilidad de P para los usos del suelo estudiado es menor de 10 mg kg^{-1} para ambas profundidades. Estos usos de tierra son considerados bajos por lo que el poco fósforo orgánico liberado es aprovechado por las plantas. En diferentes estudios se señala que en suelos ácidos la disponibilidad de fósforo es baja lo cual se asocia con el hierro y aluminio por lo que forman compuestos insolubles difíciles de asimilar para las plantas (Lozano et al., 2010).

2.1.5 Potasio disponible (K)

Es uno de los elementos necesarios para el desarrollo de las plantas ya que requieren grandes cantidades del mismo; cuando existe escasez influye en el desarrollo y crecimiento de los cultivos ya que estos son más sensibles a las enfermedades. Este componente es absorbido de forma de cationes (K^+) y sus principales fuentes son los minerales primarios (Casanova, 2005).

Los niveles de potasio de la profundidad de 0-10cm y 10-30cm presentaron una diferencia significativa ($P \leq 0.05$), para las distintas edades de pique **ver tabla 2**.

Estos suelos presentaron un rango bajo de potasio por lo que se encuentran por debajo de $\leq 0,20$ meq 100ml, para estos tratamientos se presentaron un rango de 0,20-0,38 meq 100ml lo que expresa que tiene un nivel medio de K (Bertsch Hernández, 1995).

2.1.6 Calcio disponible (Ca)

Este elemento es importante para las plantas por sus distribuciones en el suelo es variada, por lo tanto, su disponibilidad para satisfacer los cultivos. Este elemento participa en todos los

procesos metabólicos de absorción de nutrientes, fortalece las paredes celulares y su baja presencia afecta a la calidad de los frutos (Monge, Sanz, & Montañés, 1994).

Los valores promedios de calcio (Ca) muestran una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para ambas profundidades **ver tabla 2**.

Los resultados obtenidos en los distintos tratamientos categorizan al calcio medio (2,0-0,05 meq 100ml) y alto (>5.0 meq 100ml) (Bertsch Hernández, 1995). 0-10cm son los tratamientos de bajo con menor valor de calcio.

2.1.7 Magnesio disponible (Mg)

Este elemento es esencial para cumplir el proceso fotosintético, formación de la clorofila, la deficiencia de la mismo afecta el crecimiento de las especies vegetales. La deficiencia de este elemento se puede observar una coloración amarillenta en sus hojas (Foth, 1986). Este componente al igual Ca^{++} son absorbida por las plantas con catión divalente ya que es el único mineral que compone la molécula de clorofila y su diferencia afecta al proceso fotosintético (Casanova, 2005). Los valores promedios de profundidad de 0-10 cm de magnesio (Mg) representa un valor significativo a diferencia de la profundidad 10-30 cm, **ver tabla 2**.

Las disponibilidades del magnesio presente en el área de estudio de categorizó en un rango (0,5 a 1,5 meq 100ml); uno de los componentes del tratamiento presento una diferencia mayor a los demás, el Fig 1 con un valor de 0,68 meq 100ml (Bertsch Hernández, 1995).

2.2 La selección de indicadores de calidad en base al Análisis de componentes principales y la correlación.

Para definir la asociación de los parámetros de calidad de suelo se hizo en base al análisis de componentes principales que se pueden observar en la **Tabla 3**, y la correlación que hay entre ella, usando la correlación de Spearman, cuyo resultado se puede observar en la **Tabla 4**, donde cada componente de la muestra serán positivos o negativos, si se llegara a observar un valor negativo esto quiere decir que la disminución del valor de una variable hace que la otra aumente; de tal caso fuera positivo se presentara un aumento de un parámetro lo que afecta el incremento

la otra variable comparada. En estudio se tomó como resultado que tengan una correlación <0.07 para considerar una variable como un indicador de calidad del suelo.

Tabla 3: Análisis de Componentes principales

CP	% de la varianza	% acumulado	Total
1	25,207	25,207	3,277
2	19,608	44,815	2,549
3	14,201	59,016	1,846
4	9,313	68,328	1,211
5	8,05	76,378	1,046

En la **tabla 3** se puede observar el número de componentes principales que se tomó de la muestra de las profundidades de las plantaciones de piñe de distintas edades con sus respectivas % varianzas, acumulado y total que constituyen este análisis de componentes principales (ACP), las cuales representan valores altos y bajos de 25.207 a 3.277, cada muestra da una diferencia significativa en los ACP. Este análisis de componentes sirvió para sacar el índice de calidad del suelo estudiado con la siguiente formula: $ICS = 0,19(pH) + 0,19(MO) + 0,29(Pa) + 0,29(Ca) + 0,21(Al+H) + 0,12(P)$ que se observara en la **figura 8**.

En la **tabla 4** se puede observar el número de indicadores que se utilizó para la asociación de los parámetros que tiene un valor de significancia entre cada componente principal.

Matriz de componentes A					
Componente					
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Da, Mg m ⁻³	-0,41	0,32	0,26	-0,28	0,40
sketch cm h ⁻¹	-0,17	0,50	0,40	0,54	-0,03
Pt, %	0,40	-0,34	-0,38	0,22	0,00
Pa, %	-0,14	0,69	0,24	0,38	-0,28
Pr, %	0,45	-0,44	-0,28	-0,12	0,19
pH	-0,76	0,27	-0,33	-0,31	-0,12
Al ³⁺ + H, meq 100 s ⁻¹	0,55	-0,13	0,73	-0,21	0,06
Al ³⁺ , meq 100 s ⁻¹	0,45	-0,08	0,71	-0,33	-0,07
MO, %	0,75	-0,13	-0,07	0,48	0,08
P, mg kg ⁻¹	-0,14	0,22	0,00	0,21	0,86
K+, meq 100 s ⁻¹	0,69	0,49	-0,28	-0,08	-0,04
Ca ²⁺ , meq 100 s ⁻¹	0,48	0,73	-0,31	-0,27	0,03
Mg ²⁺ , meq 100 s ⁻¹	0,58	0,69	-0,15	-0,20	0,03
<p>Da: Densidad aparente; ksat: conductividad hidráulica; Pt: Porosidad total, Pa: Porosidad de aireación, Pr: Porosidad de retención, pH: potencial de hidrogeno, Al³⁺+H: aluminio intercambiable; Al³⁺: Aluminio; MO: Materia organica; P: fosforo+; K: potasio; Ca²⁺: Calcio; Mg³⁺: Magnesio.</p>					
<p>Tabla 4: Matriz de componentes principales de la muestra de pigüe de distintas edades.</p>					

Correlaciones de Spearman													
	DaMgm3	ksatcm	Pt	Pa	Pr	pH	AlH	Al	MO	P	k	Ca	Mg
DaMgm3	1,00												
Ksatcm	0,23	1,00											
PorosidadtotalPt	-0,285*	-0,263*	1,00										
PorosidadDeaireaciónPa	0,16	0,555**	-0,18	1,00									
PorosidadderetencionPr	-0,17	-0,257*	0,342**	-0,44**	1,00								
Ph	0,319**	0,03	-0,259*	0,16	-0,28**	1,00							
AlH	-0,06	0,01	-0,06	-0,08	0,14	-0,598**	1,00						
Al	0,01	-0,02	0,03	0,00	0,05	-0,421**	0,762**	1,00					
MO	-0,361**	-0,01	0,360**	-0,08	0,340**	-0,728**	0,250*	0,10	1,00				
P	0,20	0,13	-0,07	0,05	-0,13	0,03	-0,07	-0,14	-0,04	1,00			
K	-0,16	-0,01	0,14	0,13	0,18	-0,290*	0,11	0,09	0,424**	-0,05	1,00		
Ca	0,01	0,04	0,03	0,23	0,01	0,02	-0,01	0,05	0,15	0,07	0,744**	1,00	
Mg	-0,03	0,07	0,01	0,263*	0,00	-0,14	0,20	0,12	0,261*	0,06	0,680**	0,864**	1,00

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

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

Tabla 5: Correlación de las propiedades físicas y químicas de Spearman de los diferentes componentes de la muestra

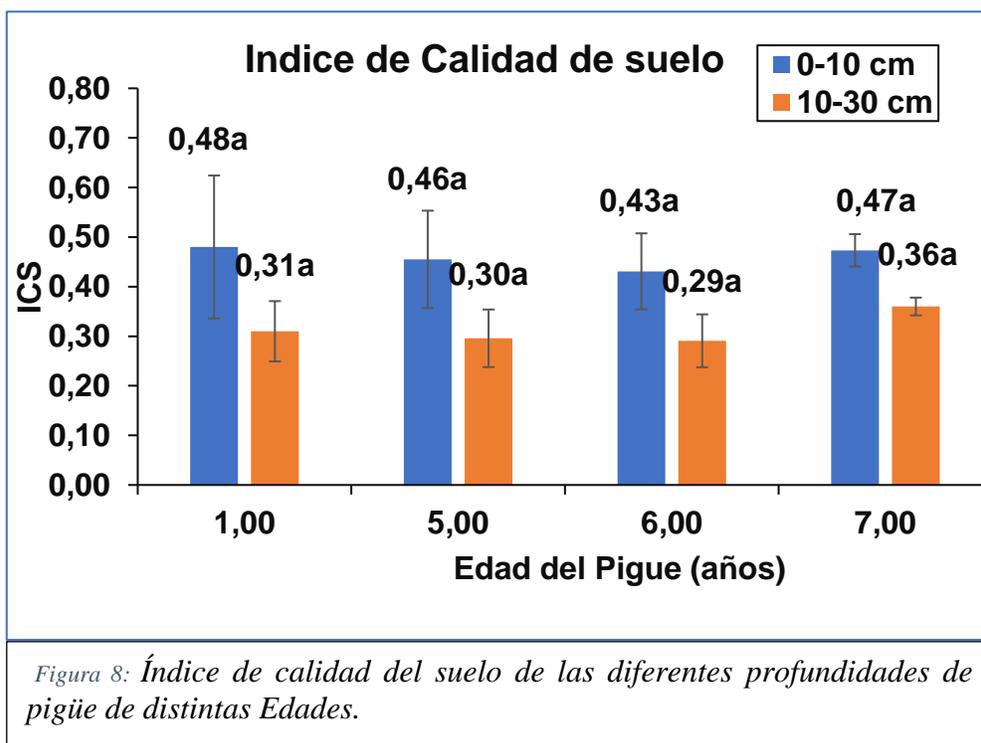
Las variables que tuvieron mayor correlación con la Da, fueron de manera positiva en la porosidad total (Pt), la porosidad de aireación (Pa), porosidad de retención. Los parámetros que tienen correlación con la Da como resultado un cambio de suelo que afecta a la densidad de la misma, **ver Tabla 5.**

La alta correlación de la Da con las porosidades (Pt, Pa y Pr) se hallará con el cálculo de las porosidades que dependerá de la Da, cuando las porosidades disminuyen la densidad aumenta, lo que genera más compactación en el suelo.

La correlación de conductividad hidráulica (Ksat) con Al, Al+H y Ca indican que este tipo de suelo representa mayor acidez y baja calidad de nutrientes por lo que disminuiría el aluminio y el calcio y aumentaría la acidez intercambiable obteniendo un suelo de difícil drenaje y baja calidad para el sembrío de cultivos.

3) Índice de la calidad total del suelo bajo regeneración de pigüe de distintas edades en un bosque siempreverde piemontano.

3.1 ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO



Un indicador es una variable que simplifica la información estás pueden ser cualitativas y cuantitativas que nos permite comparar sitios dando como resultado un límite datos comprensibles del área de estudio (Cantú et al., 2007).

En los diferentes usos de suelos presentes en el área de estudio por los diferentes componentes se puede observar que la profundidad de 0-10cm representa una similitud diferenciada, mientras que la profundidad de 10-30 cm tiene una mucha similitud entre sus componentes estos resultados se pueden observar en la **tabla 4** dónde se estableció un índice de calidad del suelo ICS promediando la medida de todos los indicadores. Para la interpretación del ICS se utilizó una escala de transformación en 5 clases de calidad de suelo de 1-5 (**Tabla 5**) propuesta por (Cantú et al., 2007).

Índice de calidad de suelo	Escala de pH de suelo	Clase
Muy alta calidad	0,80-100	1
Alta calidad moderada calidad	0,60-0,79	2
Moderada calidad	0,40-0,59	3
Baja calidad	0,20-0,59	4
Muy baja calidad	0-0,19	5

Tabla 6. Clases de calidad de los suelos propuesta por (Cantú et al., 2007).

En el índice de calidad del suelo del área de estudio representa el 60% de las muestras, que indican que este suelo es moderado y de baja calidad lo que permite saber si hay un índice alto de compactación; lo cual muestra que nuestra área de estudio refleja es que no existe compactación del suelo por la agricultura

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

- Se analizaron las propiedades físicas del suelo (Da, ks_{at}, Pr, Pt) evaluados en los usos de suelo del pigüe de distintas edades, presentara muy poca variabilidad sin embargo no hay problemas de compactación, la porosidad se encuentra adecuada ya que están por encima de los rangos críticos establecidos para la calidad del suelo, por lo tanto, hay buena aireación e infiltración, estas variables indican que la Da es adecuada para la zona de estudio.
- Se determinaron las propiedades químicas (Al, K, Ca⁺², Mg⁺², MO, P, Al+H, pH) presentaron valores no adecuados para el crecimiento de las plantas. Ya que este suelo es ácido debido a los rangos establecidos en el pH de los componentes que se analizaron en la muestra, por lo que su disponibilidad de nutrientes es muy baja por lo tanto se concluye que la calidad química se ve influenciada por su material parental.
- Se obtuvo un índice de calidad del suelo ver figura que tiene un 60% del área de estudio, se concluye que es tipo de suelo es moderado y de baja calidad porque cumple con los rangos establecidos en la **tabla 5** de la calidad del suelo, por lo que no existe problemas de compactación.

5.1 RECOMENDACIONES

- Que el uso de suelos con el pigüe (*Piptocoma discolor*) se reduce en sistemas agroforestales, por lo que se debería limitar al máximo de los bosques para que no existan cambios en la estructura del suelo, para evitar grandes impactos como la erosión hídrica, compactación y pérdida de su fertilidad.
- Utilizar los resultados obtenidos en esta investigación para mantener un adecuado uso de los suelos que permita recuperar la calidad del suelo para optimizar la calidad de los cultivos y evitar su degradación.

CAPÍTULO VI

6.BIBLIOGRAFÍA:

- Acurio, A. E., & Rafael, V. L. (2009). Inventario taxonómico de Drosophilidae (Diptera) en el Parque Nacional Yasuni, Amazonia Ecuatoriana. *Acta Amazonica*, 39(3), 713-718.
- Aguirre Mendoza, Z. H., & Leon Abad, N. (2012). Conocimiento inicial de la fenología y germinación de diez especies forestales nativas en el Padmi, Zamora Chinchipe.
- Alexander, M. (1981). *Introducción a la microbiología del suelo*: AGT editor México DF, México.
- Aliaga Lordemann, J., Villegas Quino, H., & Leguía, D. (2010). Deforestación en Bolivia: Una aproximación espacial: Documento de Trabajo.
- Andrews, S. S., & Carroll, C. R. (2001). Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications*, 11(6), 1573-1585.
- Arshad, M., & Coen, G. (2001). Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(1-2), 25-31.
- Astier Calderón, M., Maass Moreno, M., & Etchevers Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5).
- Bertsch Hernández, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José (Costa Rica).
- Blake, G. R., & Hartge, K. (1986). Bulk density 1. *Methods of soil analysis: part 1—physical and mineralogical methods*(methodsofsoilan1), 363-375.
- Bolton Jr, H., Elliott, L., Papendick, R., & Bezdicek, D. (2009). Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil biology and Biochemistry*, 17(3), 297-302.
- Bravo, C. (2014). Caracterización del recurso suelo como base para la conversión agroecológica de áreas bajo pastizales a agroecosistemas sostenibles de Cacao y Ganadería en la región amazónica: Caso Pastaza y Napo. *Proyecto Prometeo-Universidad Estatal Amazónica. Secretaria de Ciencia y Tecnología (SENESCYT). Informe final Prometeo*.
- Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Torres, R., . . . Changoluisa, D.

- (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(11), 1-16.
- Burgos. (2016). *Determinación de Infiltración del Suelo en los Sectores Ganaderos de la Cuenca Alta del Río Puyo*.
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., & Schiavo, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del suelo*, 25(2).
- Casanova, E. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Consejo de desarrollo Científico y Humanístico: Universidad Central de Venezuela. 2da Ed. Caracas Venezuela.
- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista Ecosistemas*, 13(2).
- Dezseo. (2000). Principales tipos de bosque en el área de San Carlos de Río Negro, Venezuela. *Scientia Guianae*, 11, 15-36.
- Doran, J. W., Jones, A. J., Arshad, M., & Gilley, J. (1999). Determinants of soil quality and health. *Soil quality and soil erosion*, 36.
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (2010). Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment(definingsoilqua)*, 1-21.
- Erazo, G., Izurieta, J. C., Cronkleton, P., Larson, A., & Putzel, L. (2014). *El uso de pigüe (Piptocoma discolor) por los pequeños productores de Napo, Ecuador: Manejo sostenible de una especie pionera de madera para los medios de vida locales* (Vol. 26): CIFOR.
- Foth, H. (1986). Los suelos y la nutrición mineral de las plantas. *Calcio y Magnesio. Fundamentos de la ciencia del suelo*, 12, 318.
- García, C. V., Abril, D. J., Djibeyan, P. D., Andrade, P. V., & Ontaneda, F. F. (2016). La amazonia ecuatoriana y sus saberes ancestrales; el uso del extracto de corteza del árbol de Piwi (Piptocoma discolor) un saber singular en el accidente ofídico. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 47(4), 26-34.
- González, J. E., Papue, A., González, V., Borja, A., & Oliva, D. (2018). Crecimiento y conservación del Piptocoma discolor (Pigüe) en la Provincia de Pastaza–Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 6(3), 366-379.
- Hurtado, E. A., & Suárez, Á. G. (2013). POTENCIAL DE USO DE Piptocoma discolor

- (Kunth) Pruski EN SISTEMAS SILVOPASTORILES. *Ingenierías & Amazonia*, 6(1).
- Karlen, D. (2011). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation.--p. 4-10: En: Soil Science Society of American Journal.--Vol. 61 (Jan.-Feb. 1997).
- Lima, V., & Lima, J. (1996). Introducción a la edafología. *Curitiba: Universidad Federal de Paraná. Departamento de Suelos e Ingeniería Agrícola*.
- López, C., & Cecilia, A. (2015). Planeamiento y análisis integral del paisaje de la cuenca hidrográfica del río buenavista provincia de Manabí-Ecuador para la implementación de políticas de incentivos a la restauración de ecosistemas con fines de conservación (programa socio Bosque-Ecuador).
- Lozano, Z., Romero, H., & Bravo, C. (2010). Influencia de los cultivos de cobertura y el pastoreo sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana. *Agrociencia*, 44(2), 135-146.
- Malavolta, E., Vitti, G., & de Oliveira, S. (1989). Evaluation of the nutritional state of plants: principles and applications. *Evaluation of the nutritional state of plants: principles and applications*.
- Martín, N. J., & Pérez, G. (2009). Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. *Cultivos Tropicales*, 30(1), 00-00.
- Martino, D. (2007). Deforestación en la Amazonía: principales factores de presión y perspectivas. *Revista del sur*, 169(1), 3-20.
- Merino. (2011). *Estudio Económico de dos formas de aprovechamiento forestal del pigüe (pollalesta discolor) en el cantón Mera, provincia de Pastaza*.
- Meza , E., & Geissert , D. (2003). Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del Cofre De Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 5(2).
- Michelena, R. O., Irurtia, C. B., Vavruska, F. A., Mon, R., & Pittaluga, A. (2001). Degradación de suelos en el norte de la Región Pampeana: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina).
- Molina, E. (2007). Análisis de suelos y su interpretación. *San José, CR, CIA-UCR-Amino Grow International*.
- Monge, J., Sanz, A., & Montañés, L. (1994). El calcio nutriente para las plantas. *Bitter piten*

- manzano. Departamento de Nutrición Vegetal (EM, JV, MS, LM) y Departamento de Pomología (AB), Estación Experimental de Aula Dei (CSIC), Apdo, 202, 50080.
- Navarro Bravo, A., Figueroa Sandoval, B., Martínez Menes, M., González Cossio, F., & Osuna Ceja, E. S. (2008). Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Agricultura técnica en México*, 34(2), 151-158.
- Nelson, D., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter 1. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*(methodsofsoilan2), 539-579.
- Nielsen, M. N., Winding, A., & Binnerup, S. (2002). Microorganisms as indicators of soil health.
- Orjuela, H. B. (2010). El suelo al servicio de la sociedad y su rol en el contexto de los cambios globales. *Tendencias*, 11(2), 53-62.
- Pla, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. *Propiedades Mecánicas. Suelos Ecuatoriales*, 40(2), 75-93.
- Pla Sentis, I. (1983). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales: curso de postgrado en ciencia del suelo.
- Porta , J., López, M., & Roquero de Laburu, C. (2003). Edafología: para la agricultura y el medio ambiente.
- Posada, F., & Aguilar, O. E. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 246-257.
- Poveda Jaramillo, G., & Mesa Sánchez, Ó. J. (1995). Efectos hidrológicos de la deforestación. *Energética*(16), 91-102.
- Prieto-Méndez, J., Prieto-García, F., Acevedo-Sandoval, O. A., & Méndez-Marzo, M. A. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía mesoamericana*, 83-91.
- Quiroga, A., & Peinemann, N. (2001). Materia org. nica. Un indicador de calidad de suelos relacionado con la productividad de los cultivos. *Bolet. n de Divulgaci. n T. cnica (Argentina). no. 70*.

- Richards, L., Gardner, W., & Ogata, G. (1956). Physical Processes Determining Water Loss from Soil 1. *Soil Science Society of America Journal*, 20(3), 310-314.
- Rodríguez, L. I. O., & de Muñoz, B. M. (1973). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*: Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Instituto Geográfico" Agustín
- Sánchez, M. D., & Rosales, M. (1998). Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en Latinoamérica tropical. *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*, ed. M. Rosales, E. Murgueitio, H. Osorio, MD Sánchez, and A. Speedy, 1-12.
- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (1988). *Los suelos y su fertilidad*: Reverté.
- Tobar Viteri, P. R. (2010). *Murukunata. Semillas agricultura ecológica, una herramienta para la educación ambiental & cohesión participativa comunitaria*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Torres, V., Cobo, R., Sánchez, L., & Ruez, N. (2013). Statistical tool for measuring the impact of milk production on the local development of a province in Cuba. *Livestock Research for Rural Development*, 25(9).
- Vallejo. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia forestal*, 16(1), 83-99.
- Villarroel, R. B. (1989). ANALISIS DE SUELO METODOLOGIA E INTERPRETACION. *Chile: INIA*.

CAPITULO VII

ANEXOS

INTERPRETACIÓN	SIGLAS	RANGO
MUY ÁCIDO	M Ac	0.0- 5.0
ÁCIDO	Ac	> 5.0- 5.5
MEDIANAMENTE ÁCIDO	Me Ac	> 5.5- 6.0
LIGERAMENTE ÁCIDO	L Ac	> 6.0- 6.5
PRÁCTICAMENTE NEUTRO	P N	> 6.5- 7.5
NEUTRO	N	7
LIGERAMENTE ALCALINO	L Al	> 7.5-8.0
MEDIANAMENTE ALCALINO	Me Al	> 8.0- 8.5
ALCALINO	Al	> 8.5- 14.0

Tabla 1: Rangos de interpretación de pH de los suelos.

Fuente: Análisis de suelo metodología e interpretación (Villarroel, 1989).



Anexo 1: Selección del lugar del área para la toma de datos de propiedades físicas-químicas.



Anexo 2: Se puede observar la toma de muestras de las subparcelas para los análisis físicos y químicos.



Anexo 3: Toma de muestras no alteradas de suelo con un barreno Uhland.



Anexo 4: Secado de las muestras de hojarasca.



Anexo 5: Tamizado de las muestras alteradas en el laboratorio de la UEA.



Anexo 6: Muestras químicas de suelo de las diferentes profundidades del pigüe de distintas edades.



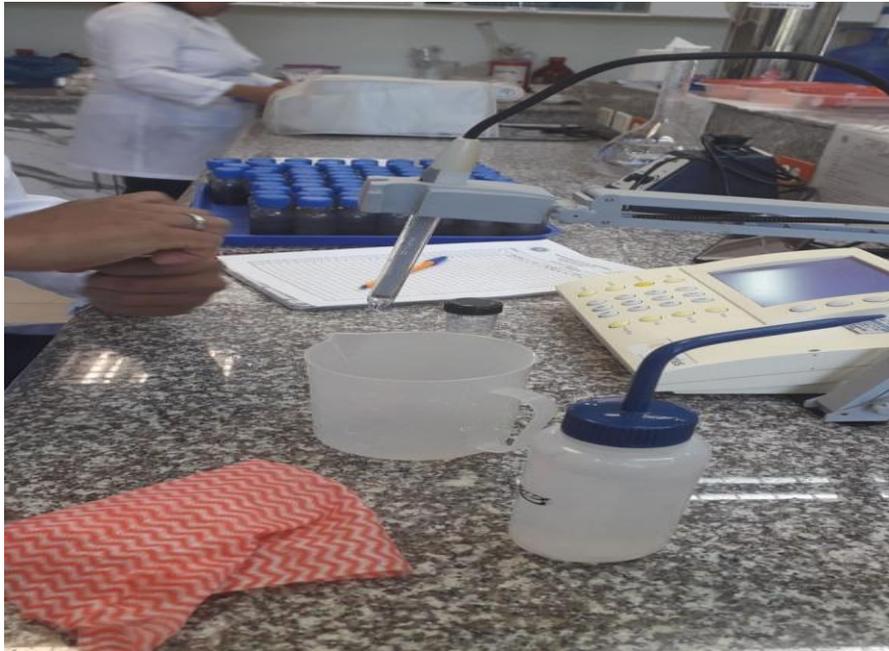
Anexo 7: Muestras de las propiedades físicas del suelo de las diferentes profundidades del pigüe de distintas edades.



Anexo 8: Se puede observar la toma de datos de parámetros físicos de la densidad aparente (D_a) del suelo en el laboratorio de la UEA de la parroquia madre Tierra.



Anexo 9: Se observa la toma de datos de la muestra de las propiedades físicas en el laboratorio de la UEA de la conductividad hidráulica del suelo de la parroquia Madre tierra.



Anexo 10: determinación del pH del suelo de la parroquia madre tierra en el laboratorio de la UEA.