

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR**

**PAGUAY SAYAY DANIEL SANTIAGO**

**DIRECTOR DE TESIS**

**M.sc. PEDRO RÍOS**

**TEMA:**

**INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES Y  
MONOCULTIVO DE CACAO SOBRE LA CALIDAD DEL  
SUELO, EN EL CANTÓN AROSEMENA TOLA**

**PUYO – PASTAZA – ECUADOR**

**2016**

**PRESENTACIÓN DEL TEMA**

**INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES Y  
MONOCULTIVO DE CACAO SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO, EN EL  
CANTÓN AROSEMENA TOLA**

**MIEMBROS DEL TRIBUNAL**

.....  
**M.Sc. Bolier Torres**

.....  
**M.Sc. Marco Heredia**

.....  
**M.Sc. Edison Suntasig**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Director de tesis de investigación denominada: **“INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES Y MONOCULTIVO DE CACAO SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO, EN EL CANTÓN AROSEMENA TOLA”** del autor: **Paguay Sayay Daniel Santiago**, con cedula 1600506214, egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador designado por el consejo directivo.

---

**M.Sc. Pedro Ríos**

## **AUTORÍA DEL TRABAJO**

Yo, **Daniel Santiago Paguay Sayay** como ciudadano ecuatoriano y con C.C. 1600506214 declaro bajo juramento que el trabajo de tesis aquí escrito y todo su contenido son de mi autoría; y no ha sido presentado para ningún tipo de grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Estatal Amazónica puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Daniel Santiago Paguay Sayay**

## **APROBACIÓN DEL JURADO CALIFICADOR**

## AGRADECIMIENTO

*Entendiendo que tú eres el único Dios que existe te quiero dar las gracias por darme la oportunidad de disfrutar de toda tú creación, a la vez por ser una inspiración en mi vida para superarme cada día y seguir alcanzado las metas y sueños que has puesto en mí.*

*A mis padres, **Andrea Sayay Pilamunga** y **Pedro Paguay Quito** quienes con sus consejos, esfuerzo necesario y la confianza puesto en mí han hecho que pueda llegar a cumplir esta meta.*

*Agradezco al **Dr. Carlos Bravo Medina** quien me brindó su apoyo para poder realizar mi trabajo de titulación dentro de su proyecto; quien con mucha paciencia y dedicación me supo colaborar con sus revisiones y recomendaciones, como parte de ello incluyo a mi tutor **M.Sc. Pedro Ríos** de quien conté con su total apoyo en todos los aspectos necesarios.*

*Daniel Santiago Paguay Sayay*

## DEDICATORIA

Mi tesis la dedico a mis queridos padres **Andrea Sayay Pilamunga** y **Pedro Paguay Quito**, quienes me han apoyado en tener un mejor futuro, sin importar la circunstancias por las cuales hayamos pasado siempre me brindaron su apoyo incondicional en culminar mi carrera y proyecto.

A la prestigiosa Universidad Estatal Amazonia que me abrió las puertas para poder ser parte de ella y formarme como profesional, mediante el personal especializado en impartir cada uno de los conocimientos, con mucha pasión y paciencia tendiendo en mente que somos y seremos la generación que mejorará la situación de nuestro país.

Daniel Santiago Paguay Sayay

## CONTENIDO

CARATULA .....	I
PRESENTACIÓN DEL TEMA.....	II
MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	II
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	III
AUTORÍA DEL TRABAJO .....	IV
APROBACIÓN DEL JURADO CALIFICADOR.....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
DEDICATORIA.....	VII
CONTENIDO .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE CUADROS.....	XII
1. RESUMEN.....	- 1 -
SUMMARY .....	- 3 -
2. INTRODUCCIÓN .....	- 4 -
A.    OBJETIVOS .....	- 7 -
<i>Objetivo General</i> .....	- 7 -
<i>Objetivos Específico</i> .....	- 7 -
B.    HIPÓTESIS .....	- 7 -
<i>Hipótesis General</i> .....	- 7 -
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	- 8 -
3.1.    ORIGEN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE <i>THEOBROMA CACAO</i> .....	- 8 -
3.2.    IMPORTANCIAS DEL CACAO EN LA DIETA ALIMENTICIA .....	- 9 -
3.3.    PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL ECUADOR .....	- 10 -
3.4.    MANEJO DEL CULTIVO DE <i>THEOBROMA CACAO</i> EN ECUADOR.....	- 10 -
3.5.    SISTEMAS DE PLANTACIÓN DEL CACAO .....	- 11 -
3.6.    CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CACAO ( <i>THEOBROMA CACAO L.</i> ) .....	- 11 -
3.7.    NUTRICIÓN DEL CULTIVO .....	- 11 -
3.8.    COSECHA.....	- 12 -
3.9.    EXTRACCIÓN DE ALMENDRAS .....	- 12 -
3.10.    FERMENTACIÓN.....	- 12 -
3.11.    SECADO DEL CACAO.....	- 13 -
3.12.    PROBLEMÁTICA DE LOS SUELOS CON SISTEMAS AGROFORESTALES Y MONOCULTIVOS DE CACAO. ....	- 13 -
3.13.    CONCEPTOS Y DEFINICIÓN DE LA CALIDAD DE SUELO.....	- 14 -
3.14.    EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO .....	- 15 -



3.15.	INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO .....	- 15 -
3.16.	INDICADORES FÍSICOS Y QUÍMICOS .....	- 16 -
3.17.	INDICADORES BIOLÓGICOS .....	- 17 -
3.18.	SELECCIÓN DEL CONJUNTO MÍNIMO DE DATOS .....	- 18 -
3.19.	USO DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD .....	- 19 -
<b>4.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>- 20 -</b>
4.1.	LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO .....	- 20 -
4.2.	CONDICIONES METEOROLÓGICAS .....	- 21 -
4.3.	MATERIALES Y EQUIPOS .....	- 21 -
4.3.1.	<i>Materiales de campo</i> .....	- 21 -
4.3.2.	<i>Equipos y materiales de oficina</i> .....	- 22 -
4.3.3.	<i>Equipos y materiales de laboratorio</i> .....	- 22 -
4.3.4.	<i>Reactivos</i> .....	- 23 -
4.4.	FACTORES DE ESTUDIO .....	- 23 -
4.4.1.	<i>Variables dependientes</i> .....	- 23 -
4.4.2.	<i>Variables independientes</i> .....	- 25 -
4.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	- 25 -
4.6.	MEDICIONES EXPERIMENTALES .....	- 26 -
4.6.1.	<i>Análisis Físicos</i> .....	- 26 -
4.6.2.	<i>Análisis Químicos y Biológicos</i> .....	- 26 -
4.6.3.	<i>Análisis estadísticos</i> .....	- 27 -
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>29</b>
5.1.	PARÁMETROS FÍSICOS .....	29
	<i>IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS.</i> .....	33
5.2.	PARÁMETROS QUÍMICOS .....	44
	<i>IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS</i> .....	45
5.3.	PARÁMETROS BIOLÓGICOS .....	57
	<i>IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS</i> .....	57
5.4.	CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y SELECCIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD .....	61
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>68</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Análisis de varianza, efecto del factor profundidad sobre las propiedades físicas del suelo. ....	30
<b>Tabla 2.</b> Valores promedio de las propiedades físicas del suelo a distintas profundidades .....	30
<b>Tabla 3.</b> Valores promedios de partículas de suelo y su clases textura correspondiente del suelo bajo diferentes usos de la tierra a los 0-10cm y 10-30cm.....	34
<b>Tabla 4.</b> Análisis de varianza de la interacción tratamiento-profundidad sobre las propiedades físicas del suelo .....	35
<b>Tabla 5.</b> Valores promedio de propiedades físicas del suelo bajo diferentes usos de la tierra a los 0-10cm, 10-20cm y 20-30cm.....	37
<b>Tabla 6.</b> Analisis de varianza, efecto del factor profundidad sobre las propiedades químicas del suelo.....	45
<b>Tabla 7.</b> Análisis de varianza de la interacción tratamiento-profundidad sobre las propiedades químicas del suelo.....	46
<b>Tabla 8.</b> Valores promedio de propiedades químicas, del suelo bajo diferentes usos de la tierra a los 0-10 y 10 - 30cm.....	51
<b>Tabla 9.</b> Valores promedio de propiedades biológicas del suelo bajo diferentes usos de la tierra.....	58
<b>Tabla 10.</b> Matriz de correlación entre los parámetros físicos, químicos y biológicos. ....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con el USDA.....	17
<b>Figura 2.</b> Mapa del Cantón Arosemena Tola.....	20
<b>Figura 3.</b> Localización y puntos de muestreo en el Cantón Arosemena Tola.....	21
<b>Figura 4.</b> Diseño de muestreo para diagnóstico ambiental a nivel de uso de la tierra.....	25
<b>Figura 5.</b> Comportamiento de la compactación del suelo a distintas profundidades y bajo diferentes usos de la tierra.....	44

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Requerimientos nutricionales del cultivo de cacao en distintas etapas de crecimiento.....	12
--	----

## 1. RESUMEN

La siguiente tesis de investigación fue realizado en el cantón Arosemena Tola de la provincia de Napo, en la que se evaluó la influencia de los usos de suelo: cacao agroforestal (CAF) y monocultivo (CAM), sobre los indicadores físicos ( $D_a$ ,  $K_{sat}$ , Pt, Pa, Pr, resistencia a la penetración y textura), químicos (pH, Al+H, Al, Nt, P, K, Ca, Mg, CO y relación C/N) y biológicos (respiración basal, respiración edáfica, número de lombrices y biomasa-hojarasca) de la calidad del suelo tomando en cuenta como referencia el bosque, para aquello se estudió 7 parcelas.

En los usos evaluados de manera general se obtuvo suelos donde predominan texturas finas arcillosas, también las condiciones físicas del suelo no presenta problemas de compactación ya que se encontró todos los tipos de porosidad fuera de los valores críticos, al igual que la conductividad hidráulica satura ( $K_{sat}$ ) y la densidad aparente ( $D_a$ ). Con respecto a las químicas se pudo apreciar valores que indican una alta acidez, la presencia de aluminio (Al) se estableció dentro de un rango medio y por ende hubo baja disponibilidad de nutrientes. Los tratamientos estudiados se caracterizaron por poseer un porcentaje de contenido de Nt y carbono orgánico (CO) medio; la relación C/N presento valores que enmarcan dentro de un rango alto, lo cual infiere en una alta liberación de nitrógeno. Con respecto a los indicadores biológicos se presentó una actividad biológica entre media y alta, los cuales se determinó mediante respiración basal y edáfica; la bioma-hojarasca presento valores altos.

Independientemente del uso de la tierra los mejores valores de los atributos físicos, químicos y biológicos relacionados con la calidad del suelo se encuentran en el primer horizonte de 0-10 cm. Todos los valores obtenidos en los tratamientos CAF Y CAM estudiados presento mucha variabilidad. Sin embargo los indicadores físicos y biológicos del bosque presento mejores condiciones que los usos con cacao; mientras que con los químicos sucedió todo lo contrario ya que la mayoría de las variables evaluadas tienden a una pequeña mejoría, sin embargo siguen en rangos no adecuado para una buena agricultura. Concluyendo

con ello que el cambio de uso de tierra afecta en las características del suelo. Todo que aquel estudio realizado presento las variables como Da, Pt, Pa, CO y Nt aptos para ser usados en estudios de calidad desuelo ya que permiten diferenciar los cambios de uso de tierra en condiciones amazónicas.

## **SUMMARY**

This thesis research was conducted in the Arosemena Tola canton, province of Napo, in which the influence of land uses were evaluated: agroforestry cacao (AFC) and monoculture (CAM) on physical indicators (Bd, Ksat , TP, AP, RP, penetration resistance and texture), chemical (pH, Al + M, Al, TN, P, K, Ca, Mg, OC and C / N) and biological (basal respiration, soil respiration, earthworms number and biomass-litter) of soil quality taking the forest as reference, for that 7 plots were studied.

General manner in the evaluated uses, dominated clayey fine textures soils was obtained, also physical soil conditions do not present compaction problems as all types of porosity were outside the critical values as the hydraulic conductivity saturated (Ksat) and bulk density (Bd) .With respect to chemical indicators it can appreciate values that indicate a high acidity, the presence of aluminum (Al) was established within a midrange and thus was low nutrient availability. The treatments were characterized by having a medium content percentage of TN and organic carbon (OC); the C / N ratio presented values that fall within a high rank, which infers a high nitrogen release. With respect to biological indicators a high and medium biological activity was presented, which was determined by basal and soil respiration; the biome-litter presented high values.

Independently of land use, the best values of the physical, chemical and biological attributes related to soil quality are in the first horizon of 0-10 cm. All values obtained in the AFC and CAM treatments studied presented much variability. However the physical and biological indicators of the forest presented better conditions than uses with cacao; while with the chemical indicators happened the opposite because most of the evaluated variables tend to a small improvement, but still aren't in suitable ranges for a good agriculture. Concluding thereby the change of land use affects soil characteristics. All that conducted study presented variables such as Bd, TP, AP, OC and TN suitable for use in studies of soil quality as allow differentiating changes in land use in Amazonian conditions.

## 2. INTRODUCCIÓN

El Ecuador siendo uno de los países más pequeños en territorio y con factores climáticos y geográficos variados ha llegado a ser uno de los más megadiversos reconocido mundialmente (Tobar, 2010). El territorio ecuatoriano está constituido por 4 regiones, una de ellas es la Amazonia ecuatoriana, con una extensión de 130.000 km<sup>2</sup>, con gran diversidad de fauna y flora, con gran número de ecosistemas terrestres como el bosque húmedo pre-montano, bosque pluvial pre-montano, bosque muy húmedo pre-montano, bosque muy húmedo tropical y bosque húmedo tropical. (Acuario y Rafael, 2009). Estos ecosistemas se encuentran en suelos caracterizados con alto nivel de acidez, baja concentración de nutrientes y con presencia abundante de oligoelementos que son tóxicos para las especies vegetales. Por ello, la implementación de cultivos en este tipo de zonas ha provocado problemas de baja producción en sus cosechas y degradación del suelo (Martin y Pérez, 2009).

El suelo como componente de los ecosistemas constituye uno de los recursos naturales más importantes del planeta debido a las distintas funciones ecosistémicas que cumple. Con el pasar del tiempo se ha formado mediante la disgregación de la roca madre, transformación de materia orgánica y minerales; permitiendo condiciones óptimas para el desarrollo de microorganismos, plantas, animales y el del ser humano (Sanz *et al.*, 2006; Durán, 2009). Dicho recurso hoy en día está siendo afectado por acciones antrópicas; como parte del avance de la frontera agrícola se ha venido deforestando una gran cantidad de bosques primarios; estudios más minuciosos demuestran que la tasa de aumento de la deforestación se ha dado por conjunto de factores como la accesibilidad a las fincas, calidad de la tierra, tiempo de asentamiento y nivel de educación (Mena, 2011); el conjunto de aquellos factores ha generado una serie de procesos de degradación tales como: erosión, salinización, contaminación, y desertificación (Burbano, 2010).

La degradación del suelo es un proceso en el que las características físicas, químicas, biológicas y sus interrelaciones, sufren daños o cambios; no permitiendo el cumplimiento de las funciones, como: soporte de la producción de



biomasa; ejercer un efecto de filtro de contaminantes, para evitar la polución de los ecosistemas en general; y servir como habita para los seres vivos evitando su extinción (Pla, 1990). La pérdida de ciertas funciones del suelo se han ido dando con el transcurso del tiempo, por acontecimientos naturales, he intervención del hombre, en la que se ha desarrollado actividades como, la tala indiscriminada de especies maderables, y a la vez el cambio del uso del suelo; dejándolo descubierto y dando paso a la degradación del mismo (López, 2002).

En el contexto latinoamericano, Ecuador tiene una tasa de deforestación de 1.3%, llegando a ser la más alta de la zona (MAE, 2009). La tala ilegal y la apertura de nuevos lugares para la producción ganadera y agrícola son las principales causas del cambio de uso del suelo (Jadán *et al.*, 2012).

Sin embargo la expansión de la frontera agrícola en el Ecuador ha ido en aumento, llegando a ser en uno de los países que produce y exporta materia prima, el caco fino de aroma es una de ellas; la expansión del cultivo de cacao en el Ecuador inicio desde el año 1821, manejado como monocultivo y sistemas agroforestales (Tobar, 2010). La producción de cacao es una de las fuentes de ingreso más importante del país por ende la población ecuatoriana se ha dedicado a la producción de cacao fino de aroma con una superficie de 500.000 hectáreas, se cultiva en la región Costa y Amazonia; 44.300 hectáreas se encuentran en la región amazónica (Pico *et al.*, 2012).

En la actualidad es impulsada la implementación de cultivos bajo sistemas agroforestales, como acción de sostener la productividad por más tiempo y diversificar la producción; los sistemas agroforestales no dependen de insumos químicos externos, no permitiendo la introducción de agentes ajenos; aquellos sistemas utilizan de mejor manera los recursos, dando prioridad a la conservación del recurso suelo y sus propiedades, su diversidad vegetal y el mejoramiento de la calidad del agua (Vallejo, 2013).

En contraparte al proceso de degradación, la calidad del suelo es conocida por su capacidad de brindar funciones dentro de las fronteras de un ecosistema natural o intervenido en su manejo, sostener la productividad de las plantas y

animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat; aquello es una de las definiciones más completas y más aceptadas por la mayoría de la población mundial (Bautista *et al.*, 2004). Sin embargo, con el objetivo de mejorar o mantener la calidad del suelo es necesario realizar evaluaciones periódicas y monitoreo continuo (Vallejo, 2013).

Dicha calidad debe ser evaluada, tomando en cuenta variables o indicadores físicos, químicos y biológicos; los cuales deberán permitir entender la situación actual del sitio, determinar los cambios existentes, comprender el impacto posible a causar en el caso de que exista una intervención humana y definir si hay sostenibilidad en el uso del recurso suelo (Prieto *et al.*, 2013).

Un buen indicador debe cumplir ciertos requisitos: 1) ser sensibles a los cambios inducidos por el manejo; 2) discriminar entre los cambios naturales y los inducidos por el manejo; 3) ser fácilmente medible; 4) deber ser relevante para el sitio y representativo en el tiempo; 5) además de responder a medidas correctivas (Bautista *et al.*, 2004).

Esta investigación formó parte del proyecto Prometeo titulado “Sustentabilidad y calidad de suelos en sistemas agroforestales de la Región Amazónica Ecuatoriana, estudio de casos: Napo y Pastaza”. Dicho proyecto tuvo como propósito realizar un levantamiento de información relacionada con indicadores de sustentabilidad a nivel de finca que comprenda todas sus dimensiones, así como la obtención de un índice de calidad del suelo mediante parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo bajo distintos usos de la tierra (Bravo, 2014).

En base al contexto planteado, este trabajo tuvo como objetivo principal evaluar el efecto sobre la calidad del suelo de los sistemas agroforestales en comparación con el monocultivo en plantaciones de cacao y el suelo de referencia (Bosque), localizado en el cantón Arosemena Tola de la provincia de Napo.

## **a. Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar la influencia de los sistemas agroforestales y monocultivos de cacao (*Teobroma cacao L.*) sobre la calidad del suelo, mediante el uso de indicadores en el cantón Arosemena Tola.

### **Objetivos Específico**

- Determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos en cuatro parcelas manejadas bajo sistemas agroforestales, dos con monocultivo de cacao y un bosque intervenido, en el cantón Arosemena Tola.
- Comparar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo medidas en las parcelas bajo sistemas agroforestales y monocultivo, en el cantón Arosemena Tola.
- Seleccionar un sistema de indicadores que permitan establecer la calidad de suelo, en función de los usos de tierra evaluados para la zona Arosemena Tola.

## **b. Hipótesis**

### **Hipótesis General**

Los sistemas agroforestales de cacao que tiene la mayor diversidad de especies arbóreas, posee una mejor calidad de suelo que aquellos manejados como monocultivos.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Origen y descripción botánica de *Teobroma cacao*

La evidencia más antigua del origen del cacao es de Mokayo en México de 1900 al 1500 aC., las civilizaciones antiguas como los Aztecas, Olmedos y Mayas fueron los primeros en consumir en forma de chocolate a la vez se utilizaba las semillas como moneda de intercambio y otros usos (Enríquez, 2001). Investigaciones realizadas en el Ecuador por el arqueólogo Francisco Valdez en el año 2002, mediante excavaciones se encontró restos de alimentos, una de ellas fue la de cacao, se tomaron muestras en las tumbas de la comunidad Palanda de la cultura Mayo-Chinchipe se realizó análisis químicos y se pudo determinar, que el cacao fue domesticado en el Ecuador hace 2000 años atrás que en Centro América, a la vez se puede decir que el cacao fino de aroma que hoy se conoce fue cultivada por los Mayo Chinchipe (Valdez, 2013; Instituto ecuatoriano de la propiedad intelectual, 2014).

El cacao es un árbol que se desarrolla en climas tropicales, en temperaturas de 24 – 26 °C, a los 10 años alcanza su máximo desarrollo, da frutos varias veces al año, llegan a tener una altura de 6 a 8 m, su polinización es alógama, la reproducción puede ser por semillas o estacas, los frutos contienen 42% de cascara, 40% de pulpa y 18% de semilla (Enríquez, 2004).

Las raíces las cuales son pivotantes llegan alcanzar hasta los 3 m de profundidad, 4 m de ancho; las raíces principales y secundarias se desarrollan en los primeros 40 cm del suelo; para el desarrollo de las raíces depende mucho de las propiedades físicas y químicas del suelo. Su tallo es leñoso de color verde, gris-castaño, café verduzco (Enríquez, 2004).

Las hojas de *Teobroma cacao* L. son simples de 30-50 cm de longitud, dependiendo la variedad puede ser de color verde oscuro o también verde claro, las hojas en su primer año necesitan de mucha sombra ya que son muy sensibles a los rayos del sol y las condiciones climáticas, evitando que existan quemaduras de hojas y rompimiento de las ramas (Enríquez, 2004).

Las flores son hermafroditas, el cáliz está formado por 5 sépalos de color rosado o blanco, la corola con 5 pétalos, el androceo formado por 5 estambres fértiles y 5 infértiles, la antera con 4 sacos de polen, el polen tiene un diámetro de 20 micrones, el gineceo formado por el pistilo con su estigma, estilo y ovario (Suárez *et al.*, 1993).

Los frutos también llamado mazorcas, salen directamente del tronco y de las ramas más antiguas, el tamaño varía entre los 10 y 30 cm de longitud y 7 a 9 cm de ancho, con un peso de 200 g a 1 kg, su forma puede ser esférica u ovalada, alargada, puntiaguda y acanalada; de 20 o 25 mazorcas se puede obtener 1 kilo de cacao comercial, los frutos se obtiene a partir del cuarto o quinto año de vida de la planta (Enríquez, 2004).

Las semillas que tienen un sabor amargo con aroma floral están cubiertas por una pulpa ácida azucarada, una mazorca puede contener de 20 a 50 semillas, de color morado, llega a pesar hasta 1,5 g o más cuando están bien secas; estas almendras o semillas al final son pulverizados y es utilizado para la fabricación de chocolate (Enríquez, 2004).

### **3.2. Importancias del cacao en la dieta alimenticia**

En Ecuador a las almendras de *Teobroma* se la conoce como cacao, son reconocidas mundialmente como cacao fino por su sabor y aroma (Schmid, 2013). Es consumido en todas partes del mundo por su valor nutricional ya que posee proteínas, carbohidratos, grasas y algunos minerales (De La Cruz & Pereira, 2009). A pesar de que el cacao no es considerado como un bien de primera necesidad en la alimentación su nivel de exportación mundial es muy alto, alcanzó para el periodo 2008 – 2009 un total de 3'466.000 tm de la cual 178.250 es cacao fino de aroma (Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza, 2012).

Al culminar el año 2011 del 100% de las exportaciones, África posee el 77 % seguido por Asia y Oceanía con 16% y América con un 6%; los países con mayor nivel de exportación son Costa de Marfil, Ghana e Indonesia; para el mismo año los principales importadores fueron Europa (58%), América (27%),

Asia (14%) y África (2%), de los cuales los principales países importadores son Estados Unidos (20%), Alemania (13%), Bélgica (7%) y Francia y la Federación de Rusia (6%) (Organización internacional del cacao-ICCO, 2012). El 90% del cacao básicamente es cultivada en los países como Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Brasil, Camerún, Ecuador y Malasia; el Ecuador produce y exporta a nivel mundial el 50% del cacao fino y de aroma, entre 60 mil y 70 mil toneladas al año (Dirección de inteligencia comercial e inversiones, 2013).

### **3.3. Producción de cacao en el Ecuador**

Ecuador siendo uno de los mayores exportadores de cacao fino de aroma y aroma, se encuentra dentro de los 10 países a nivel mundial, siendo de esta manera a la vez uno de los ingresos más importantes para la economía del Ecuador; en el año 2009 se llegó a cultivar 398.104 ha de las cuales se obtuvo 120.582 TM, a la vez en el mismo año se verificó que en la Costa ecuatoriana se cultivaba el 80% y en menores cantidades en la Amazonia y Sierra del Ecuador, los mejores resultados de cosecha son obtenidos en la Costa (PROECUADOR, 2011).

Del 100% de la producción de cacao solo el 33% pertenece a pequeños productores, el 45% pertenece a propietarios de 10-50 ha de cacao y el 23% es de los propietarios que mantienen por encima de 50 ha de cultivo. En el año 2009 se exportó 143.304 tm, los países donde se exporta principalmente son Estados Unidos, Holanda, México, Bélgica, Alemania y entre otros, pero en cantidades menores (PROECUADOR, 2011).

### **3.4. Manejo del cultivo de *Theobroma cacao* en Ecuador**

*Theobroma cacao* se desarrolla en donde hay precipitaciones a largo de todo el año con temperaturas estables de 25 – 28 °C, sin embargo ha existido lugares con condiciones muy diferentes a lo mencionado y aun así la planta se ha adaptado, pero la cantidad de frutos son en menor cantidad. El cacao cultivado en las mejores condiciones tiende a producir frutos dentro de los 4 a 5 años, y en los 8 a 10 años llega a su máxima producción, de ahí en adelante sigue dando frutos pero en cantidades mínimas (PROECUADOR, 2011). Existen dos maneras de reproducción del cacao una de ellas es reproducción sexual donde las semillas son

germinadas en viveros hasta una cierta edad y son enviadas al campo para su plantación. La otra forma es la asexual en la se puede realizar por medio de partes vegetativas del cacao donde se utiliza las ramas y las ramillas; el metodo mas utilizado es el de injerto.

### **3.5. Sistemas de plantación del cacao**

Barros, (1981) indica que la siembra debe ser realizada en épocas de lluvia, donde hay suficiente humedad en el suelo, si estas características son dadas se siembra de una distancia de 3 m x 4 m si es el caso de plantas clonadas por ramas o ramillas, si la planta es cacao nacional por injertos o semillas a una distancias de 4 m x 4 m, si se requiere sembrar utilizando un sistema agroforestales se recomienda plantar en distancia de 4 m x 5 m.

### **3.6. Características edafoclimáticas para la producción de cacao (*Theobroma cacao L.*)**

El cacao es un especie que se desarrolla en climas cálidos y tropicales, con precipitaciones de 1600 a 2500 mm al año, los suelos donde se vaya a plantar deben ser planos o ligeramente ondulados, es importante que los suelos deben ser profundos ya que las raíces principales pueden llegar alcanzar hasta 1,5 m de profundidad, los suelos recomendados para la plantación es franco a franco arcilloso y también franco arenoso, los suelos a la vez deben tener una alta capacidad para retener agua y con mucha materia orgánica (Enríquez, 2001). El nivel del pH es importante, por ende se considera que debe tener entre 5,5 (ligeramente acido) a 7,0 (neutro); la radiación solar es otro elemento muy importante en la producción de cacao, se requiere entre 800 a 1.000 horas al año, la velocidad del viento debe estar entre 1,1 a 2 m/seg, en velocidades de 4 m/seg se observa problemas de defoliación que es la caída de flores y hojas (Enríquez, 2001).

### **3.7. Nutrición del cultivo**

Los principales nutrientes que requieren las plantaciones de cacao son N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, con respecto a estos elementos es importante que se mantenga el nivel óptimo de aquellos elementos para una obtención de frutos en

la cosecha, ya que son muy exigentes con respecto a los nutrientes (Ramos *et al.*, 2000).

**Cuadro 1.** Requerimientos nutricionales del cultivo de cacao en distintas etapas de crecimiento.

Estado del cultivo	Edad planta (meses)	Requerimiento nutricional-Promedio en Kg ha <sup>-1</sup>						
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Vivero	5-12	2.4	0.6	2.4	2.3	1.1	0.04	0.01
Establecimiento	28	136	14	156	113	47	3.9	0.5
Inicio de producción	39	212	23	321	140	71	7.1	0.9
Plena producción	50-87	438	48	633	373	129	6.1	1.5

**Nota.** Fuente original: Thong YNG, citado por Morais, F.I., Santana, M.B. y Santana, Ch. Nutricao Mineral e Adubacao do cacauerio. CEPLAC, Bahía, Brasil. Boletín técnico No. 88.

### 3.8. Cosecha

Cuando una mazorca se encuentra listo para ser extraído de la planta debe estar de color amarillo vistoso o amarillo naranja, también cuando se realiza golpes suaves en las mazorcas y se siente como algo suelto dentro de ella es signo de madurez (Moreno y Sánchez, 1989); cuando los frutos son retirados de las plantas se les llama cosecha.

### 3.9. Extracción de almendras

Las almendras o semillas de las mazorcas son extraídas abriéndolas con mache o a golpes, es importante que en este proceso las semillas no tengan contacto con superficies metálicas; la extracción de las semillas se deben realizar lo más pronto posible después de la cosecha (Amores *et al.*, 2009).

### 3.10. Fermentación

La fermentación de las almendras de cacao consta de la descomposición de la pulpa que rodea las semillas y el cambio bioquímico que se realizan dentro del cotiledón (Gutiérrez, 1988), es importante tener en cuenta que para una buena fermentación no se debe realizar en lugares con vientos fuertes, ni permitir la



entra de ninguna clase de animales. La fermentación dura entre 3 a 6 días dependiendo mucho de la especie de cacao (Amores *et al.*, 2009).

### **3.11. Secado del cacao.**

El secado es el proceso de continuidad de las reacciones químicas que se realizan dentro de las almendras que genera el buen sabor y el aroma del cacao, al terminar el secado se llega a tener un 6 o 7% de humedad, el secado a la vez permite la disminución de lo amargo. Existen métodos que utilizan los productores para el secado de las almendras una de ellas es el secado natural (al sol) y secado artificial en la que se utiliza estufas (Amores *et al.*, 2009). Ya terminado el proceso de secado se debe almacenar en lugares cerrados, ventilados y libre de humedad.

### **3.12. Problemática de los suelos con sistemas agroforestales y monocultivos de cacao.**

Los bosques naturales de las zonas tropicales son reconocidos por mantener un equilibrio entre todos los elementos, de gran eficiencia, estable y que a la vez tienen la capacidad de soportar cambios (Serrano *et al.*, 2006; Weinhold, 1999); En aquellos lugares se realiza la tala de toda especie para implementar cultivos de cacao. En la Amazonia Ecuatoriana el cacao se cultivan en suelos del orden Inceptisol, Entisol, Histosol y Molisol, de origen volcánico con alto contenido de materia orgánica, pH en su mayoría ácido (Bravo *et al.*, 2015).

El monocultivo de cacao en un inicio presenta buenas cosechas, pero con el pasar del tiempo los suelos se gastan y las cosechas disminuyen por un índice alto de plagas y baja fertilidad del suelo, para mejor aquello se debe incurrir a fertilizantes y pesticidas químicos, los cuales son muy costosos para los pequeños productores; y en el caso de que se aplique aquello las dosificaciones afectan al producto final y contaminan las fuentes hídricas, ya no asimila la planta toda la cantidad de agroquímicos aplicados. Cuando ya los suelos son infértiles tiende a deforestar más bosques para continuar con la producción, incrementando de esta manera el avance de la frontera agrícola; mientras sigue el aumento de los monocultivos los suelos siguen presentando degradación (Jagoret *et al.*, 2014).

Mientras tanto por otra parte existen los cultivos con sistemas agroforestales, que mediante un buen manejo puede generar buenas cosechas a la vez disminuye el consumo de agroquímicos, y se mantiene la fertilidad del suelo por muchos más años, la explicación para aquello es porque al haber más diversidad de especies la biomasa aumenta y existe una estabilidad en el proceso de descomposición de la biomasa y el ciclo de nutrientes, tal proceso permite restaurar y mantener la fertilidad del suelo por la actividad biológica que existe, a la vez todo aquello no permite que exista erosión en el suelo (Jagoret *et al.*, 2014). Sin embargo, los bosques de la Amazonia Ecuatoriana nunca dejan de perder aunque sea en mínimos porcentajes, ya que al aplicar sistemas agroforestales o monocultivo siempre va ser necesario que exista deforestación y cuando esto ocurre existe pérdida de flora y/o fauna (Lopez & Phillips, 2012).

### **3.13. Conceptos y definición de la calidad de suelo**

Existen varias definiciones para calidad del suelo, una de ellas es la que es desarrollada por la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo reconocida a la vez por ser la más sencilla, esta menciona que, es la capacidad del suelo para realizar sus funciones de acuerdo al uso que se vaya a dar (SSSA, 1994). Otros autores reconocen como la capacidad del suelo de cumplir con sus funciones dentro de las fronteras de un ecosistema natural o intervenido, el mantenimiento de la productividad de las plantas y animales, mejorar la calidad del aire y del agua, sostener la salud humana y el hábitat; constituye las funciones más completas y aceptadas por la mayoría de la población mundial (Bautista *et al.*, 2004); mientras que para Arshhad y Coen, (1992), la calidad del suelo es la capacidad de recibir, acumular y tomar en lo posible la cantidad necesaria de agua, minerales y energía para un el buen desarrollo de cultivos, sin dejar a un lado la preservación de una ambiente sano.

En la conceptualización que se desarrolla para el agroecosistema, debe constar de que la productividad biológica se mantenga a largo del tiempo, a la vez que la calidad ambiental sea de mejor manera, y que de esta manera las plantas, animales y el ser humano mismo mantengan una buen salud (Doran y Parkin, 1994). El suelo mantiene una triple funcionalidad: 1) promover y mantener

siempre una buena productividad del sistema realizando en mínimas cantidades la alteración de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo; 2) disminuir la intensidad de contaminantes y patógenos; 3) mantener una buena salud de todo ser vivo presente en el ecosistema (plantas, animales y humano), desde que se reconoció aquello se empezó la utilización en la conceptualización de la calidad del suelo (Doran y Parkin 1994; Karlen *et al.*, 1997).

#### **3.14. Evaluación de la calidad del suelo**

Desde el comienzo de la industrialización agrícola siempre habido el querer tener la máxima producción del cultivo sin importar el deterioro de la calidad del suelo, aquello se sigue observando en manejos convencionales que se dan en distintas producciones vegetales, existe un grupo pequeño y que a la vez cada día sigue creciendo con la preocupación de cambiar tales conceptos erróneos; para aquello tratan de entender la funciones e interrelaciones que existen entre las propiedades del suelo y la productividad de las especies vegetales (Bautista *et al.*, 2004). Por eso es importante que se realice siempre evaluaciones periódicas y monitoreo de las propiedades del suelo con el objetivo de mejorar o mantener la calidad (Vallejo, 2013).

Dicha calidad debe ser evaluada, tomando en cuenta variables o indicadores físicos, químicos y biológicos; los cuales deberán permitir entender la situación actual del sitio, determinar los cambios existentes, comprender el impacto posible a causar en el caso de que exista una intervención humana y definir si hay sostenibilidad en el uso del recurso suelo (Prieto *et al.*, 2013).

#### **3.15. Indicadores de calidad del suelo**

Los indicadores de calidad son aquellos que proporcionan información para poder entender la actualidad del suelo, mediante propiedades físicas, químicas y biológicas, ayudando a entender el impacto que ha realizado o que se va realizar (Bautista *et al.*, 2004).

Un buen indicador debe cumplir ciertos requisitos: 1) ser sensibles a los cambios inducidos por el manejo; 2) discriminar entre los cambios naturales y los inducidos por el manejo; 3) ser fácilmente medible; 4) deber ser relevante para el

sitio y representativo en el tiempo; 5) además de responder a medidas correctivas (Bautista *et al.*, 2004).

Cuando se realiza la selección de indicadores es importante tomar aquellos que se muestren más fiables en un caso específico. Sin embargo existen muchos criterios en la actualidad sobre la toma de indicadores, un grupo menciona que debe ser estudiados los mismo en todos los casos para poder comparar a nivel nacional e internacional; mientras la contra parte menciona que se debe escoger de acuerdo a las restricciones que presentan los suelos y teniendo en cuenta las funciones principales que se evalúan (Bautista *et al.*, 2004).

Para definir la sustentabilidad en una producción es importante tomar aquellos indicadores que definan los distintos datos de calidad (Michelena *et al.*, 1989). Quiroga *et al.* (2000), menciona que uno de los indicadores que siempre se debe tomar es la materia orgánica ya que esta influye siempre en la calidad de los suelos y la productividad de las plantas.

### **3.16. Indicadores físicos y químicos**

Dependiendo de la función del suelo que se desea evaluar es importante escoger siempre un sinnúmero de indicadores físicos (Singer y Ewing, 2000). Estas deben ser aquellas que permitan entender la dinámica del agua en el suelo entendiendo que esta intercepta, retiene y trasmite a las especies vegetales, también aquellos indicadores que reflejan las limitaciones para el crecimiento de las raíces y el arreglo de los distintos tipos de partículas y poros (Bautista *et al.*, 2004).

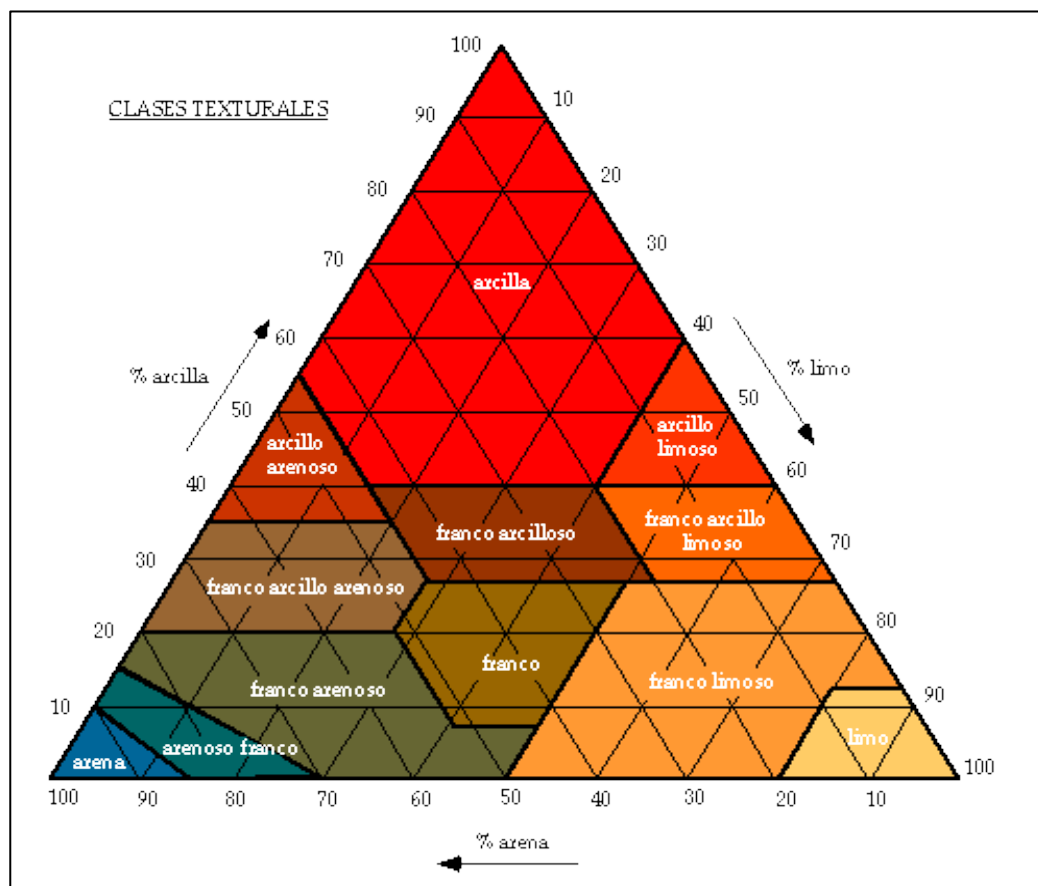
Los indicadores físicos seleccionados como los más adecuados para la evaluación de la calidad del suelo son; densidad aparente, conductividad hidráulica saturada, textura, capacidad de retención de agua, porosidad, entre otros (Bautista *et al.*, 2004).

Con respecto a los indicadores químicos es importante que refleje la relación que existe entre el suelo y la planta, la disponibilidad de nutrientes para las plantas y seres vivos que se desarrollan en el suelo; los principales indicadores

que se destacan son: pH, relación C-N, nitrógeno (N), fósforo (P), magnesio (Mg), potasio (K), materia orgánica, entre otros (Bautista *et al.*, 2004).

La determinación de la textura está basada en la evaluación de los porcentajes de arena, limo y arcilla; luego de aquello se puede obtener la clase textural de un suelo determinado, mediante el uso del triángulo de textura que se presenta en la **Figura 1** (SSDS, 1993).

**Figura 1.** Clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con el USDA.



Fuente: Soil Science Society of America (SSSA) (1994).

### 3.17. Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos los cuales permiten entender la descomposición de los restos vegetales y animales que se encuentra en el suelo mediante la actividad de macro y microorganismos en la que incluye artrópodos, lombrices, hongos, nemátodos, bacterias, etc. Para la evaluación de la calidad se expresan

algunos ejemplos como es la respiración basal y edáfica, número de lombrices, nitrógeno y carbono de la biomasa microbiana y grupos de fauna del suelo (Bautista *et al.*, 2004).

### **3.18. Selección del conjunto mínimo de datos**

Los valores de los indicadores evaluados son simplemente datos que tiene un significado o relevancia, por tanto mediante una comparación transversal que contempla un sistema de referencia es lo más adecuado (Astier *et al.*, 2002). Aquellos indicadores que sean seleccionados deben representar la potencialidad que tiene dicho suelo (Karlen *et al.*, 1994). Es perder recursos y tiempo al dedicarnos a medir todas las características del suelo, por tal razón se toma un grupo pequeño de indicadores a las que se le conoce como conjunto mínimo de datos (MDS) estas deben ser medidas para así poder evaluar la calidad del suelo (Doran y Parkin, 1994).

La decisión de tomar aquellos indicadores que permitan entender la actualidad de un suelo, se debe realizar mediante procedimientos estadísticos como es el análisis de componentes principales (Andrews y Carroll, 2001). Sin embargo también la selección del MDS se realiza mediante la opinión de un experto (Doran y Parkin, 1994). Walter *et al.* (1997), indica que la aplicación de métodos estadísticos en la toma del MDS reduce en la toma de las decisiones.

Los parámetros a evaluar no siempre son los mismos depende mucho del lugar, las circunstancias, objetivos del estudio y tipo de suelo. Sin embargo existen un grupo de parámetros que en la mayoría de los estudios han sido tomados dentro del MDS y que a los expertos en la materia lo sugieren dentro de estos tenemos: la densidad aparente, pH, conductividad hidráulica, porosidad, materia orgánica, nitrógeno (N), potasio (K), fósforo (P), respiración basal y edáfica, carbono de la biomasa y entre otros (Doran *et al.*, 1996; Doran y Parkin, 1994). No es recomendable que se realice estudios de forma aislada ya que todas las propiedades del suelo se encuentran interrelacionada (Dick, 1994; Bucher, 2002).

### **3.19. Uso de los índices de calidad**

Desde que se inició la industrialización de la agricultura ha ido afectando de manera negativa en el medio ambiente, calidad de los alimentos y calidad de los suelos, mientras esto ha ido ocurriendo actualmente habido una concienciación por proteger el medio ambiente y mejorar la calidad de los alimentos, por ello hoy en día es de gran importancia la evaluación de los impactos que ocasionan la agricultura sobre la calidad del suelo (Schjonning *et al.*, 2004).

Al analizar los índices de calidad podemos observar la situación actual del suelo y a la vez esto permite identificar los puntos críticos de sostenibilidad en zonas con propósitos de producción o como recurso natural, también se puede analizar el impacto que puede ocurrir en el caso de cambio de uso del suelo; la evaluación de la calidad del suelo se puede establecer mediante la comparación de distintos sistemas de uso de suelo o también se pueden comparar mediante la evolución de los sistemas a través del tiempo (Astier *et al.*, 2002).

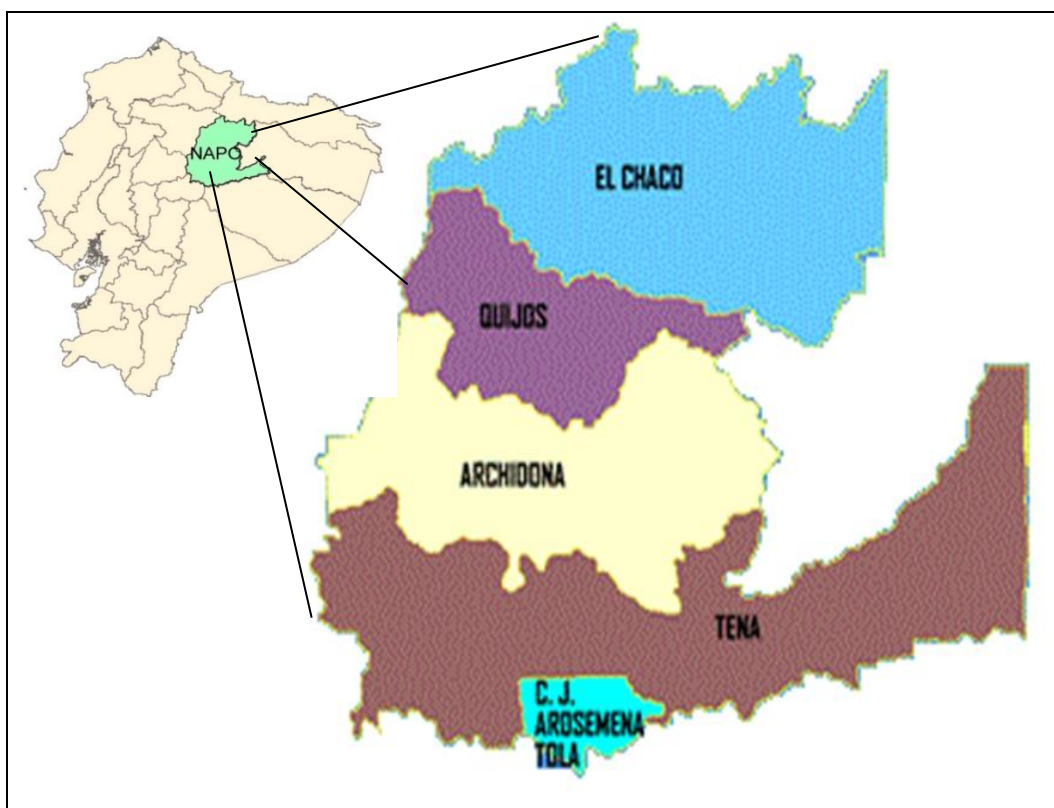
En base al contexto planteado, este trabajo tiene como objetivo principal evaluar el efecto de los sistemas agroforestales en comparación con el monocultivo en plantaciones de cacao y el suelo de referencia (Bosque), localizado en el cantón Arosemena Tola de la provincia de Napo.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Localización y duración del experimento

La investigación se realizó en fincas con parcelas de cacao perteneciente a productores independientes, estas se encuentran en el cantón Arosemena Tola de la provincia de Napo, ubicada en la vía Puyo–Tena en el km 54 (**Figura 2 y Figura 3**); dicho cantón ocupa una extensión de 502 Km<sup>2</sup> limita al Norte con las parroquias de Tálag y Puerto Napo, al Sur con los cantones Mera y Santa Clara, al Este con el cantón Santa Clara y al Oeste con el cantón Baños de Agua Santa (GAD-cantón Arosemena Tola, 2012).

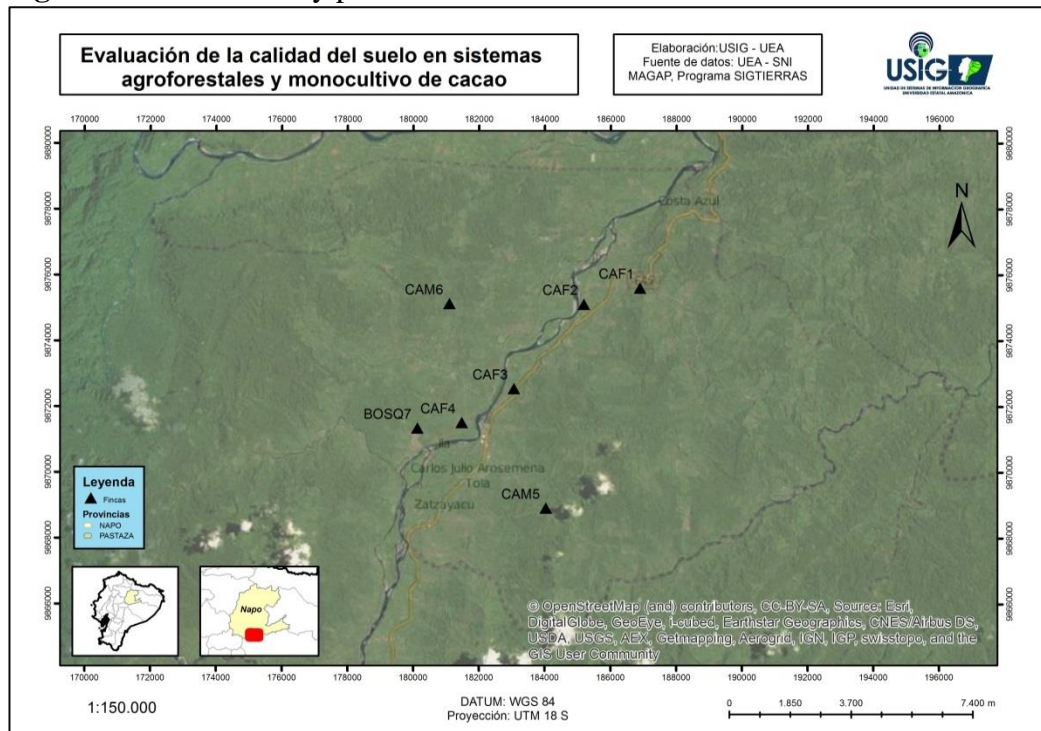
**Figura 2.** Mapa del Cantón Arosemena Tola.



Fuente: USIG\_UEA\_2016.



**Figura 3.** Localización y puntos de muestreo en el Cantón Arosemena Tola.



Fuente: USIG\_UEA\_2016.

## 4.2. Condiciones meteorológicas

La zona presenta clima variado que va de templado húmedo, hasta un tropical lluvioso, su temperatura promedio es de 26 °C, con una precipitación que llega hasta los 4.000 mm al año y una altitud de 500 msnm. De su superficie total, el 50% es vegetación tropical; también cuentan con cuencas hídricas como los ríos Pibi, Anzu, Poroto Negro y el río Punicotona (Napo, 2012; Asociación de municipalidades ecuatorianas, 2012).

## 4.3. Materiales y equipos

Los materiales y equipos que se utilizó para la toma de muestra son:

### 4.3.1. Materiales de campo

- ✓ Pala, para tomar muestras alteradas
- ✓ Barreno tipo Uhland para toma de muestras no alteradas

- ✓ Cinta métrica
- ✓ Fundas ziploc
- ✓ Penetrómetro
- ✓ Envases de plástico
- ✓ Frascos de vidrio
- ✓ Papel aluminio
- ✓ Navaja
- ✓ GPS
- ✓ Libreta de apuntes

#### **4.3.2. Equipos y materiales de oficina**

- ✓ Computadora
- ✓ Impresora
- ✓ Hojas de bond

#### **4.3.3. Equipos y materiales de laboratorio**

- ✓ Estufa
- ✓ Mesa de tensión
- ✓ Plato de presión
- ✓ Soporte de bureta y nuez
- ✓ Balones aforados
- ✓ Pipeta volumétrica
- ✓ Espectrofotómetro de absorción atómica

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Tamiz
- ✓ Cilindros de sedimentación
- ✓ Bandejas
- ✓ Bureta
- ✓ Potenciómetro
- ✓ Fiolas

#### **4.3.4. Reactivos**

- ✓ Hidróxido de sodio - NaOH
- ✓ Cloruro de bario - BaCl<sub>2</sub>
- ✓ Ácido clorhídrico – HCl
- ✓ Fenolftaleína
- ✓ Dicromato de potasio – K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>
- ✓ Ácido sulfúrico – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- ✓ Cloruro de potasio – KCl

#### **4.4. Factores de estudio**

##### **4.4.1. Variables dependientes**

###### **4.4.1.1. Propiedades físicas**

- Densidad aparente(Da)
- Conductividad hidráulica saturada (K<sub>sat</sub>)

- Porosidad total (Pt)
- Porosidad de aireación (Pa)
- Porosidad de retención (Pr)
- Textura
- Resistencia a la penetración (RP)

#### **4.4.1.2. Propiedades químicas**

- pH
- Acidez intercambiable (aluminio intercambiable)
- Nitrógeno total (Nt)
- Materia orgánica (Carbono orgánico)
- Fosforo (P)
- Potasio(K)
- Calcio (Ca)
- Magnesio (Mg)

#### **4.4.1.3. Propiedades biológicas**

- Respiración basal
- Respiración edáfica
- Número de lombrices
- Biomasa-hojarasca

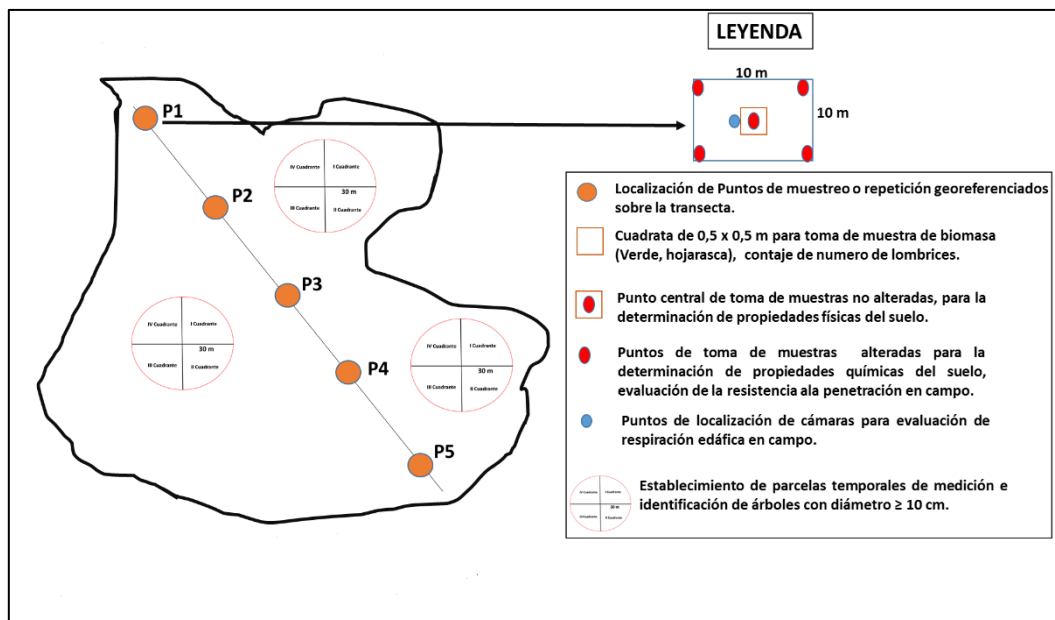
#### 4.4.2. Variables independientes

- Calidad del suelo
- Usos de la tierra
- Clima

#### 4.5. Diseño experimental

Para este estudio se consideró uno de los usos de la tierra más relevante para la zona, cacao fino de aroma (*Theobroma Cacao*) y comprendió: a) Cacao Agroforestal (CAF) y b) Cacao monocultivo (CAM), los cuales fueron comparados con el uso de tierra de referencia (Bosque). De cada uno de los tratamientos se seleccionaron dos repeticiones homogeneizados CAM y cuatro CAF por el tipo de manejo para un total de 6 fincas. Cada uso de la tierra se utilizó como unidad experimental y mediante un muestreo sistemático se estableció una transecta a lo largo del área seleccionada de manera de que fuese representativa y abarcara todas las fuentes de variación (**Figura 4**).

**Figura 4.** Diseño de muestreo para diagnóstico ambiental a nivel de uso de la tierra.



**Fuente:** Carlos Bravo-Prometeo-UEA. Proyecto Prometeo: Sustentabilidad y calidad del suelo en sistemas agroforestales de la Región Amazónica Ecuatoriana. Estudio caso: Provincia de Pastaza y Napo.

En cada transecto se estableció cinco puntos de muestreo en los cuales se localizó una subparcela de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m) donde se recolectó las muestras de suelo y de vegetación. El muestreo de suelo comprendió la toma de muestras no alteradas con un barreno tipo Uhland a tres profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm que se utilizó para la determinación de parámetros físicos. Paralelamente, en cada subparcela se recolectó cinco submuestras de suelo a dos profundidades (0-10 cm y 10-30 cm) para la determinación de las propiedades químicas y biológicas. En la parte central de la subparcela se colocó un cuadrante de 0,25 m<sup>2</sup> donde se tomó la muestra de hojarasca y se realizó el conteo de lombrices.

#### **4.6. Mediciones experimentales**

##### **4.6.1. Análisis Físicos**

Se midió las siguientes variables: densidad aparente ( $D_a$ ) usando el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986); la distribución de tamaño de poros (Pt: porosidad total), porosidad de aireación (Pa: poros de radio  $>15 \mu\text{m}$ ) y porosidad de retención se midió usando la mesa de tensión a saturación y a un potencial mátrico de -10 KPa (Blake y Hartge, 1986). La conductividad hidráulica saturada ( $K_{\text{sat}}$ ) mediante el método de carga variable, siguiendo el método descrito en Pla (1983). La resistencia a la penetración se midió con penetrómetro digital de punta cónica en el extremo y con una varilla graduada a distintos intervalos hasta alcanzar una profundidad de 40 cm.

##### **4.6.2. Análisis Químicos y Biológicos.**

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 ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 1 N con adición de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por el Cr fue medido por titulación usando una solución de sal de Morh 0,5 N ( $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Para medir el pH se usó el método potenciométrico con una relación suelo-agua 1:2,5), el nitrógeno total será determinado por el método de Kjeldahl y contenido de Fósforo (P), Azufre (S) y las bases cambiables (Ca, Mg, K), fueron medidas por la metodología de Olsen

modificado (Bertsch, 1995). La respiración edáfica que incluye la respiración de raíces, microorganismos y de la fauna del suelo se midió en campo mediante el método de cámara estáticas que consistió en el uso de envases plásticos (PET) colocados y enterrados a 1 cm de profundidad y dentro del cual se colocaron en un envase de vidrio 30 ml de una solución de NaOH 1 M que atrapó el CO<sub>2</sub> producido por la actividad biológica. La prueba se llevó a cabo por un período de 24 horas tiempo en el cual se le agregó de 3 a 4 ml de cloruro de Bario (BaCl<sub>2</sub>) para detener la reacción y posteriormente se tituló con HCl 1 N.

La respiración basal se determinó a nivel de laboratorio, utilizando 50 g de suelo pasado por un tamiz de 2 mm y se les retiró gran parte de las raicillas. La muestra de suelo fue colocado en un envase de 100 g y se humedeció progresivamente hasta alcanzar una consistencia friable. Luego se colocó dentro un envase de plástico (1 l) junto con un vial de vidrio con 20 ml de NaOH 0.5 M, se tapó herméticamente y se dejó incubando por 24 horas. Al terminar la incubación se detuvo la reacción adicionando 2 ml de BaCl<sub>2</sub> 0,5 M y posteriormente se tituló con HCl 0,5 M. El número de lombrices se cuantificó en un área de 0,25 m<sup>2</sup> para los primero 10 cm de profundidad.

En las muestras de hojarasca se determinó peso fresco, luego se colocó en estufa por un periodo aproximado de 24 horas a 70 °C para la determinación del peso seco.

#### **4.6.3. Análisis estadísticos**

En cada uso de la tierra o tratamiento se utilizó como unidad experimental sus respectivas repeticiones y estadísticamente se analizó como un diseño completamente aleatorizado (Torres *et al.*, 2013). Para ello, antes de ejecutar los análisis de varianza se realizó una evaluación de la normalidad de los datos aplicando la prueba de Will-Shapiro (P<0.05). Luego se estableció las diferencias entre los distintos usos de la tierra considerando el factor profundidad y uso (CAF, CAM y BOSQUE) mediante el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey (P<0.05). Igualmente se usó el coeficiente de correlación de Spearman (rs) (P<0.001) para establecer el grado de asociación entre los distintos

parámetros y selección de indicadores de calidad del suelo en los usos de tierra seleccionados. Ambos estadísticos (prueba de media Tukey y Coeficiente de Spearman) se usaron para seleccionar un mínimo de indicadores considerando aquellos con alto grado de asociación ( $\geq 0.60$ ) y alta significancia. Todo lo anterior, sirvió para seleccionar un sinnúmero de variables que nos permiten obtener un índice de calidad del suelo (ICS), usando la metodología propuesta por Cantú *et al.*, (2007). Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SPSS, versión 21.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo es un recurso que está compuesto por elementos como partículas sólidos (arena, limo y arcilla), minerales, líquidos (agua), fauna, flora y gases (aire). Estudiosos de la materia clasifican a estos elementos como propiedades físicas químicas y biológicas del suelo, con ello se ha podido estudiar de mejor manera la calidad del suelo y los cambios que se han ido realizando por causa del uso antrópico y cambios ocasionados naturalmente (Bautista *et al.*, 2004).

Mediante esta investigación se estudió los cambios de los parámetros físicos, químicos y biológicos bajo sistemas agroforestales y con monocultivo de cacao, en Arosemena Tola, provincia de Napo y que a su vez serán usados para el estudio de la calidad del suelo bajo distintos usos.

### 5.1. PARÁMETROS FÍSICOS

Las propiedades físicas del suelo tienen como función especial, la recepción, acumulación y trasmisión del recurso agua a toda vegetación, también controla la disponibilidad del oxígeno, a la vez refleja el desarrollo de la raíz y el movimiento del agua en los distintos tipos de perfiles del recurso suelo (Bravo, 2015). Es de gran importancia que los indicadores físicos se mantengan dentro de los límites permisibles ya que si se sobre pasa o se pone por debajo, afectaría a las propiedades químicas y biológicas conllevando a una degradación del suelo mediante erosión hídrica, pérdida de nutrientes, acidez, etc. (Bautista *et al.*, 2004). Cada uno de aquellos indicadores estudiado en la investigación, se presenta en las tablas que continúan.

En la **Tabla 1**, se presenta los análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros físicos del suelo; se puede apreciar que las variables porosidad total y porosidad de retención no evidenciaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), mientras que el resto como la densidad aparente, conductividad hidráulica saturada, y porosidad de aireación si fueron afectadas por el uso de la tierra.

**Tabla 1.** Análisis de varianza, efecto del factor profundidad sobre las propiedades físicas del suelo en bosque primario, sistemas agroforestales y monocultivo de cacao del cantón Arosemena Tola.

Variables	Significancia P≤0,05
Densidad aparente (Da, Mg m <sup>-3</sup> )	*
Conductividad hidráulica saturada (K <sub>sat</sub> , cm h <sup>-1</sup> )	*
Porosidad total (Pt, %)	ns
Porosidad de aireación (Pa, %)	*
Porosidad de retención (Pr, %)	Ns

\* = Significación por Tukey; ns = No significativo

Cuando se analizó los valores promedios de las propiedades físicas a distintas profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm) de densidad aparente (Da), conductividad hidráulica (K<sub>sat</sub>), porosidad total (Pt), porosidad de aireación (Pa) y porosidad de retención (Pr) considerando el factor profundidad (**Tabla 2**) se observa que todas las variables físicas fueron afectadas significativamente (P≤0,05), independiente del uso del suelo. Tales resultados están muy relacionados con el mayor contenido de materia orgánica en el horizonte superficial, lo cual genera una mejor condición física, creando una mayor porosidad de aireación, mayor K<sub>sat</sub>, menor Da y resistencia a la penetración.

**Tabla 2.** Valores promedio de las propiedades físicas del suelo a distintas profundidades bajo diferentes usos de la tierra en el cantón Arosemena Tola, provincia de Napo.

Variables/ Profundidad	Da Mg m <sup>3</sup>	K <sub>sat</sub> cm h <sup>-1</sup>	Pt %	Pa %	Pr %
<b>0 - 10cm</b>	0,62 b	37,69 a	77,36 a	15,18 a	62,18 a
<b>10 - 20cm</b>	0,71 b	32,05 a	64,14 b	11,07 b	61,06 a
<b>20 - 30cm</b>	0,84 a	7,47 b	63,14 b	7,34 c	63,76 a

\* Las letras diferentes en una misma columna significan diferencia entre profundidad a un nivel de P≤0,05

En la Da los resultados varían entre 0,62 Mg m<sup>3</sup> y 0,84 Mg m<sup>3</sup>; la profundidad 0-10cm y 10-20cm son similares estadísticamente y más bajos que el resultado de 20-30cm (**Tabla 2**). Alvarado & Forsythe, (2005) también obtuvieron valores mayores en las primeras profundidades cercanas a la superficie, esto se

debe a que siempre existe mayor actividad biológica, abundancia de raíces y mayor cantidad de materia orgánica; mostrando de esta manera que a mayor profundidad la  $D_a$  aumenta. Pla, (2010) señala que existe un valor crítico para la  $D_a$  que varía en función de la textura, suelos de textura fina (Arcilloso o franco arcilloso) es de  $1,3 \text{ Mg m}^3$  y  $1,4 \text{ Mg m}^3$  para suelos con textura francos o franco arcillosos. Al comparar los resultados obtenidos con el valor crítico para texturas arcillosas se aprecia que para todas las profundidades dicho valor se considera bajo.

Desde el punto agronómico cuando se obtiene valores mayores al valor crítico afecta directamente en el desarrollo y crecimiento de las plantas por el hecho de disminuir la infiltración del agua y la del oxígeno. Dentro del aspecto ambiental cabe destacar que un incremento de la  $D_a$  a niveles altos es decir por encima del punto crítico puede generar problemas de compactación, por lo cual a su vez genera otros problemas de tipo ambiental como baja infiltración, alta escorrentía, pérdida de nutrientes (Bravo, 2015)

En la conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) los promedios se dividen en dos grupos, de los cuales la profundidad 0-10cm y 10-20cm son similares, mientras que la profundidad de 20-30cm muestra diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) (**Tabla 2**); las primeras profundidades (0-10cm:  $37,69 \text{ cm h}^{-1}$  y 10-20cm:  $32,05 \text{ cm h}^{-1}$ ) poseen valores altos de  $K_{sat}$ , mientras que la profundidad 20-30 cm con  $7,47 \text{ cm h}^{-1}$  disminuye drásticamente con respecto a los anteriores. A pesar de ello los resultados se encuentran por encima de los valores limitantes (0-30cm:  $0,5 \text{ cm h}^{-1}$  y 30-60cm:  $0,2 \text{ cm h}^{-1}$ ) para la actividad agrícola de secano (Pla, 2010).

Los valores de  $K_{sat}$  demuestran que a mayor profundidad la conductividad hidráulica disminuye; estudio realizado por (Lozano *et al*, 2010), coincidió con una disminución de la  $K_{sat}$  con respecto a la profundidad. Los resultados de  $D_a$  están relacionadas con  $K_{sat}$ , mientras disminuye densidad aparente ( $D_a$ ) la conductividad aumenta (Lozano *et al*, 2010).

Una mala conductividad hidraulica en el suelo genera degradación, afectando a distintas funciones del suelo, filtro ambiental y regulador del agua,

cuando aquello falla puede llegar a existir inundaciones, acumulacion de sedimentos, derumbos, etc.; conllevando a la perdida de diversidad de fauna y flora, afectando tambien a la calidad y cantidad del agua.(UNESCO, 2005)

La porosidad total (Pt) nos muestra que la profundidad 0-10cm mantienen diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) con respecto al resto de la profundidad quienes estadísticamente fueron similar. La porosidad total la cual se define como los espacios (poros) que se encuentran ocupado por agua y/o aire y se expresa en porcentaje (%), la cual cuenta a la vez con un valor límite del 35% de Pt para aquellos lugares en donde no existe el control de riego de agua como se puede apreciar, los resultados obtenidos están muy por encima del valor límite (Pla, 1983), lo cual indica suelos con buena aireación. Meza & Geissert, (2003) en un estudio realizado obtuvieron valores altos en horizontes superficiales mientras que en los más profundos valores menores; tal cosas sucede en la investigación que se realizó en parcelas de Arosemena Tola.

Al contener en la capa superficial la mayor cantidad de materia orgánica (MOS) esta se descompone y ayuda al aumento de la macroporosidad y a la vez al porcentaje de Pt, esto se debe a que los agregados se reacomodan; por tal razón la profundidad superior (0-10cm) posee un mayor porcentaje de porosidad total (Martinez *et al.*, 2008).

Los datos de porosidad de aireación (Pa) obtenidos en la investigación nos muestran que las tres profundidades mantienen diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) (**Tabla 2**); en donde la capa superficial tiene una mayor porosidad con respecto a los demás horizontes (**Tabla 2**). Esta variable representa los macroporos y es conocida por que permite el movimiento del agua, la aireación e introducción de las raíces en el suelo (Lima, 1996). Cuando existe un porcentaje mayor de 10 % en la Pa es sinónimo de buena calidad ya que permite que exista un buen drenaje y recepción del agua también hace posible que exista una aireación adecuada y el crecimiento de las raíces se realiza de manera normal (Malavolta *et al.*, 1989). Todo esto hace posible que exista un buen desarrollo de los cultivos y la obtención de buenas cosechas; cuando el drenaje es adecuado considerando las

condiciones climáticas, la existencia de la degradación del suelo por escorrentías y lavado de nutrientes es nula (Amézquita, 1999; Meza & Geissert, 2003).

En el caso de la variable porosidad de retención (Pr), la cual se encarga de conservar el agua captado en los microporos (Lima, 1996); dio valores similares para las tres profundidades, por ende no tiene ninguna diferencia significativa (**Tabla 2**). El porcentaje de Pr es superior al 25%, lo cual evidencia la alta capacidad de estos suelos de retener agua y su disponibilidad para las plantas. Meza y Geissert, (2003) en un investigación también obtuvo valores mayores de Pr y menores de Pa.

## **IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS.**

### **Textura**

La textura es una variable que expresa el contenido de partículas sólidas en distintos tamaños, como la arena, limo y arcilla, que se presenta en el suelo y se expresa en porcentajes (%), mediante el contenido de cada uno de los elementos (arena, limo y arcilla) se puede determinar la clase textural que presenta un suelo determinado; tiene mucha influencia en la retención del agua, riesgo de compactación, disponibilidad de nutrientes (Pla, 1983).

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA), efecto profundidad sobre las partículas del suelo como es arena, limo y arcilla no se evidenciaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ). Con respecto al análisis de varianza (ANOVA) interacción tratamiento-profundidad sobre las partículas que forman la textura, se observa que las variables arena y arcilla de la profundidad 0-10 cm presenta diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) y todo lo contrario sucedió con limo; en la profundidad 10-30cm las variables con diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) son arena y arcilla, en el caso de limo se presentó sin diferencias significativas.

En los suelos del área experimentado se presentó promedios de cada uso y con diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) en tres clases de partículas (arena, limo y arcilla) de la primera profundidad (0-10cm) la arena presento el siguiente orden

CAF4>BOSQ7>CAF2>CAF3>CAF1>CAM6>CAM5, la profundidad 10-30cm con el orden CAF4 > BOSQ7 > CAF2 > CAF3 > CAF1 > CAM5> CAM6; en el caso del porcentaje de limón no hubo diferencias significativas ( $P\leq 0,05$ ) en la profundidad 10-30 cm , sin embargo la profundidad 0-10 cm si tiene diferencias significativas con el siguiente orden CAF1 > CAF4 > CAM5 > CAF2 > CAF3 > CAM6 > BOSQ7; mientras tanto en el porcentaje de arcilla se presentó diferencias significativas ( $P\leq 0,05$ ) en las dos profundidades con el siguiente orden en el caso de 0-10 cm CAM6 > CAM5 > CAF3 > CAF1 > CAF2 > BOSQ7 > CAF4, y en el caso de 10-30 cm tiene el orden CAM6 > CAM5 > CAF3 > CAF1 > CAF2 > BOSQ7 > CAF4 (Tabla 3).

**Tabla 3.** Valores promedios de partículas de suelo y su clases textura correspondiente del suelo bajo diferentes usos de la tierra a los 0-10 cm y 10-30 cm de profundidad en el cantón Arosemena Tola, Provincia de Pastaza.

Tratamiento	Profundidad (cm)	Partículas del suelo %			Textura
		Arena	Limo	Arcilla	
CAF1	0-10	34,20 b	34,60 a	31,20 c	Franco –arcilloso
CAF2	0-10	43,20 b	26,80 b	30,00 c	Franco-areno-arcilloso
CAF3	0-10	39,60 b	25,60 b	34,80 c	Franco-arcilloso
CAF4	0-10	59,40 a	29,00 a	11,60 e	Franco-arenoso
CAM5	0-10	32,00 b	28,20 a	39,80 b	Franco-arcilloso
CAM6	0-10	33,00 b	23,80 b	43,20 a	Arcilloso
BOSQ7	0-10	59,00 a	19,00 b	22,00 d	Franco-areno-arcilloso
CAF1	10-30	34,00 b	29,40 a	36,60 c	Franco-arcilloso
CAF2	10-30	40,80 b	23,80 a	35,40 c	Franco-arcilloso
CAF3	10-30	36,00 b	22,80 a	41,20 b	Arcilloso
CAF4	10-30	59,60 a	26,20 a	14,20 d	Franco-arenoso
CAM5	10-30	29,60 b	23,00 a	47,40 b	Arcilloso
CAM6	10-30	28,40 b	21,80 a	49,80 a	Arcilloso
BOSQ7	10-30	62,00 a	21,00 a	17,00 d	Franco-arenoso

\* = Significación por Tukey; ns = No significativo

La suma del porcentaje de partículas dio como clase textural en la primera profundidad en su mayoría como franco arcillo (CAF1, CAF3 y CAM5), luego franco areno arcillo (CAF2 y BOSQ7), seguido por arcilloso (CAM6) y por ultimo franco arenoso (CAF4); en el profundidad 10-30 cm la mayoría de los tratamientos presento clases texturales como arcilloso (CAF3, CAM5 y CAM6) seguido de franco arcilloso (CAF1 y CAF2) y por ultimo al igual que el grupo anterior con dos tratamientos franco arenoso (CAF4 y BOSQ7) (**Tabla 3**); tales clases texturales fueron encontrados en un estudio realizado por Bravo *et al.*, (2015), en plantaciones de cacao y bosque de la Amazonia Ecuatoriana.

En los suelos estudiados predominan los suelos con partículas finas como es limo y arcilla. Pla, (2010) menciona que en estos suelos se puede presentar de manera más rápida procesos de degradación como erosión, compactación, entre otros. Por lo tanto se sugiere que exista la mayor cantidad de cobertura vegetal como el bosque para así proteger los suelos y no permitir que pierda su fertilidad en corto plazo, los sistemas agroforestales es uno de los más similares que ayudan a la protección del suelo (Bravo *et al.*, 2015). En la **Tabla 4** se visualiza los resultados de los análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros físicos (Densidad aparente, Da; conductividad hidráulica saturada,  $K_{sat}$ ; porosidad total, Pt; porosidad de aireación, Pa; porosidad de retención, Pr) del suelo, a tres profundidades (0-10cm, 10-20 cm y 20-30cm) para los distintos usos de la tierra evaluados. En general, la Da, Pt, Pa y Pr mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) en las tres profundidades, mientras que la  $K_{sat}$  no fue afectada significativamente a ninguna profundidad.

**Tabla 4.** Análisis de varianza de la interacción tratamiento-profundidad sobre las propiedades físicas del suelo en bosque primario, sistemas agroforestales y monocultivo de cacao del cantón Arosemena Tola.

<b>Variables</b>	<b>0-10cm</b>	<b>10-20cm</b>	<b>20-30cm</b>
<b>Da, Mg m<sup>-3</sup></b>	*	*	*
<b>K<sub>sat</sub>, cm h<sup>-1</sup></b>	Ns	Ns	Ns
<b>Pt, %</b>	*	*	*
<b>Pa, %</b>	*	Ns	*
<b>Pr, %</b>	*	*	*

\*=Significación por Tukey  $P \leq 0,05$ ; ns = No significativo

### Densidad aparente (Da)

La densidad aparente (Da) es definida como la masa de tierra seca que ocupa un volumen específico en la superficie del suelo, que incluye los espacios porosos y las partículas y se expresa en  $\text{Mg m}^{-3}$  (Pla, 2010); dicha variable es afectada cuando existe cambio en la estructura, y a la vez es usado como indicador para describir la compactación que existe en un suelo determinado y la resistencia que genera en el desarrollo de las raíces (Bravo *et al.*, 2008). Cuando existe valores altos de densidad no permite la conducción del agua ni de aire por los perfiles (Arskead *et al.*, 1996).

Los valores promedios en función del uso de la tierra para las profundidades consideradas se muestran en la **Tabla 5**. Se puede apreciar que para todas las profundidades se presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ). Para la primera (0-10 cm) profundidad el orden fue CAF1 > CAF2 > CAM6 > CAF3 > CAM5 > CAF4 > BOSQ7, en la segunda (10-20 cm) CAF1 > CAF2 > CAF3 > CAM6 > CAM5 > CAF4 > BOSQ7 y en la tercera profundidad (20-30 cm). CAM6 > CAF2 > CAF3 > CAF1 > CAM5 > CAF4 > BOSQ7. A pesar de tales diferencias en todos los tratamientos la Da estuvo por debajo del valor crítico ( $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$ ) sugerido para las clases texturales finas (Pla, 1983). En todos los casos el uso de la tierra con bosque presentó los valores menores y en general un mayor contenido de materia orgánica se tradujo en menores valores de densidad aparente.



**Tabla 5.** Valores promedio de propiedades físicas del suelo bajo diferentes usos de la tierra a los 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm de profundidad en el cantón Arosemena Tola, provincia de Napo.

<b>Variables Tratamiento</b>	<b>Da Mg m<sup>3</sup></b>	<b>K<sub>sat</sub> cm h<sup>-1</sup></b>	<b>Pt %</b>	<b>Pa %</b>	<b>Pr %</b>
<b>Profundidad 0-10 cm</b>					
<b>CAF1</b>	0,87 a	30,82 b	68,09 c	12,03 c	56,05 c
<b>CAF2</b>	0,78 a	73,77 a	70,61 c	14,35 b	56,26 c
<b>CAF3</b>	0,70 b	21,33 a	73,48 c	17,95 a	55,53 c
<b>CAF4</b>	0,36 d	26,74 b	88,19 a	14,09 b	74,09 a
<b>CAM5</b>	0,57 c	37,22 b	77,40 b	17,42 a	59,98 b
<b>CAM6</b>	0,75 b	24,23 b	76,98 b	11,67 c	65,31 b
<b>BOSQ7</b>	0,34 d	49,74 a	86,77 a	18,77 a	68,00 a
<b>Profundidad 10-20 cm</b>					
<b>CAF1</b>	0,93 a	7,01 c	65,65 c	8,53 b	57,12 b
<b>CAF2</b>	0,90 a	32,41 b	65,75 c	9,78 b	55,97 c
<b>CAF3</b>	0,85 b	43,77 b	66,51 c	12,34 a	54,17 c
<b>CAF4</b>	0,39 c	32,22 b	81,41 a	10,65 b	70,76 a
<b>CAM5</b>	0,73 b	62,09 a	69,14 b	11,85 a	57,29 b
<b>CAM6</b>	0,82 b	0,43 c	72,91 b	9,22 b	63,69 a
<b>BOSQ7</b>	0,35 c	46,44 a	83,53 a	15,11 a	68,42 a
<b>Profundidad 20-30 cm</b>					
<b>CAF1</b>	0,99 b	1,69 b	66,98 b	6,70 b	60,28 c
<b>CAF2</b>	1,06 a	15,37 b	61,60 b	5,88 b	55,72 c
<b>CAF3</b>	1,02 b	1,21 b	63,67 b	5,86 b	57,81 c
<b>CAF4</b>	0,45 c	4,97 b	84,99 a	8,11 a	76,87 a
<b>CAM5</b>	0,87 b	0,99 b	67,92 b	6,84 b	61,08 c
<b>CAM6</b>	1,07 a	2,59 b	69,38 b	5,68 b	63,70 b
<b>BOSQ7</b>	0,44 c	25,51 a	83,14 a	12,31 a	70,83 b

Las letras diferentes en columna, representan diferencias significativas ( $P > 0,05$ ); **CAF1**: Cacao agroforestal tratamiento 1; **CAF2**: Cacao agroforestal tratamiento 2; **CAF3**: Cacao agroforestal tratamiento 3; **CAF4**: Cacao agroforestal tratamiento 4; **CAM5**: Cacao monocultivo tratamiento 5; **CAM6**: Cacao monocultivo tratamiento 6; **BOSQ7**: Bosque intervenido tratamiento; \* Las letras diferentes significa diferencia entre tratamientos a un nivel de  $P \leq 0,05$ .

Los resultados muestra que la densidad aparente en la profundidad 0-10 cm y en todos los tratamientos mantiene un valor menor a las demás profundidades (10-20cm y 20-30cm); lo cual se debe a que la ( $D_a$ ) tiene una relación estrecha con la materia orgánica, esta es mucho mayor en el horizonte superficial (Hernández *et al.*, 2013).

Si bien, se podría esperar que la ( $D_a$ ) en los sistemas agroforestales fuese menor que en aquellos sistemas manejados como monocultivo, los resultados obtenidos muestran valores muy parecidos y un patrón de comportamiento similar en todas las profundidades. En este sentido la ( $D_a$ ) se incrementa con la profundidad independiente del uso de la tierra. En estudio realizado con sistemas agroforestales con café los valores de los parámetros físicos son muy parecidos al uso de referencia (bosque), lo cual está relacionado con la gran variedad de especies y por ende la cantidad de residuos y hojarasca que se genera mejorando la macrofauna.

### **Conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ )**

La conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) se conoce como la capacidad de infiltrar y conducir el agua por los distintos medios porosos, esta variable principalmente tiene como dependencia la estructura, a la vez se involucra la temperatura y la humedad del suelo (Chirinos & Mattiazzo, 2004).

La conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) presentó diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) por tratamientos en todas las profundidades considerados con alto patrón de variabilidad. En los primero horizontes de muestreo de  $K_{sat}$  presento altos valores, los cuales disminuyen drásticamente a partir de los 10 cm, con excepción del bosque que muestra valores de conductividad más uniforme en todo el perfil

Los valores de 0-10 cm oscilan de 21,33cm h<sup>-1</sup> (CAF3) a 73,77 cm h<sup>-1</sup> (CAF2), para la profundidad 10-20 cm son de 0,43 cm h<sup>-1</sup> (CAM6) hasta 62,09 cm h<sup>-1</sup> (CAM5) y de 20-30 cm varían de 0,99 cm h<sup>-1</sup> (CAM5) a 25,51 43 cm h<sup>-1</sup> (BOSQ7). Pla, (1983) nos indica que aquellos valores de  $K_{sat}$  que se encuentran por debajo 0,5 cm h<sup>-1</sup> en profundidad de 0-30 cm, y 0,2 cm h<sup>-1</sup> en profundidad 30-

60 cm, tienen problemas con respecto a la conductividad. Como se puede apreciar en la mayoría de los tratamientos evaluados posee valores muy por encima y solo en algunos tratamientos como el CAM6 muestra valor inferior, lo cual indica una fuerte disminución en la velocidad de infiltración.

Una gran variedad de estudios han relacionado la  $K_{sat}$  con la (Da) y la porosidad de aireación del suelo (Bravo *et al.*, 2008, Lobo *et al.*, 2012, Pla, 2010). Con la (Da) existe una relación inversa a mitad que esta aumenta la  $K_{sat}$  disminuye, mientras que con la porosidad la relación es proporcional, es decir una mayor porosidad mejora la conductividad hidráulica del suelo

A la vez los sistemas agroforestales por poseer la mayor cantidad de cobertura vegetal contribuye en el aporte de materia orgánica, aumento y variedad de micrororganismos, lo cual ayuda al aumento de macroporosidad; por el contrario los valores en monocultivo son menores esto podría ser por su minoría en cobertura vegetal y eliminación permanente (Arteaga, 2009 y Cabrera & Gómez, 2009).

### **Porosidad total (Pt)**

La porosidad total se define como el volumen de espacios que no es utilizado por las partículas sólidas, es la suma total de macroporos y microporos; tiene como función ambiental de transportar, receptar y almacenar agua; a la vez desde el punto de vista agrícola, es por donde las raíces crecen y son conducidos en búsqueda de nutrientes y agua (González *et al.*, 2011).

Los análisis de la porosidad total igualmente mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) para todos los tratamientos con mayores valores en el BOSQ7 Y CAF4, con respecto a los sistemas o usos de la tierra con cacao. Para la primera profundidad (0-10 cm) el orden encontrado fue el siguiente CAF4 > BOSQ7 > CAM5 > CAM6 > CAF3 > CAF2 > CAF1; para la siguiente capa el orden fue BOSQ7 > CAF4 > CAM6 > CAM5 > CAF3 > CAF2 > CAF1, y para el tercer horizonte con el orden CAF4 > BOSQ7 > CAM6 > CAM5 > CAF1 > CAF3 > CAF2.

Pla, (2010) indica que para los lugares en donde no se controla el riego es importante que el %Pt este por encima del 35% para suelos de textura fina. Pla, 2010 señala que la (Pt) mantiene una relación directa con la (Da) y la vez es muy importante porque esta permite el suministro de agua y oxígeno para que se desarrolle de mejor manera las plantas y también para que la actividad de los organismos vivos del suelo aumente. La disminución de este parámetro hace que la (Da) aumente, la resistencia a la penetración sea mayor y la capacidad de retener humedad sea muy baja. Los valores obtenidos en todos los tratamientos reflejan que la profundidad más a la superficie posee los promedios más elevados a las demás profundidades, es posible esto por la mayor cantidad materia orgánica que se encuentra en las primeras capas de suelo; el uso con bosque mantiene una Pt alta con respecto a los suelos bajo cultivo. Noguera & Vélez L, (2011) menciona que esto es posible ya que poseen mayor cobertura vegetal con especies arbóreas, arbustivas y herbáceas, esto permite que sea mayor la capa de material orgánico la cual permite que exista un aumento de los poros.

En el caso de los suelos con cacao agroforestal y monocultivo los resultados estuvieron por debajo del valor de bosque. Al respecto Ordoñez *et al.*, (1992) señala que al realizar el cambio de bosque a cultivos hace que la Pt disminuya por la pérdida de cobertura vegetal y capa de materia orgánica. Esto concuerda con un estudio realizado por Aguirre *et al.*, (2010) donde se presentó porcentajes altos de Pt, dado esto posible por la alta cantidad de biomasa que genera los bosques, la actividad de microorganismo y también el alto contenido de materia orgánica. Desde el punto de vista ambiental la cobertura de residuos acumulado no permite que la erosión hídrica ocurra, por ende reduce la posibilidad de que exista encharcamiento y escorrentías y a la vez da más tiempo para que el agua se pueda infiltrar en el suelo (Pla, 1990).

### **Porosidad de aireación (Pa)**

La porosidad de aireación también conocida como el porcentaje de macroporos los cuales son poros de tamaño grande que puede ser generado de manera antrópica (labranza) o natural como grietas y espacios generado en el suelo por actividad microbiana. Dicha (Pa) tiene dependencia del clima y residuos

vegetales que son acumulados en la capa superficial; esta especialmente tiene la función de conducir el agua a suelos más profundos, por la cadena de poros que tiene. (Pires *et al.*, 2008). Un adecuado porcentaje de (Pa) no permite que se formen encharcamientos de agua, ni que exista escorrentía.

La porosidad de aireación (**Tabla 5**), presento diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre tratamientos para las tres profundidades consideradas. De 0-10 cm mantiene el orden BOSQ7 > CAF3 > CAM5 > CAF2 > CAF4 > CAF1 > CAM6, de 10-20 cm BOSQ7 > CAF3 > CAM5 > CAF4 > CAF2 > CAM6 > CAF1 y 20-30 cm BOSQ7 > CAF4 > CAM5 > CAF1 > CAF2 > CAF3 > CAM6.

Independientemente de los tratamientos la porosidad de aireación es mayor en el horizonte superficial (0-10 cm) y va disminuyendo con la profundidad alcanzando niveles por debajo del valor crítico de 10% (Pla, 2010) a partir de los 20 cm, con excepción del bosque el cual presento una porosidad uniforme en el perfil.

Considerando la característica climáticos de la zona con alta precipitación, los valores obtenidos indican una alta captación y velocidad de infiltración del agua hasta los primeros 20 cm, sin embargo, la velocidad de avance del frente de humedecimiento disminuye grandemente en el intervalo de 20-30 cm lo cual dependiendo de la topografía puede generar problemas de encharcamiento en zonas planas y de escorrentías en áreas de pendiente. Esta situación es especialmente importante en la zona amazónica donde se ha generado una estratificación del perfil del suelo provocada por el uso histórico del manejo con bosque (Bravo *et al.*, 2015).

Los altos porcentajes de porosidad en el bosque es claramente posible por la alta cantidad de biomasa (hojarasca, residuos vegetales, etc.) que genera la variedad de especies arbóreas, arbustivas y gramíneas lo cual se acumula en la superficie del suelo y a la vez la actividad de fauna; el caso del monocultivo y agroforestal presenta porcentajes menores que el bosque esto se da por la baja cantidad de biomasa que aporta los cultivos, provocando un bajo porcentaje de (Pa).

### **Porosidad de retención (Pr)**

Donoso, (1992) menciona que la porosidad de retención (Pr) es el espacio que no se encuentra ocupando por ningún tipo de sólido; cuando los suelos son secos estos se encuentran con aire y en condiciones de altas precipitaciones llenas de agua. En la generación de (Pr) se involucra la materia orgánica, textura del suelo y estructura. Los microporos son de gran importancia ya que esta permite la acumulación de agua en el suelo para que las raíces de las plantas puedan utilizar (Donoso, 1992).

Los resultados de la microporosidad (Pr) cuya función principal es la de retención del agua en el suelo, presento un comportamiento estadísticamente similar que el resto de las variables físicas. Para la primera capa (0-10 cm) el orden obtenido fue: CAF4 > BOSQ7 > CAM6 > CAM5 > CAF2 > CAF1 > CAF3, en la segunda (10-20 cm) CAF4 > BOSQ7 > CAM6 > CAM5 > CAF1 > CAF2 > CAF3 y en la tercera (20-30 cm) tiene el siguiente orden CAF4 > BOSQ7 > CAM6 > CAM5 > CAF1 > CAF3 > CAF2 (**Tabla 5**).

De la porosidad total, la porosidad de retención es la que representa los mayores valores independientemente del uso de la tierra, e incluso incrementándose con la profundidad. Para todos los tratamientos los valores obtenidos están muy por encima del 25% valor señalado como crítico (Pla, 1983), por debajo del cual disminuye la retención de humedad.

Los resultados obtenidos están muy relacionados con las características texturales de la zona, con texturas predominantes finas y o la alta presencia de materiales de tamaño coloidal proporcionado por una alta presencia de materia orgánica sobre todo en el horizonte superficial (Bravo *et al.*, 2015). Villamil *et al.* (2006), menciona que el cambio de cobertura afecta a la porosidad de retención; esto explica los resultados menores al de bosque que presenta los suelos con uso de cacao.

### **Resistencia a la penetración –Rp (KPa)**

La resistencia a la penetración es una variable que se mide en campo para determinar el grado compactación, es importante su determinación por la relación

directa que existe con la penetración de las raíces. La compactación como proceso de degradación física también reduce el volumen de los poros y la densidad del suelo, afectando de esta manera el contenido de humedad y el intercambio de gases, a la vez impide el desarrollo de las raíces (Bravo *et al.*, 2015).

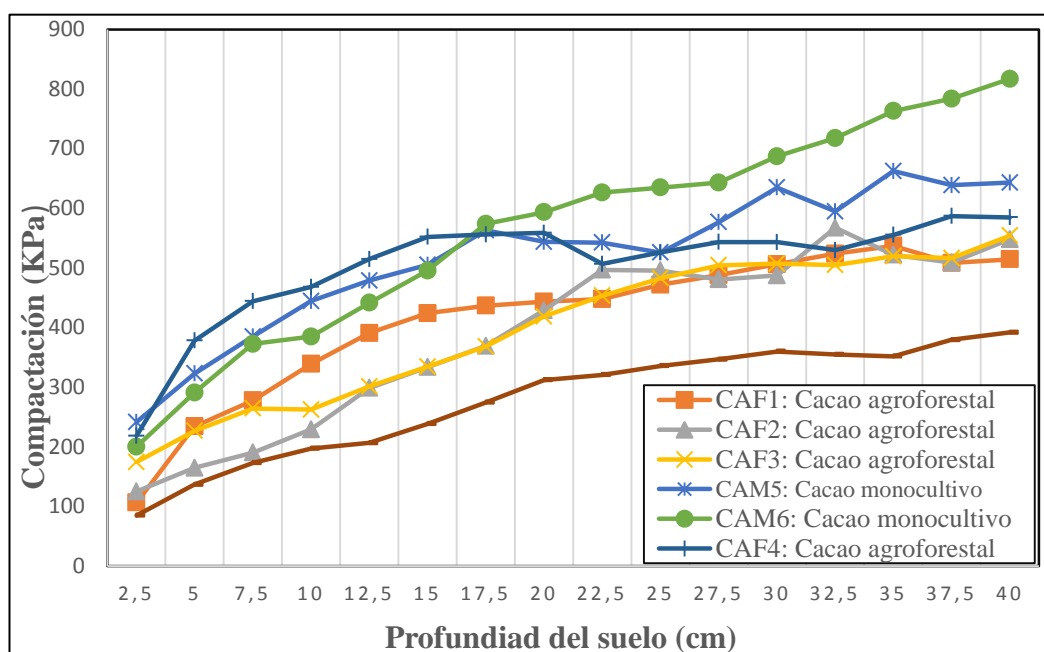
En la **Figura 5** se muestra la dinámica de la resistencia a la penetración de cada uno de los usos de tierra estudiado en distintas profundidades. En el análisis de varianza (ANOVA) realizado para la resistencia a la penetración (Rp) no presento diferencias significativas para el factor profundidad; sin embargo si hubo diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre usos de suelo. Los valores que se presentaron son las siguientes para CAFHV se observa que el valor menor es de 106,56 KPa y el valor más alto es 514,52 KPa, en el CAF2 los valores van desde 125,28 hasta 548,08 KPa, para CAF3 los resultados mantiene un rango de 174,48 a 554,36 KPa y el ultimo agroforestal CAF4 presento valores de 218,48 a 584,84 KPa

En el caso de los monocultivos el CAM5 tiene un valor menor de 241,56 KPa y alcanza un valor alto de 643,12 KPa, el CAM6 tiene un rango de 200,20 a 816,96 KPa, y finalmente el uso de referencia BOSQ7 se obtuvo un rango de 85,08 a 391,84 KPa (**Figura 5**). Dentro de ninguno de los rangos de valores obtenidos en este estudio se observó problemas de compactación ya que los resultados se encuentra por debajo del valor límite que es de 1000 KPa (Bravo, 2014). Los bajos valores de (Rp) se dan por las propiedades de estos suelos; caracterizado por la presencia de una baja densidad aparente, alto contenido de materia orgánica y presencia de microporos, que permiten una alta presencia de humedad durante todo el año y la cual es favorecido por las altas precipitaciones de la zona (Bravo, 2015).

El BOSQ7 posee los valores más bajos de resistencia a la penetración (Rp) es posible esto por su gran variedad de especies por  $m^2$  y el aporte de materia orgánica que genera al suelo; los valores de los sistemas agroforestales de cacao se mantiene por debajo de los de monocultivo y esto se da ya que los CAF tiene un ecosistema parecido al de los bosques manteniendo un manejo tipo chakra en

la que el cacao es cultivado con especies frutales, maderables, medicinales, ornamentales y artesanales (Bravo, *et al.*, 2015), tales resultados son similares a los obtenidos por Bravo *et al.* (2015) en la Amazonia Ecuatoriana

**Figura 5.** Comportamiento de la compactación del suelo a distintas profundidades y bajo diferentes usos de la tierra en el cantón Arosemena Tola, provincia de Napo.



CAF1: Cacao agroforestal tratamiento 1; CAF2: Cacao agroforestal tratamiento 2; CAF3: Cacao agroforestal tratamiento 3; CAF4: Cacao monocultivo tratamiento 4; CAM5: Cacao monocultivo tratamiento 5; CAM6: Cacao monocultivo tratamiento 6; BOSQ7: Bosque intervenido tratamiento 7; \* Las letras diferentes significa diferencia entre tratamientos a un nivel de  $P \leq 0,05$ .

## 5.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

Los parámetros químicos sirven como indicadores de la calidad química del recurso suelo relacionando con su función de proporcionar nutrientes para las plantas y la relación suelo-planta (Bautista *et al.*, 2004). Dentro de los parámetros químicos se han estudiado el pH, carbono orgánico, aluminio, magnesio, calcio, fosforo, potasio, nitrógeno, relación carbono-nitrógeno.



## IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LAS PROPIEDADES QUIMICAS

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) se muestran en la **Tabla 6**. Se puede apreciar que las variables pH, Al+H, Al, Ca, Mg y R C/N no se evidenciaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ), pero en los casos de Nt, P, K y CO si se observó diferencias significativas.

**Tabla 6.** Análisis de varianza, efecto del factor profundidad sobre las propiedades químicas del suelo en bosque primario, sistemas agroforestales y monocultivo de cacao del cantón Arosemena Tola.

Variables	Significancia $P \leq 0,05$
pH	ns
Al+H meq 100 ml	ns
Aluminio, $Al^{+3}$ meq 100 ml	ns
Nitrógeno Total, Nt %	*
Fosforo, P $mg\ kg^{-1}$	*
Potasio, K meq 100 ml	*
Calcio, Ca meq 100 ml	ns
Magnesio, Mg meq 100 ml	ns
Carbono Orgánico, CO %	*
Relación Carbono-Nitrógeno, R C/N	ns

\* = Significación por Tukey; ns = No significativo

Con respecto a la **Tabla 7** donde se observa el análisis de varianza (ANOVA) de la interacción tratamiento-profundidad, las variables como pH, Nt, P, Ca, Mg y CO muestran diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) en la profundidad 0-10 cm; mientras que Al+H, Al, K y R C/N no se presentan con diferencia significativa. En la profundidad 10-30 cm solo las variables con diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) son pH, Al+H, NT, P, K, Ca, Mg y CO.

**Tabla 7.** Análisis de varianza de la interacción tratamiento-profundidad sobre las propiedades químicas del suelo en bosque primario, sistemas agroforestales y monocultivo de cacao del cantón Arosemena Tola.

Variables	0-10 cm	10-30 cm
pH	*	*
Al+H meq 100 ml	ns	*
Aluminio, Al meq 100 ml	ns	ns
Nitrógeno Total, Nt %	*	*
Fosforo, P mg kg <sup>-1</sup>	*	*
Potasio, K meq 100 ml	ns	*
Calcio, Ca meq 100 ml	*	*
Magnesio, Mg meq 100 ml	*	*
Carbono Orgánico, CO %	*	*
Relación Carbono-Nitrógeno, R C/N	ns	ns

\* = Significación por Tukey; ns = No significativo

La siguiente **Tabla 8** presenta los promedios y diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) que existen en las variables químicas de los tratamientos CAF1, CAF2, CAF3, CAF4, CAM5, CAM6, y BOSQ7 del cantón Arosemena Tola, en profundidades de 0-10 y 10-30 cm.

### pH del suelo

El pH es uno de los parámetros que siempre se analiza en la evaluación de calidad del suelo ya que tiene mucha influencia en otras propiedades químicas, es un indicador de acidez, neutralidad y alcalinidad de gran importancia porque influye en el contenido de nutrientes del suelo, y a la vez indirecta en el desarrollo de los seres vivos como es plantas y microorganismos. Para su interpretación cuando un suelo presenta  $pH < 4$  indica presencia de ácidos libres, en el caso que exista  $pH < 5.5$  indica presencia de aluminio intercambiable y cuando se encuentra pH entre 7.8 a 8.2 existe alta presencia de  $CaCO_2$ . (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1973).

En la profundidad 0-10 cm se observó el siguiente orden CAF1 > CAM5 > CAM6 > CAF3 > CAF2 > CAF4 > BOSQ7, en la profundidad 10-30 cm se presentó el orden siguiente CAF1 > CAM5 > CAM6 > CAF2 > CAF3 > BOSQ7 > CAF4, y de igual manera con diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) (**Tabla 8**).

El pH en ambas profundidades presentó rangos categorizados como ligeramente ácidos a fuertemente ácidos, como es el caso del uso con bosque. Estos resultados reflejan la naturaleza de los suelos de la zona de la Amazonia ecuatoriana (Bravo *et al.*, 2015). Los suelos ácidos son típicos de regiones en donde la precipitación es alta y ocurre un lavado de cationes básicos ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}^{++}$ ) y por tanto prevalece las principales fuentes de acidez o cationes ácidos ( $\text{Al}^{++}$ ,  $\text{H}^+$ ), tanto en los sitios de intercambio como en la solución del suelo (Valarezo *et al.*, 1998; Casanova, 2005; Bravo *et al.*, 2015).

Se observó un ligero mejoramiento del resto de los usos CAF y CAM con respecto al bosque, sin embargo su condición sigue siendo acida. En algunos de los tratamientos posiblemente este asociado a la aplicación de algún tipo de enmienda como la cal agrícola ( $\text{CaCO}_3$ ).

#### **Acidez intercambiable (Al+H)**

La acidez intercambiable refleja al  $\text{Al}^{+3}$  y el  $\text{H}^+$  intercambiables en el suelo, estas pueden perjudicar al crecimiento de las especies vegetales. Cuando los valores de acidez intercambiable superan el 0.5 meq/100 ml algunas plantas no se desarrollan adecuadamente; en cambio cuando existe valores mayores a 1 meq/100 ml se dice que es muy alto y un Al+H que se encuentre por debajo de 0.3 meq/100 ml es lo adecuado para un buen crecimiento de las plantas (Molina, 2002).

Los valores de la variable acidez (Al+H) en la profundidad 0-10 cm mantiene promedios 2,01 a 2,95 meq 100 ml sin diferencias significativas entre tratamientos; mientras que en la segunda profundidad (10-30 cm) mantiene el siguiente orden CAM5>CAM6>CAF1>CAF3>CAF2>BOSQ7>CAF4, con diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre tratamientos (**Tabla 8**).

Molina, (2002) señala que los suelos con una acidez intercambiable moderada deben estar por debajo 0.3 meq 100 ml; los usos que presentan con valores toxico (porque se encuentra dentro del rango 0.5-1.5 meq 100 ml) son CAF4 y BOSQ7 en la profundidad 10-30 cm. Estos resultados están relacionados por la disminución de pH lo cual genera la liberación de iones ácidos (Lozano *et*

*al.*, 2009). Los iones  $H^+$  liberados en el proceso de mineralización de la materia orgánica pueden reaccionar con la estructura cristalina de las arcillas del suelo.

Esto perjudica de manera directa al desarrollo de la mayoría de las plantas Molina, (2002); sin embargo algunas especies como las de zonas tropicales pueden crecer en aquellos suelos muy tóxicos (Martin y Pérez, 2009). La gran variedad de vegetación presente en el bosque es por la existencia de muchas especies adaptadas a estas condiciones. Los rangos de acidez intercambiable encontrado en los usos de suelo estudiado son parecidos a los valores encontrado por Bravo *et al.*, (2015), en cultivos de la provincia de Napo.

### **Aluminio intercambiable ( $Al^{+3}$ )**

El aluminio es uno de los elementos químicos más abundante en la corteza terrestre, conocido por ser toxico para las plantas cuando existe condiciones de pH por debajo de 5 y especialmente cuando las concentraciones de aluminio es mayor a 1 o 2ppm (Posada & Aguilar, 2007). El aluminio es especialmente liberado por procesos naturales o antropogénicos como la agricultura; el Al se ha señalado como uno de los elementos más contaminantes del suelo, este es un indicador de contaminación ambiental (Porta *et al.*, 1999; Posada & Aguilar, 2007).

Los resultados de aluminio en la primera profundidad presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) mostrando el siguiente orden CAF1 > CAF4 > CAF2 > BOSQ7 > CAF3 > CAM6 > CAM5; con respecto a la segunda profundidad que no hubo diferencia significativa entre tratamientos manteniendo un rango de 0,36 a 0,94 meq 100 ml (**Tabla 8**).

Los valores obtenidos en la evaluación de Al se definen como suelos medio tóxicos ya que están dentro del rango 0.3-1.0 meq 100 ml y también suelos determinados como tóxicos por estar > 1.0 meq 100 ml, con respecto al contenido de aluminio (Bertsch, 1995). Los valores altos de Al se ven favorecidos por el lavado de  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  y  $K^+$  quedando claro que esto se debe a las altas precipitaciones que existe lo cual genera el lavado de aquellos nutrientes (Orozco & Thienhaus, 1997); a la vez Martin y Pérez, (2009) mencionan que es la razón

que el pH da valores que determinan como suelos ácidos y que este tipo de resultados es evidente que ocurra en la Amazonia ecuatoriana.

El aluminio en la solución del suelo es un factor impactante dado el carácter toxico de este elemento para las plantas, sin embargo los valores obtenidos no reflejan altas concentraciones para los cultivos. También se ha demostrado que la concentración de  $Al^{+++}$  en la solución del suelo también depende del contenido de la materia orgánica. Por tanto, a mayor contenido de MO existe menor contenido de  $Al^{+3}$  para su mismo nivel de pH ya que la materia orgánica retiene fuertemente el catión en forma de complejos orgánicos que no permiten su fácil liberación a la solución del suelo (Casanova, 2005).

### **Nitrógeno total (Nt)**

El nitrógeno (N) es indispensable en la nutrición de los seres vivos, también muy importante en las plantas por tal razón es clasificado como macronutriente. Dentro de la agricultura el nitrógeno es considerado como el más influyente en el buen desarrollo de especies vegetales; una de las reservas más importantes para flora es la que se encuentra en la materia orgánica. (Díaz, 1992; Acevedo *et al.*, 2011).

En la **Tabla 8** se presenta los resultados de nitrógeno total (Nt) en la que se observa que existen diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre tratamientos para ambas profundidades. De 0-10 cm el Nt presento el siguiente orden: BOSQ7 > CAF4 > CAM5 > CAM6 > CAF3 > CAF2 > CAF1 y de 10-30 cm fue: BOSQ7 > CAF4 > CAM6 > CAM5 > CAF3 > CAF2 > CAF1.

Chang, (1991) y Graetz, (2000) menciona que la presencia de N principalmente se da por la existencia de la materia orgánica la cual es descompuesta por macro y microorganismos. Ormeño & Zambrano, (2011) también reportaron mayores valores donde hubo mayor diversidad de especies vegetales.

Los suelos evaluados se caracterizaron por poseer un porcentaje de contenido de nitrógeno medio, ya que se encuentra dentro del rango 0.2 – 0.8 %

(Bertsch, 1995). Es notorio también que existe un cambio en el contenido de nitrógeno al momento de realizar un cambio de uso del suelo, como es en este caso de bosque a monocultivo o agroforestal de cacao. Dicho cambio también ha sido reportado por Bravo *et al.*, (2015) en estudio realizado en la Amazonia Ecuatoriana, quien destaca que en la medida que se incrementa el contenido de carbono se incrementa el contenido de nitrógeno, indistintamente del uso de la tierra.

En esta investigación también mostró mayor porcentaje de nitrógeno total en las primeras profundidades lo cual está asociado a la mayor concentración de materia orgánica; por el contrario en el segundo horizonte se observó menor concentración Nt; coinciden estos resultados con lo realizado por Acevedo *et al.*, (2011).

Los valores más altos de contenido de nitrógeno total fueron encontrados en el uso con bosque, seguido de los usos de los manejos con cacao agroforestal y monocultivos con resultados muy variados y sin un patrón definido. Por el contrario, en algunos usos con manejo agroforestal presenta valores muy parecidos con un nitrógeno total y menor que el cacao monocultivo. En estos suelos el manejo histórico ha sido bajo bosque con lo cual los valores de Nt no necesariamente están definidos por la presencia de árboles en el sistema sino por la reserva de materia orgánica en el suelo.

Se ha señalado que el balance de Nt en el suelo depende del ecosistema bajo estudio (Casanova, 2005). En este sentido se reporta que en sistemas agroforestales con cacao las mayores reservas están en el suelo, y la hojarasca de los árboles de sombra proporcionaron en promedio de 37 Kg de N/ha/año, concluyendo que el sistema puede compensar ampliamente la salida de N por cosecha (Casanova, 2005).

**Tabla 8.** Valores promedio de propiedades químicas, del suelo bajo diferentes usos de la tierra a los 0-10 y 10-30 cm de profundidad en el cantón Arosemena Tola, Provincia de Pastaza.

Tratamiento	pH	Al+H meq 100g	Al meq 100 ml	NT %	P mg kg <sup>-1</sup>	K meq 100ml	Ca meq 100ml	Mg meq 100ml	CO %	R C/N
<b>Profundidad 0-10 cm</b>										
CAF1	5,68 a	2,95 a	1,14 a	0,24 d	3,63 b	0,18 b	11,07 a	2,75 a	2,08 c	8,42 a
CAF2	5,13 b	2,01 a	0,80 a	0,27 d	7,57 a	0,15 b	3,69 c	1,00 b	2,80 c	10,40 a
CAF3	5,21 b	2,19 a	0,56 b	0,29 c	7,04 a	0,18 b	4,67 b	1,16 b	2,76 c	9,51 a
CAF4	5,01 b	2,17 a	1,04 a	0,88 b	4,32 b	0,19 a	1,89 c	0,58 b	8,60 a	9,68 a
CAM5	5,48 a	3,04 a	0,37 b	0,40 c	4,37 b	0,25 a	10,54 b	1,76 b	3,84 b	9,50 a
CAM6	5,28 b	2,26 a	0,56 b	0,29 c	6,68 a	0,33 a	4,15 c	1,15 b	3,06 b	10,58 a
BOSQ7	4,46 c	2,18 a	0,77 a	1,04 a	4,56 a	0,18 b	2,83 c	0,68 b	9,60 a	9,23 a
<b>Profundidad 10-30 cm</b>										
CAF1	5,71 a	3,68 c	0,94 a	0,14 c	1,63 b	0,09 c	9,29 a	2,21 a	1,22 c	8,77 a
CAF2	5,32 a	2,36 c	0,64 a	0,15 c	3,83 a	0,08 c	2,25 c	0,64 c	1,16 c	7,72 a
CAF3	5,27 a	3,06 c	0,77 a	0,17 c	3,67 a	0,10 b	3,08 b	0,76 b	1,48 c	8,71 a
CAF4	5,14 b	0,78 d	0,36 a	0,48 b	1,09 b	0,06 c	1,39 c	0,41 c	4,70 b	9,88 a
CAM5	5,65 a	8,13 a	0,94 a	0,19 c	2,27 a	0,15 b	7,62 b	1,84 a	1,52 c	7,90 a
CAM6	5,51 a	4,86 b	0,83 a	0,20 c	3,76 a	0,28 a	2,48 c	0,90 b	1,70 c	8,63 a
BOSQ7	5,21 a	1,06 d	0,48 a	0,68 a	1,88 b	0,08 c	1,60 c	0,48 c	6,49 a	9,49 a

CAF1: Cacao agroforestal tratamiento 1; CAF2: Cacao agroforestal tratamiento 2; CAF3: Cacao agroforestal tratamiento 3; CAF4: Cacao agroforestal tratamiento 4; CAM5: Cacao monocultivo tratamiento 5; CAM6: Cacao monocultivo tratamiento 6; BOSQ7: Bosque intervenido tratamiento 7; \* Las letras diferentes significa diferencia entre tratamientos a un nivel de  $P \leq 0,05$ .

## Carbono orgánico (CO)

El carbono orgánico se conoce como la cantidad de residuos acumulados en el suelo, generado especialmente por la descomposición de restos vegetales y animales. Dicha variable constituye uno de los principales parámetros que afecta directamente a las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Martínez *et al.*, 2008). Las plantas son la principal fuente de materia orgánica, ya que parte de sus hojas, tallos, flores, frutos y generalmente todo el sistema radicular, se queda en el suelo cuando el cultivo es cosechado (Casanova, 2005). Una vez oxidada, lo que queda de la materia orgánica ha sido definida como “Humus” que es un material oscuro, heterogéneo y coloidal y es el responsable de gran parte de la capacidad de intercambio de los suelos.

Los valores de Carbono orgánico (CO) mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) para ambas profundidades, exhibiendo el siguiente orden: para 0-10 cm BOSQ7 > CAF4 > CAM5 > CAM6 > CAF2 > CAF3 > CAF1 y de 10-30 cm BOSQ7 > CAF4 > CAM6 > CAM5 > CAF3 > CAF1 > CAF2 (**Tabla 8**).

El contenido de carbono orgánico se registra como medio ya que se encuentra dentro del rango 1,6–2,6 % y alto porque está por encima de 2,6 % de CO; el único que se registró con un valor muy alto de porcentaje de CO es el BOSQ7 (Sinchi, 2010), el resultado obtenido en el bosque respaldado McVay & Rice, (2002) que menciona que los valores oscilan entre 1 y 20 % de CO.

Es claro observar que existe una disminución considerable del % CO en los suelos cuando existe un cambio de uso, bien sea a CAF o CAM. Arrouays y Pellisier, (1994) considera que al momento de realizar tala en los bosques e introducir cultivos hace que el porcentaje de carbono orgánico disminuya. A la vez se presentó mayor porcentaje de CO en las primeras profundidades de todos los tratamientos, esto claramente es porque la descomposición de los residuos se realiza principalmente en los primeros centímetros del suelo (Briceño, 2002). Una de las primeras



consideraciones sobre la determinación de la MO en el perfil del suelo, es que su contenido generalmente es mayor en el horizonte superficial que a mayores profundidades, lo cual es debido a que los residuos orgánicos son incorporados o depositados sobre la superficie del suelo

### **Relación carbono-nitrógeno (R C/N)**

La relación C/N indica la capacidad de transformar la materia orgánica (MO) en nitrógeno mineral (Enríquez, 1985). Con respecto a la relación carbono-nitrógeno de la **Tabla 8** se presenció que no existe diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre tratamientos en ninguna de las dos profundidades, los valores de 0-10 cm se encuentra entre 8,42 y 10,58 en el profundidad 10-30 cm va desde 7,72 a 0,88. De acuerdo a los rangos establecidos por Enríquez, (1985) para la interpretación de R C/N, los valores de 0-10 cm encontrados se interpretan en su mayoría como altos, al igual que BOSQ7 y CAF4 de la segunda profundidad, con respecto a la profundidad 10-30 cm todos los demás se ubican como bajos.

Cuando la relación C/N es menor de 10 existe una liberación excesiva de N y por encima de 12 la liberación es lenta (Serrano *et al.*, 2010). Como se puede apreciar en todos los tratamientos estudiados existen valores que infieren en una alta liberación de este elemento, lo cual significa en términos prácticos que no constituye una limitación para el desarrollo de los cultivos. Todo ello, está muy asociado a la presencia de un alto contenido de MO, en estas condiciones.

### **Fosforo disponible (P)**

El fosforo es conocido por ser un elemento esencial en la nutrición de las plantas, se encuentra en el suelo en componentes minerales y orgánicos, sin embargo las especies vegetales necesitan en grandes cantidades para cumplir su ciclo de desarrollo y producción (Lozano *et al.*, 2010). Las fuentes más importantes de P en el suelo son los minerales, la materia orgánica, los fertilizantes, los residuos vegetales y animales (Casanova, 2005).

El contenido de fósforo disponible bajo distintos usos y profundidades consideradas se muestra en la **Tabla 8** se puede apreciar diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre tratamientos para ambas profundidades. Para el horizonte superficial el orden obtenido fue: CAF2 > CAF3 > CAM6 > BOSQ7 > CAM5 > CAF4 > CAF1, mientras que en el segundo intervalo de muestreo con el orden CAF2 > CAM6 > CAF3 > CAM5 > BOSQ7 > CAF1 > CAF4.

La disponibilidad de P en todos los usos evaluados presenta niveles menores de  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  para ambas profundidades. Independientemente del uso de la tierra dichos valores son considerados bajos, y el poco fósforo orgánico liberado está siendo provechado por las plantas. Se ha señalado que en suelos ácidos la disponibilidad de fósforo (P) es normalmente bajo, lo cual está asociado a la presencia de iones de hierro (Fe) y aluminio (Al) con los cuales se forma compuestos insolubles que no son asimilables por las plantas (Lozano *et al.*, 2010).

### **Potasio disponible (K)**

El potasio es uno de los elementos más necesarios para el desarrollo de las plantas, y el cual es requerido en grandes cantidades; por eso cuando existe escasez influye en el desarrollo y crecimiento de los cultivos y a la vez son más sensibles a la afección por enfermedades (INPOFOS, 1994). Este elemento es absorbido por las plantas en forma de cationes ( $\text{K}^+$ ) y su principal fuente en los suelos son los minerales primarios como las micas y los feldespatos potásicos (Casanova, 2005).

Los niveles de potasio presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) en ambas profundidades. Para el intervalo de 0-10 cm el orden obtenido fue: CAM6 > CAM5 > CAF4 > BOSQ7 > CAF3 > CAF2 > CAF1, mientras que de 10-30 cm presentó el siguiente orden: CAM6 > CAM5 > CAF3 > CAF1 > CAF2 > BOSQ7 > CAF4.

La mayoría de aquellos suelos se presentaron dentro de un rango bajo de potasio ya que se encuentran por debajo de  $< 0,20 \text{ meq } 100 \text{ ml}$ , otros tratamientos como el CAM5 Y CAM6 se presentaron dentro del rango de  $0,20-0,38 \text{ meq } 100 \text{ ml}$  lo

cual se expresa con un nivel medio de K (Bertsch, 1995). Padilla, (2004) menciona que en suelos ácidos y ligeramente ácidos (pH 5,1 a 5,9) los niveles de K tienden a disminuir. Al respecto, se ha indicado que por las características de la zona con altas precipitaciones ha ocurrido un lavado de los principales cationes ( $K^+$ ,  $Ca^{++}$ , y  $Mg^{++}$ ) que hace que predominen en la fracción de intercambio otro tipo de iones como hierro, aluminio (Bravo, 2015). Por ello normalmente indistintamente de los tratamientos las concentraciones de  $K^+$  tienden a estar en niveles bajo, lo cual se agudiza con la profundidad.

### **Calcio disponible (Ca)**

El calcio es uno de los elementos importantes para las plantas, la distribución en el suelo es muy variado, sin embargo la disponibilidad de esta es apto para satisfacer a los cultivos, hasta en suelo ácidos la cantidad de Ca es lo suficiente para un buen desempeño de los cultivos. El calcio es un elemento que participa en los procesos metabólicos para la absorción de nutrientes, ayuda a ser más tolerante a los cambios de temperatura, al fortalecimiento de las paredes celulares; la baja presencia de calcio afecta en la calidad de los frutos. (Monge *et al.*, 1994).

Los valores de calcio (Ca) mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) para ambas profundidades y a la vez presento el mismo en las dos capas, exhibiendo el siguiente orden: CAF1>CAM5>CAF3>CAM6>CAF2>BOSQ7>CAF4 (**Tabla 8**).

Los valores obtenidos en los distintos tratamientos categorizaron con un contenido de calcio medio (2,0-5,0 meq 100 ml) y alto ( $> 5.0$  meq 100 ml) (Bertsch, 1995). CAF4 Y BOSQ7 son los tratamientos con menor valor de Ca. Bustamante *et al.*, (1993) reporto en los bosques de la amazonia cantidades bajas de calcio; esto es posible por las altas precipitaciones que existe lo cual genera lavado de las bases intercambiales como es en este caso el calcio (Custode y Sourdat, 1986).

La variabilidad del calcio en los cultivos de cacao agroforestal y monocultivo se da por los distintos manejos que realizan cada uno de los productores, en la que

incorporan abonos orgánicos e inorgánicos; López *et al.* (2007) realizó una experimentación en la que se incorporó los abonos mencionados anteriormente y como resultado se obtuvo niveles altos de Ca al igual que otros nutrientes.

### **Magnesio disponible (Mg)**

Magnesio (Mg) elemento esencial para que se cumpla el proceso fotosintético, formación de clorofila, entre otros; la deficiencia de Mg afecta en el crecimiento de las especies vegetales y su rendimiento en generar frutos. La deficiencia de Mg se puede observar cuando existe una coloración amarillenta en las hojas. (Foth, 1986). Este elemento al igual que el  $\text{Ca}^{++}$  es absorbido por las plantas como catión divalente y es el único mineral que forma parte de la molécula de clorofila, por lo que la diferencia de  $\text{Mg}^+$  afecta el proceso fotosintético (Casanova, 2005). Los valores de magnesio (Mg) mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) para ambas profundidades, exhibiendo el siguiente orden: para 0-10 cm CAF1 > CAM5 > CAF3 > CAM6 > CAF2 > BOSQ7 > CAF4 y de 10-30 cm CAF1 > CAM5 > CAM6 > CAF3 > CAF2 > BOSQ7 > CAF4 (**Tabla 8**).

Los disponibilidad de magnesio (Mg) encontrado en la presente investigación se clasifico dentro de un rango medio (0,5 a 1,5 meq 100 ml); uno de los tratamientos muy diferentes a los demás es CAF1 que se encuentra con un valor de 2,75 meq 100 ml en la primera profundidad y 2,21 meq 100 ml en la segunda, posicionándose de esta manera con una valor alto de magnesio, por estar por encima de 1.5 meq 100 ml (>1.5 meq 100 ml) (Bertsch, 1995).

López *et al.*, (2007) y Orozco & Thienhaus, (1997) menciona que la incorporación de fertilizantes (orgánicos e inorgánicos) en cultivos de cacao puede incrementar los nutrientes (Ca, P, Mg, K), tal caso sucede en las parcelas estudiadas con cultivo de cacao en la que se encontrado valores superiores de Mg. El uso con bosque mostró valores bajos, lo cual es común en los bosques tropicales (Jiménez *et al.*, 2007), por que las altas precipitaciones hacen un lavado de las bases cambiables como el magnesio (Custode y Sourdat, 1986).

### 5.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS

Al referirse a los parámetros biológicos se habla de la variedad de microorganismo que se desarrollan en el suelo y todos los subproductos relacionado, todos ellos ayudan generan mejores condiciones del suelo (Karlen *et al.*, 1997); en este estudio se analizó las variables como respiración basal, respiración edáfica, numero de lombrices, y biomasa-hojarasca, los resultados se presenta en las siguientes tablas.

#### IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS

Dentro de los resultados obtenidos en el análisis de varianza (ANOVA) se verifico que los parámetros biológicos no tienen diferencia significativa ( $P \leq 0,05$ ). A la vez en la **Tabla 9** podemos observar los resultados promedio de las propiedades biológicas con respecto a cada uno de los tratamientos y su diferencia significativa entre usos de suelo.

#### Número de lombrices

El número de lombrices es un indicador utilizado por los investigadores para determinar la calidad de un suelo, ya que esta ayuda al proceso de aireación, la remoción e incorporación de nutrientes; la disponibilidad de las lombrices puede ser afectada por condiciones de compactación (condiciones físicas), contenido de nutrientes y también la temperatura; estos microorganismos ayudan a mejorar las condiciones químicas, físicas y a la vez interfiere en la actividad microbiana (Fragoso, 2001).

Los valores de número de lombrices mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) exhibiendo el siguiente orden: CAF3>CAF2>CAF1>BOSQ7>CAM5>CAF4>CAM6. (**Tabla 9**).

**Tabla 9.** Valores promedio de propiedades biológicas del suelo bajo diferentes usos de la tierra en el cantón Arosemena Tola, Provincia de Pastaza.

Tratamientos	Numero de lombrices m <sup>2</sup>	Respiración edáfica mgCO <sub>2</sub> *día <sup>-1</sup> *Ha <sup>-1</sup>	Biomasa hojarasca kg/ha	Respiración basal-RB mgCO <sub>2</sub> *Kg <sub>1</sub> suelo*d <sup>-1</sup>	
				0-10cm	10-30cm
CAF1	55,20 a	214,05 a	4079,68 b	156,25 b	85,78 a
CAF2	59,20 a	216,27 a	5736,56 a	174,63 a	76,59 b
CAF3	120,00 a	155,12 c	4780,48 a	189,95 a	108,76 a
CAF4	5,60 b	296,33 a	4660,40 a	44,42 c	44,42 b
CAM5	16,80 b	187,92 b	4176,64 b	211,39 a	93,44 a
CAM6	0,00 b	233,07 a	0,00 b	134,80 b	61,27 b
BOSQ7	54,40 a	289,10 a	5891,36 a	39,83 c	52,08 b

**CAF1:** Cacao agroforestal tratamiento 1; **CAF2:** Cacao agroforestal tratamiento 3; **CAF3:** Cacao agroforestal tratamiento 3; **CAF4:** Cacao agroforestal tratamiento 4; **CAM5:** Cacao monocultivo tratamiento 5; **CAM6:** Cacao monocultivo tratamiento 6; **BOS7:** Bosque intervenido tratamiento 7; \* Las letras diferentes significa diferencia entre tratamientos a un nivel de P≤0,05.

Eduards, (1983), menciona que los sistemas agrícolas que posean 100 lombrices/m<sup>2</sup> se determinan como una población adecuada en los cultivos, de acuerdo aquello se podría decir que los sistemas agroforestales están más cerca a la población ideal. Estadísticamente los resultados expresan que los sistemas agroforestales (CAF) de cacao y bosque (BOSQ7) son diferentes a los monocultivos (**Tabla 9**); los sistemas agroforestales por poseer una dinámica parecida al del bosque (BOSQ7) en su estructura vegetal, tienen a tener casi las mismas características de suelo (Bravo *et al.*, 2015). Una alta población de lombrices por m<sup>2</sup> nos dice que existe una buena actividad biológica, fertilidad del suelo y buenas características físicas (Curry, 1998).

### Respiración edáfica

La respiración edáfica nos permite determinar la cantidad CO<sub>2</sub> en un área determinado, generado por la respiración radicular, de microorganismos y fauna del suelo (Bravo *et al.*, 2014; Yi *et al.*, 2007). Los resultados muestran diferencias significativas entre tratamientos mostrando el orden siguiente: CAF4 > BOSQ7 > CAM6 > CAF2 > CAM5 > CAF1 > CAF3. Como se puede apreciar el bosque y el CAF4

fueron lo que presentaron mayor actividad biológica con respecto al resto de los tratamientos sin seguir un patrón definido. Probablemente estos resultados están asociados a cambios en el contenido de humedad y del contenido de materia orgánica en las repeticiones dentro de cada tratamiento. No obstante, se puede señalar que independientemente del tratamiento debido al antecedente del manejo de estos suelos cuyo uso por muchos años ha sido con bosque lo resultados pueden considerarse **(Tabla 9)**.

En el estudio se presentó el 85 % como suelos con una actividad biológica ideal, Bravo *et al.*, (2015) obtuvo los mismo resultados en la caracterización de suelos en la Amazonia ecuatoriana, caso Pastaza y Tena.

### **Biomasa hojarasca**

La hojarasca son residuos forestales que se acumula en la superficie de los suelos, lo cual permite que exista condiciones para la actividad de los organismos; cuando se inicia el proceso de descomposición aporta nutrientes al suelo y ayuda a la fertilidad de la misma (Wang *et al.*, 2008).

Los valores de biomasa-hojasca mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ), exhibiendo el siguiente orden: BOSQ7 > CAF2 > CAF3 > CAF4 > CAM5 > CAF1 > CAM6.

Los sistemas agroforestales y bosque presentaron valores superiores al de monocultivos, con respecto a la hojarasca, de todo los suelos estudiados en un 85% presentan un alto contenido de hojarasca, al igual que los suelos estudiado en Pastaza y Napo por Bravo *et al.*, (2015); Gómez, (1992) menciona que la acumulación de la hojarasca protege al suelo del impacto de las precipitaciones y por ende de la erosión.

### **Respiración basal (Rb)**

La respiración basal es un indicador que permite estimar la actividad microbiana que existe en un suelo, restando la respiración de las raíces y macroorganismos (García y Rivero, 2008).

La **Tabla 9** con valores de respiración basal (RB) mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) en ambas profundidades, exhibiendo el siguiente orden: CAM5 > CAF3 > CAF2 > CAF1 > CAM6 > CAF4 > BOSQ7 y para 10-30cm CAF3 > CAM5 > CAF1 > CAF2 > CAM6 > BOSQ7 > CAF4.

Woods, (1997), expresa unos índices generales para las clases de respiración basal, mediante esto podemos decir que los resultados nos muestran que existe actividad microbiana entre bajo ( $< 48,77 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ suelo} \cdot \text{d}^{-1}$ ), moderado bajo ( $48,77 - 82,13 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ suelo} \cdot \text{d}^{-1}$ ), media  $82,13 - 164,27 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ suelo} \cdot \text{d}^{-1}$ ) e ideal ( $164,27 - 328,53 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ suelo} \cdot \text{d}^{-1}$ ), en la segunda profundidad los resultados van de entre bajo, moderado bajo y media. La mayor actividad microbiana fue encontrado en la primera profundidad, Breure, (2004) afirma que la actividad biológica se encuentra en su mayoría en la parte superior del suelo. La variabilidad y el alto índice encontrado de RB en los cultivos agroforestales y monocultivo de cacao puede ser por la cantidad de materia orgánica y fertilizantes químicos y orgánicos que incorporan los productores (Volk, 1994); y la baja presencias de actividad microbiana en el bosque es posible que sea por la alta acidez que estos suelos presentan (Martin y Pérez, 2009).



#### **5.4. CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y SELECCIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD.**

Para determinar la asociación entre parámetros se realizó la correlación de Spearman, los resultados se muestra positivo o negativo, en el caso de que se observe un valor negativo se dice que la disminución del valor de una variable hace que la otra aumenta o viceversa; en el caso de ser positivo se dice que el aumento de un parámetro afecta en el incremento de la otra variable comparada. En este estudio se tomó en cuenta solo los resultados que tenga una correlación  $<0.6$  para considerarlo una variable adecuada como indicador de la calidad del suelo.

En la **Tabla 10** podemos observar los resultados de las respectivas correlaciones que se realizó tomando en cuenta las variables físicas químicas y biológicas de todos los usos de suelo estudiado.

**Tabla 10.** Matriz de correlación entre los parámetros físicos (Da, K<sub>sat</sub>, Pt, Pa, Pr y TA, TL, TAr), químicos (pH, AlH, Al, Nt, P, K, Ca, Mg, CO, R C/N) y biológicos (R b, N<sup>o</sup> L, R e, B H).

Variables	Da	K <sub>sat</sub>	Pt	Pa	Pr	pH	AlH	Al	Nt	P	K	Ca	Mg	CO	R C/N	% A	% L	% Ar	R b	N L	R e	BH
Da	1																					
K <sub>sat</sub>	-,232	1																				
Pt	-,673**	,077	1																			
Pa	-,660**	,539*	,458**	1																		
Pr	-,650**	,277*	,565**	-,041	1																	
pH	,469**	-,150	-,216	-,346**	-,303*	1																
AlH	,401**	-,132	-,144	-,229	-,301*	,085	1															
Al	,055	-,030	,010	-,003	-,076	-,028	,381**	1														
Nt	-,883**	,170	,578**	,534**	,647**	-,557**	-,321*	,145	1													
P	,169	,197	-,083	,265*	-,379**	-,115	,079	,090	-,148	1												
K	,034	,042	,193	,181	-,056	,188	,062	,130	,013	,406**	1											
Ca	,179	-,042	,018	,077	-,312**	,650**	,142	-,095	-,293*	-,070	,191	1										
Mg	,273*	-,066	-,009	-,017	-,317**	,632**	,350**	-,038	-,358**	-,036	,148	,936**	1									
CO	-,864**	,180	,584**	,515**	,643**	-,526**	-,367**	,120	,973**	-,109	,060	-,301*	-,372**	1								
R C/N	-,174	,187	,244*	,188	,087	-,092	-,393**	-,151	,134	,144	,258*	-,154	-,212	,325**	1							
% A	-,609**	,152	,293*	,236*	,540**	-,586**	-,433**	-,004	,640**	-,157	-,389**	-,545**	-,576**	,620**	,152	1						
% L	,028	,052	-,003	,100	-,190	,445**	-,151	-,029	-,052	-,009	,048	,550**	,562**	-,022	-,012	-,514**	1					
% Ar	,693**	-,207	-,339**	-,331**	-,522**	,430**	,553**	,018	-,716**	,188	,425**	,323**	,353**	-,709**	-,170	-,874**	,033	1				
R b	,145	,155	-,033	,348**	-,548**	,220	,073	-,085	-,317**	,464**	,383**	,382**	,316**	-,274*	,139	-,460**	,205	,420**	1			
N L	,239	,117	-,345*	,137	-,425*	-,112	-,128	-,256	-,249	,153	-,332	-,109	-,041	-,266	-,008	-,009	-,073	,062	,228	1		
R e	-,481**	,092	,546**	,019	,560**	-,369*	-,328	,265	,581**	-,391*	-,048	-,235	-,262	,623**	,163	,436**	-,111	-,476**	-,602**	-,363*	1	
B H	-,195	,146	,039	,244	-,076	-,145	-,191	,236	,211	-,148	-,367*	,049	,003	,191	,095	,329	,029	-,437**	-,161	,201	,107	1

\*: La correlación es significativa al nivel de  $p \leq 0,05$ ; \*\*: La correlación es significativa al nivel de  $\leq 0,01$ ; **Da** ( $\text{mg m}^{-3}$ ): Densidad aparente; **K<sub>sat</sub>** ( $\text{cm h}^{-1}$ ): Conductividad hidráulica saturada; **Pt** (%): Porosidad total; **Pa** (%): Porosidad de aireación; **Pr** (%): Porosidad de retención; **pH**; **Al+H** ( $\text{meq 100 ml}$ ): Acidez intercambiable; **Al** ( $\text{meq 100 ml}$ ): Aluminio; **Nt** (%): Nitrógeno total; **P** ( $\text{mg kg}^{-1}$ ): Fósforo; **K** ( $\text{meq 100 ml}$ ): Potasio; **Ca** ( $\text{meq 100 ml}$ ): Calcio; **Mg** ( $\text{meq/100 ml}$ ): Magnesio; **CO** (%): Carbono orgánico; **R C/N**: Relación carbono-nitrógeno; **A** (%): Arena; **TL** (%): Limo; **Ar** (%): Arcilla; **Rb** ( $\text{mgCO}_2 \cdot \text{Kg}_{\text{suelo}} \cdot \text{d}^{-1}$ ): Respiración Basal; **No L** ( $\text{m}^2$ ): Numero de lombrices; **Re** ( $\text{mgCO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{Ha}^{-1}$ ): Respiración Edáfica; **BH** ( $\text{kg ha}$ ): Biomasa hojarasca.

Las variables que se estudiaron que tuvieron mayor correlación con la (Da), fueron de manera negativa la porosidad total (Pt), la porosidad de aireación (Pa), la porosidad de retención (Pr), el nitrógeno total (Nt), el carbono orgánico (CO) y el porcentaje de partículas de arena (%A); y la única que presento una correlación alta y positiva es el porcentaje de partículas de arcilla (%Ar). El alto número de parámetros que tienen correlación con la (Da) demuestra que el cambio de las condiciones de un suelo afecta a en su mayoría a la densidad (**Tabla 10**)

La presencia de alta correlación de la (Da) con las porosidades (Pt, Pa y Pr) se debe a que los cálculos que se realiza para hallar el resultado de porosidad depende de la (Da), por lo tanto cuando la porosidad tiende a disminuir la densidad aumenta y viceversa, generando mayor compactación en el suelo.

Otra de las correlaciones es (Da y nitrógeno total (Nt), aquello nos demuestra que si el (Nt) se encuentra en descenso la (Da) tiende a aumentar; el aumento de la densidad afecta a la cantidad de materia orgánica y por ende a la actividad microbiana lo cual genera una disminución de la generación de nutrientes, en este caso de nitrógeno (**Tabla 10**).

La correlación negativa (Da) y (CO) que se aprecia en este estudio también fue encontrado por Shukla *et al.*, (2006), donde notoriamente la disminución del carbono orgánico hace que la densidad aumente; es visible aquello donde los valores bajos de (CO) encontrado en los usos de suelo con cacao relacionan una densidad aparente; en cambio en el bosque se encontró mayor carbono y menor el valor de densidad (**Tabla 10**).

Existe también una correlación negativa alta de (Da) y (%A) (porcentaje de partículas de arena), donde se puede observar que la disminución de la (%A) afecta en el aumento de (Da), la explicación aquellos es porque en lugares con texturas arenosas la densidad son mayores, esta relación también fue reflejado en el estudio realizado por Chicas, *et al.*, (2014). Otra correlación que se presenta como alto es la

(Da) y (% Ar) y es el único que se presenta de manera positiva; por lo tanto nos dice que cuando el contenido de arcilla aumenta la densidad también tiende a aumentar (**Tabla 10**).

La correlación positiva de (Pr) y (Nt) nos indica claramente que cuando el nitrógeno tiende a aumentar la porosidad de retención también aumenta; eso es posible ya que el nitrógeno se encuentra en la materia orgánica y esta al aumentar genera porosidad. Se presentó también una correlación positiva entre (Pr) y (CO) (**Tabla 10**); aquello nos indica que el aumento de carbono orgánico hace que la porosidad de retención aumente, aquel resultado también es reflejado en un estudio realizado por Daza *et al.*, (2014).

El pH y magnesio (Mg) presenta correlación positiva; los suelos se clasifican como ácidos, el aumento de magnesio ayuda que el valor de pH se acerque más a neutro; Paz *et al.*, (1999) obtuvo los mismos resultados. Con respecto a la correlación presentada entre pH y (Ca) se dio de igual manera positiva, con lo cual nos indica que el aumento de calcio favorece al aumento del pH (**Tabla 10**).

La correlación de Nt y CO se presentaron positivas, con ello notamos la liberación de nitrógeno que genera la acumulación o aumento de carbono orgánico en el suelo. También se presentó correlación positiva entre Nt y %A (porcentaje de partículas de arena), esto demuestra que al aumentar los % de arena el nitrógeno presenta valores mayores. La presencia de correlación Nt y %Ar es negativa, lo cual se entiende que al ser menor el % de arcilla el nitrógeno tiende a subir y viceversa (**Tabla 10**).

La presencia de correlación fuerte y positiva entre Ca y Mg, nos indica que el aumento del calcio estará influenciado por el aumento del magnesio (**Tabla 10**). Villarreal, (2010) nos menciona que la correlación Ca/Mg es de gran importancia para las plantas ya que se debe mantener en equilibrio para que puedan asimilar fácilmente; a la vez evita que el suelo tenga un desbalance, es importante mencionar

también que K es otro de los elementos que debe tener una correlación positiva con Ca y Mg (Villarreal, 2010).

Los valores que se presentaron en el **Tabla 10** de la correlación positiva de carbono orgánico (CO) y %A, indica la alta influencia que tiene las partículas de arena en la generación de CO. A la vez se presencié una correlación positiva de CO y Re, donde se demuestra que el aumento de la actividad microbiana tiene influencia sobre el CO. Existe correlación negativa es CO/%Ar, donde manifiesta que la disminución de partículas de arcilla afecta en el aumento de carbono orgánico en el suelo

El porcentaje de arena (%A) tiene una correlación negativa clara que es %A/%Ar, claramente la presencia baja de arcilla permite que exista mayor cantidad de arena. La respiración basal tiene correlación negativa entre Rb y Re. Eso quiere decir que la disminución de la respiración edáfica que incluye microorganismos, raíces, reacciones de mineralización, etc. Permite que exista mayor respiración basal lo cual no incluye la respiración de las raíces (**Tabla 10**).

En función del grado de asociación entre las distintas variables físicas, químicas y biológicas permitió la selección de indicadores de calidad para la zona, entre ellos: Da, Pt, Pa, CO y Nt.

## 6. CONCLUSIONES

- Los valores obtenidos de propiedades físicas (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr, compactación y textura) evaluadas en los usos de suelo CAF, CAM y bosque intervenido como referencia, presentó de manera general mucha variabilidad, sin embargo no hay problemas de compactación, la porosidad se encuentra en un rango adecuado lo cual permite una buena aireación e infiltración, tales variables también demuestran que la Da es adecuado para este tipo de zona. Todo el conjunto de estas variables han permitido que exista una estructura adecuada para el desarrollo del sistema radicular y también ha permitido que el impacto en el suelo se mínimo, lo cual ha hecho que se categorice dentro de una adecuada calidad física del suelo.
- Las propiedades químicas (CO, Nt, R C/N, pH, Al+H, Al, P, K, Ca y Mg) presentaron valores no muy adecuados para el desarrollo de las plantas. Ya que son suelos ácidos, en donde la disponibilidad de nutrientes es muy baja, por lo que se concluye que la calidad química de estos suelos está muy influenciada por la génesis o su material parental.
- Dentro de las características biológicas evaluadas (Rb, Re, número de lombrices y biomasa-hojarasca) se concluyó que la actividad es muy variada sin seguir un patrón definido, sin embargo en términos de respiración edáfica el BOSQ7 y CAF4 presenta una alta calidad, y esto puede variar cuando se analiza otras variables biológicas.
- Independientemente del uso de la tierra los mejores valores de los atributos físicos, químicos y biológicos relacionados con la calidad del suelo se encuentran en primer horizonte de 0-10 cm.
- Los indicadores Da, Pt, Pa, CO y Nt son los más representativos para ser usados en estudios de calidad de suelo, en la zona de Arosemena Tola, ya que permiten diferenciar los cambios que existen al implantar sistemas agroforestales y monocultivo.

## **7. RECOMENDACIONES**

Que los usos de suelo con cacao se den bajo sistemas agroforestales, imitando lo máximo posible al bosque para que así no existan cambios drásticos en la estructura del suelo, lo cual podría generar impactos ambientales como erosión hídrica, compactación y pérdida de fertilidad.

Utilizar los resultados obtenidos en esta investigación para poder realizar la dosificación adecuada de nutrientes para fertilizar el suelo, y de esa manera obtener mejores cultivos y evitar la rápida degradación del suelo.

Se realice monitoreo de estas zonas de estudio, para que se pueda determinar el impacto en la calidad del suelo, en sistemas agroforestales y monocultivo.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, D. C., Álvarez, S. M. E., Hernández, A. E., & Améndola, M. R. (2011). Concentración de nitrógeno en el suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 325-332.
- Acuario, A., y Rafael, V. (2009). Inventario taxonómico de Drosophilidae (Diptera) en el parque nacional Yasuni, Amazonia Ecuatoriana. *Acta amazónica*, 39(3), 713-718.
- Aguirre, D. R., Ordoñez, Y. A., & Navia, J. F. (2010). Evaluación de algunas propiedades físicas en suelos con diferentes usos en sistemas productivos del Altiplano de Pasto-departamento de Nariño. Santo Domingo: XII Congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo.
- Alvarado, A., & Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 85-94.
- Alves, M. y Paz, J. (2003). Variabilidad en el pH de un suelo decapitado sometido a diferentes tratamientos de recuperación. En: IX Conferencia Española de Biometría: 3-4. La Coruña.
- Amézquita, E. y Chávez, L F. (1999). La compactación del suelo y sus efectos en la productividad de los suelos. Congreso Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José, Costa Rica.
- Amores, F., Palacios, A., Jiménez, J., & Zhang, D. (2009). Entorno ambiental, genética, atributos de calidad y singularización del cacao en el Nor Oriente de la provincia de Esmeraldas. Quevedo: INIAP.



- Andrews, S.S., & Carroll, C.R. (2001). Designing a decision tool for sustainable agroecosystem management: Soil quality assessment of a poultry litter management case study. *Ecol. Appl.* 11:1573–1585.
- Arrouays, D., Péliissier, P. (1994). Changes in carbon storage in temperate humic loamy soils after forest clearing and continuous corn cropping in France. *Plant Soil* 160. 215-223.
- Arshad, M.A. y Coen, G.M. (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American J. of Alternative Agriculture* 7: 25-31.
- Arshad, M.A., B. Lowery, and B. Grossman. (1996). Physical tests for monitoring soil quality. P. 123-142. In: J. W. Doran and A. J. Jones (eds.) *Methods for assessing Soil quality*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Asociación de municipalidades ecuatorianas. (2012). AME. Recuperado el 11-03-2015, de Cantón Carlos Julio Arosemena Tola: <http://www.ame.gob.ec/ame/index.php/component/content/article/57-mapa-cantones-del-ecuador/mapa-napo/201-canton-carlos-julio-arsemena-tola>.
- Astier, C., Maass, M. y Etchevers B. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36(5): 605-620
- Barros, O. (1981). *El cultivo de Cacao: Manual Guía de Asistencia Técnica*.
- Bautista, C. A., Etchevers, B. J., F. Del Castillo, R., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97.
- Bertsch, F. (1995). *La fertilidad de los suelos y su manejo*. San José, Costa Rica: ACCS.
- Blake, G., & Hartge, H. (1986). *Methods of soil analysis*. Part 1. Agronomy monograph. Madison, Wisconsin, EE. UU: American Society of Agronomy.

- Bravo, C., Benítez, D., Vargas, B. J., Alemán, R., Torres, B., & Marín, H. (2015). Caracterización socio-ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana: Caso Pastaza y Napo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4(1), 4 - 31.
- Bravo, M. C. A. (2015). Sustentabilidad y calidad del suelo en sistemas agroforestales de la Región Amazónica Ecuatoriana. Estudio de caso: Provincia de Pastaza y Napo. Puyo, Pastaza, Ecuador: Secretaría nacional de educación superior, ciencia tecnología e innovación "Proyecto Prometeo".
- 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. A., Lozano, Z., Hernández, H. R. M., Cánchica, H., González, I. (2008). Siembra directa como alternativa agroecológica para la transición hacia la sostenibilidad de las sabanas. *Acta Biol.* 28: 7-26.
- Breure, A.M. (2004). Soil Biodiversity: Measurements, indicators, threats and soil functions. I International Conference Soil and Compost Eco-biology, pp. 83-96.
- Briceño, O. (2002). Evaluación de diferentes coberturas vivas como barbechos mejorados en un sistema de labranza conservacionista y su relación con las propiedades químicas de dos suelos de textura contrastantes del estado Guárico. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, 71 p

- Bucher, E. (2002). Soil quality characterization and remediation in relation to soil management. PhD Thesis in soil science, Department of crop and soil sciences, Pennsylvania State University. 142 pp.
- Burbano, O. H. (2010). El suelo al servicio de la sociedad y su rol en el contexto de los cambios globales. *Tendencias*, 11(2), 53-62.
- Bustamante, T.; Espinoza, M.; Ruiz, L.; Trujillo, J. y Uquillas, J. (1993). Retos de la Amazonía. Ediciones Abya-Ayala. Quito.
- Cabrera, P., & Gómez, H. (2009). Evaluación de la macrofauna en diferentes usos y manejo del suelo en el centro experimental de FEDEPAPA en el corregimiento de Obonúco, municipio de Pasto, departamento de Nariño, Tesis de grado Ingeniería Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.
- 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), 173-178.
- Casanova, O. E. F. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Caracas: UCV, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.
- Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. (2012). Calidad de cacao en Centroamérica: un vistazo la situación en 2009.1, 88. (M. Villalobos Rodríguez, & S. Orozco Estrada, Edits.) Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Chang, R. (1991). Química. México: McGraw Hill Interamericana.
- Chicas, S., Augusto, R. y Chacón, V. (2014). Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. *Rev Cie TécAgr*, San José de las Lajas, 23 (1):41-46

- Chirinos, I. J., & Mattiazzo, M. E. (2004). Variación de la conductividad hidráulica en suelos saturados en función de la concentración de sodio presente en residuo agroindustrial. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21(1), 1-11.
- Curry, J.P. (1998). Factor affecting earthworm abundance in soils. In: *Earthworm ecology*. (Edwards, C.A., Ed.). St Lucie Press, London. p. 37
- Custode, E., y Sourdat M. (1986). Paisajes y suelos de la Amazonía ecuatoriana: entre la conservación y la explotación. *Revista del Banco Central del Ecuador* 24: 325-339.
- Daza Torres, M. C., Hernández Florez, F., & Triana, F. A. (2014). Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz-Colombia. *Revista facultad nacional de agronomía*, 67(1), 20-29.
- De La Cruz, E., & Pereira, I. (2009). Historias, saberes y sabores en torno al cacao (*Theobroma cacao L.*) en la subregión de Barlovento, estado Miranda. *Sapiens. Revista universitaria de investigación*, 10(2), 97 - 120.
- Díaz, R. R. (1992). Evolución del nitrógeno total en rotaciones con pasturas. *Revista. INIA Investigaciones Agronómicas*. Nº 1, Tomo 1, p. 27-35
- Dick, R.P. (1994). Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F. & Stewart, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Minneapolis, Soil.
- Dirección de inteligencia comercial e inversiones. (2013). *Análisis del sector cacao y elaborados*. Quito: PROECUADOR.
- Donoso, C. (1992). *Ecología Forestal: El Bosque y su Medio Ambiente*. Universidad Austral de Chile. Editorial Universitaria. Santiago. Chile.

- Doran, J.W., & Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Defining Soil Quality for a sustainable Environment. Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F. and Stewart, B.A. (eds), Spec. Publ. No.35. SSSA y ASA, Inc. Madison, WI. pp. 3-21.
- Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., & Stewart, B. A. (1996). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America Special Pub. 35, Madison, WI. 244 pp.
- Durán, R. F. (2009). Estudio de suelos manejo y conservación del suelo agrícola. Bogotá: Grupolatinoeditores.
- Edwards, C.A. (1983). Eartworm ecology in cultivated systems. P. 123-137. In: J.E. Satchell (ed.) Eartworm ecology: From Darwin to vermiculture. Chapman and Hill, London
- Enríquez, G. (2001). Manual de Cacao Orgánico: guía para productores Ecuatorianos. Manual N° 54. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quito. Pág 360.
- Enríquez, G. (2004). Manual de Cacao Orgánico: guía para productores Ecuatorianos. Manual N° 54. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP. Quito.
- Enríquez, G. A. (1985). Curso sobre el cultivo del cacao. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie materiales de enseñanza No. 22. 240p.
- Foth, H. (1986). Los suelos y la nutrición mineral de las plantas. Calcio y Magnesio. Fundamentos de la ciencia del suelo. Cap 12 pg. 318.

- Fragoso, C. (2001). Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta): Diversidad, ecología y manejo. *Acta Zoológica Mexicana*. Número especial 1: 131-171.
- GAD-Cantón Arosemena Tola. (2012). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDyOT) del cantón Carlos Julio Arosemena Tola. Pp367
- García, A., y C. Rivero. (2008). Evaluación del carbono microbiano y la respiración basal en respuesta a la aplicación de lodo papelerero en los suelos de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 34: 215-229.
- González Barrios, J., González Cervantes, G., Sánchez Cohen, I., López Santos, A., & Valenzuela Núñez, L. (2011). Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de calidad física del suelo. *Tierra latinoamericana*, 29(4), 369-377.
- Graetz, H., A. (2000). Suelos y fertilización. Manual para educación agropecuaria. Traducido por Orozco, F. Colaboración Kirchner, F.; López, E. y Berlijn, J. Séptima reimpresión. Editorial Trillas, IMPREMAX. MX - D.F. 80 p.
- Gutiérrez, H. (1988). El Beneficio del cacao, Gobernación de Antioquia Secretaria de Agricultura. Publicación Técnica N° 9. Medellín, Colombia. 55p.
- Hernández, J. A., Vera, M. L., Naveda, B. C. A., Véliz, M. F., Guzmán, C. A. M., Vivar, A. M., Ormanza, C. K. (2013). Impacto del cambio de uso de la tierra en la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *ESPAM-CIENCIA*, 4(2), 59-66.
- Hernández, J. A., Morales, D, A. Cabrera, R. M.O. Ascanio, G. Y. Borges, B. D. Vargas, B. A., y Bernal, F. (2013). Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores, de “la llanura roja de la Habana”. *Cultivos Tropicales*, 2013. 34(3):45-51.

INPOFOS. (1994). Potasio: Su necesidad y uso en la Agricultura Moderna. Canadá. 44 p.

Instituto ecuatoriano de la propiedad intelectual. (2014). Comunicados. Obtenido de Instituto ecuatoriano de la propiedad intelectual: <http://www.propiedadintelectual.gob.ec/ecuador-la-tierra-del-cacao/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1973). Métodos analíticos da laboratorio de suelos. Tercera edición. Bogotá.

Jadán, O., Torres, B., y Günter, S. (2012). Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. *Revista Amazónica: Ciencia y Tecnología*, 1(3), 173-186.

Jagoret, P., Deheuvels, O., & Bastide, P. (2014). Producción sostenible de cacao. *Cirad* (27).

Jiménez, L. S., Mezquita, E. T., Capa, M. B., & Sánchez, A. R. (2007). Cambio en las propiedades del suelo por transformación de áreas boscosas en pastizales en Zamora Chinchipe (Ecuador). *Cuadernos de la sociedad española de ciencias forestales*, 22, 65 - 70.

Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. & Schuman, G.E. (1997). Soil Quality: A concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.*, Vol 61 (January-February): 4-10.

Karlen, D.L., Wollenhaupt, N.C., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B., Eash, N.S. and Jordahl, J.L. (1994). Long-term tillage effects on soil quality. *Soil and Tillage Research* 32: 313-327.

- Lima, V.C.; Lima, J.M.J.C. (1996). Introducción a la edafología. Curitiba: Universidad Federal de Paraná. Departamento de suelos e ingeniería agrícola.
- López, F. R. (2002). Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. Mérida, Venezuela: Centro interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial universidad de los Andes.
- Lopez, G. G., & Phillips, O. L. (2012). Estudian en el Amazonas: la experiencia de la Red Amazónica de inventarios forestales. *Ecosistemas*, 21(1-2), 118 - 125.
- López, M., López de Rojas, I., España, M., Izquierdo, A., & Herrera, L. (2007). Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrícicosarburculares en plantaciones de *Theobroma cacao*. *Agronomía tropical*, 57(1), 31 - 43.
- Lozano, Z., Briceño, O., Villanueva, J. G., Bravo, C., Hernández, R. M., Moreno, B., & Piñango, L. (2009). Propiedades químicas del suelo bajo cultivos de cobertura en sistemas de labranza conservacionista y su efecto sobre el rendimiento de maíz. *Venesuelos*, 17, 24-41.
- Lozano, Z., Mogollón, Á., Hernández, R. M., Bravo, C., Ojeda, A., Torres, A., Toro, M. (2010). Cambios en las propiedades químicas de un suelo de sabana luego de la introducción de pasturas mejoradas. *Bioagro*, 22(2), 135-144.
- 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.
- MAE. (2009). Programa Socio Bosque. Quito, Ecuador. Recuperado el 23-02- 2015, de <http://www.ambiente.gov.ec/userfiles/1/file/socio%20bosque/Poznan1a.pdf>.



- Malavolta, E., G.C. Vitti and S.A. De Oliveira. (1989). Availacao do estado nutricional das plantas: principios e aplicaciones. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. POTAFOS. 200 p.
- Martin, N. J., y Pérez, G (2009). Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la Provincia de Pastaza en la Amazonía Ecuatoriana. *Cultivos Tropicales* 30:5-10.
- Martínez, H. E., Fuentes, E. J. P., & Acevedo, H. E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8 (1), 68-96
- McVay K. & Rice C. (2002). El Carbono Orgánico del Suelo y el Ciclo Global del Carbono. Universidad del Estado de Kansas. Kansas, Estados Unidos.
- Mena, C. F. (2011). Deforestación en el Norte de la Amazonía Ecuatoriana: del patrón al proceso. *Revista Polémika* (2)5: 58-65
- Meza, P. E., & Geissert, K. D. (2003). Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 5(2), 57-60.
- Michelena, R., Iurrtia, C., Vavruska, F., Mon, R., & Pittaluga, A. (1989). Degradación de suelos del norte de la región Pampeana. *Publicación Técnica* 6. INTA. 14 pp.
- Molina, E. (2002). Análisis de suelos y su interpretación. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.
- Monge, J. E., Val, J., Sanz, M., Blanco, A., & Montañes, L. (1994). El calcio nutriente para las plantas. Thebitterpit en manzano. *An. Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza)*, 21(3), 189-201.

- Moreno, L. J. y Sánchez, J. A. (1989). Beneficio del Cacao. Fundación Hondureña de Investigaciones Agrícolas. Fascículo N° 6. 26 p.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Methods of soil analysis. (Ed. A.L. Page). Part 2. Agronomy monographs 9. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin. pp. 539-579.
- Noguera, M. A., & Vélez L, J. A. (2011). Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferentes usos. Ciencias agrícolas, 28(1), 40 - 52.
- Ordóñez, N., López E. y Botero, P. (1992). Cambios en las propiedades de los suelos, relacionados con la colonización del bosque natural, en un área del Guaviare. Colombia Amazónica 6 (1): 37-64.
- Organización internacional del cacao-ICCO. (2012). La economía cacaotera mundial: pasado y presente. Londres.
- Ormeño, D. M. A., & Zambrano García, A. J. (2011). Los cultivos asociados al cacao (*Theobroma cacao L.*) como parte de un agroecosistema son una alternativa para el mejoramiento de la calidad de los suelos. J. Interamer. Soc. Trop. Hort, 53, 31-33.
- Orozco, M., & Thienhaus, S. (1997). Efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao L.*) en desarrollo. Agronomía mesoamericana, 8(1), 81- 92.
- Padilla, W. (2004). Fertilización de Suelos y Nutrición Vegetal. [agrobiolab@clinica-agricola.com](mailto:agrobiolab@clinica-agricola.com). Quito, Ecuador.
- Paz, G. A., Taboada, C. M. T., & Gómez, S. M. J. (1999). Relación entre textura, pH, materia orgánica y complejo de cambio en el horizonte superior de un suelo sobre serpentinas. Caderno Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña, 22, 5-14.

- Pico, R. J., Calderón, P. D., Fernández, A. F., & Díaz, M. A. (2012). Guía del manejo integrado de enfermedades del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la Amazonia. INIAP. Orellana-Ecuador.
- Pires, L.F., Cássaro, F.A.M., Reichardt, K., and Bacchi, O.S. (2008) Soil porous system changes quantified by analyzing soil water retention curve modifications. *Soil and Tillage Research*. Vol. 100, pp. 72-77
- Pla Sentís, I. (1983). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Maracay: Universidad Central Venezuela.
- Pla Sentís, I. (1990). Ensayo: la degradación y el desarrollo agrícola de Venezuela. *Agronomía tropical*, 40(1-3).
- Pla Sentís, I. (2010). Medición y evaluación de las propiedades física de los suelos: dificultades y errores más frecuentes: Propiedades mecánicas. *Suelos Ecuatoriales* 40 (2): 75-93.
- Porta, C. J., M. López, A., y Roquero, L. (1999). Edafología, para la agricultura y el medio ambiente. 2ª edición revisada y ampliada. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.
- Posada, F. C., Aguilar, A., & Oscar 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.
- Prieto, M., J., Prieto, G. F., Acevedo, S. O., y Méndez, M. M. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía mesoamericana*, 24(1), 83-91.

- PROEcuador. (2011). Análisis sectorial de cacao y elaborados. Quito: Ministerio de relaciones exteriores, comercio e integración.
- Quiroga, A., Ormeño, O., & Peinemann, N. (2000). Materia orgánica. Un indicador de calidad de suelo relacionado con la productividad de los cultivos. Libro de Resúmenes del XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, 11-14 de abril del 2000. Comisión IV- Panel No48.
- Ramos, G., Ramos, P., y Azócar, A. (2000). Manual del productor de cacao. Producciones Karol. Mérida, Venezuela. p. 27-28.
- Sanz, J. M., Sánchez, A. J. J., y Sánchez, S. A. (2006). Química del suelo y medio ambiente. Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Schjonning, P., Elmholt, S., & Christensen, B.T. (2004). Soil quality management concepts and terms. P. 1-15. In: Schjonning P. S. Elmholt and BT Christensen (eds). Managing soil quality challenges in modern agriculture. CABI publishing
- Schmid, P. (2013). Análisis de la situación actual y perspectivas del cacao ecuatoriano y propuesta de industrialización local. 147. Quito, Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador.
- Science Society of America, (1994). (SSSA Special Publication, 35). 107-124 pp.
- Serrano, J. P. G., Lucena, M. J. J., Ruano, C. S., & Nogales, G. M. (2010). Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España: Parte I El suelo, los nutrientes, los fertilizantes y la fertilización. España: Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino.

- Serrano, E., Sandoval, J., Pocasangre, L., Rosales, F., & Delgado, E. (2006). Importancia de los indicadores físico-químicos en la calidad del suelo para la producción sustentable del banano en Costa Rica.
- Shukla, MK., Lal, R., & Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil Till. Res.* 87: 194-204.
- Sinchi-Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. (2010). Fisiografía y suelos-Tipos de Paisajes. <http://www.sinchi.org.co/>. Consultado el 20/02/2016.
- Singer, M.J., y Ewing, S. (2000). Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Soil Science Society of America (SSSA) (1994). SSSA statement on soil quality, *Agron. News*, June 1994: 7, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- SPSS IBM (2013). *IBM SPSS Statistics 22. Algorithms*. Chicago: IBM SPSS Inc.
- Suárez, C., Moreira M., & Vera, B. (1993). “Manual del cultivo de cacao”, INIAP, Quevedo, Ecuador, pp 10-16.
- Tobar, V. R. (2010). *Agricultura ecológica una herramienta para la educación ambiental y cohesión participativa comunitaria*. (U. d. Barcelona, Ed.) Obtenido de [http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/106/1/MURUKU NATA%20agricultura%20ecol%C3%B3gica.pdf](http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/106/1/MURUKU%20NATA%20agricultura%20ecol%C3%B3gica.pdf).
- Torres, V., Cobo, R., Sánchez, L., & Ruez, N. (2013). Statistical tool for measuring the impact of milk production on the local development of province in Cuba. *Livestock Research for Rural Development* 29 (9).

- UNESCO. (2005). Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo. Documentos Técnicos en Hidrología del PHI, número de serie 71.
- Valarezo, C.; Iñiguez, M.; Valarezo, L. Y Guaya, P. (1998). Condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador. Loja, Ecuador.
- Vallejo, Q. V. (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.
- Villarreal Núñez, J. (2010). Determinación de un índice de calidad del suelo en áreas productoras de banano (*Musa x paradisiaca* L.) de la vertiente del pacifico de Panamá. Tesis de grado doctorado en agronomía, departamento de medio ambiente y ciencias del suelo. Universidad de Lleida. Lleida, Panamá.
- Volk, T. (1994). The soil's breath. Natural history November/94
- Walter, G., Wander, M.M., & Bollero, G.A. (1997). A farmer centered approach to developing information for soil resource management: the Illinois soil quality initiative. American Journal of Alternative Agriculture 12: 64- 72.
- Wang, Q., Wang, S., and Huang, Y.(2008). Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. Forest Ecology and Management 255:1210-1218.
- Weinhold, D. (1999). Methods; Estimating the loss of agricultural productivity in the Amazon. Ecological Economics, 63-76.
- Woods End Research. (1997). Guide to soil testing and managing your soil. Woods End Research Laboratory, Inc., Mt. Vernon, ME.

YI, Z., Fu, S., Yi, W., Zhou, G., Mo, J., Zhang, D., Ding, M., Wang, X. & L. Zhou. (2007). Partitioning soil respiration of subtropical forests with different successional stages in south China. *Forests Ecology and Management* 243: 178-186.

## 9. ANEXOS



**Anexos 1.** Identificación y selección de parcelas con uso de suelo de cacao en el Cantón Arosemena Total.



**Anexo 2.** Establecimiento de parcela para toma de muestras físicas, químicas y biológicas en cultivos de cacao monocultivo del cantón Arosemena Tola.

**Anexo 3.** Parcela de cacao monocultivo en el cantón Arosemena Tola.



**Anexo 4.** Obtención de muestras físicas con barreno tipo Uhland en parcela de cacao del cantón Arosemena Tola.





**Anexo 5.** Obtención de muestra de suelo alterado para determinar parámetros químicos en el cantón Arosemena Tola.

**Anexo 6.** Montaje de cámaras estáticas para determinar respiración edáfica (parámetro biológico) con el Dr. Carlos Bravo, en el cantón Arosemena Tola.



**Anexo 7.** Tamizado de muestras alteradas, en laboratorio de suelos de la UEA.



**Anexo 8.** Determinación de porosidad (parámetro físico) en laboratorio de suelos de la UEA.



**Anexo 9.** Determinación de pH (parámetro químico) en laboratorio de suelos de la UEA.



**Anexo 10.** Determinación de respiración basal (parámetro biológico) en el laboratorio de suelos de la UEA.

14.04

UNIVERSIDAD ESTADAL AMAZONICA  
LABORATORIO DE SUELOS  
REGISTRO DE DATOS  
ANÁLISIS DE SUELOS

CODIGO PRO. INSTITUCIONAL 001  
FECHA: 2007/10/14  
PAGINA

FECHA: 2007/10/14	ANÁLISIS DE SUELOS										
	No.	PH	Al-N	Al	FE	Ca	Mg	K	CO <sub>2</sub>	MO	CE
1172	6.04			17.2	1.7	0.22	16.4	14.4			2.5
1173	6.24			0.17	1.03	0.22	15.3	13.5			3.4
1174	6.57	3.82	0.91	13.4	1.30	0.29	13.10	10.40			1.6
1175	6.33	3.74	0.39	0.25	1.72	0.22	15.25	13.62			2.9
1176	5.94	3.18	0.11	0.19	0.52	0.20	11.27	10.25			1.6
1177	6.43			0.9	1.41	0.11	16.41	15.24			3.3
1178	5.63			0.24	1.09	0.19	15.25	13.52			2.9
1179	6.36			0.62	2.3	0.07	16.2	15.36			2.9
1180	6.33	2.08	0.8	0.23	6.9	0.22	2.69	2.23			0.8
1181	6.04	3.45	0.76	0.17	0.42	0.05	17.4	16.25			2.8
1182	5.00	2.26	0.70	0.18	10.1	0.15	15.01	13.83			1.7
1183	6.09	2.87	0.25	0.36	2.76	0.09	21.01	19.51			3.0
1184	6.04	4.07	0.03	0.36	1.11	0.15	8.02	8.25			1.9
1185	6.04	3.00	0.85	1.08	3.74	0.06	17.37	16.46			3.4
1186	6.1	1.55	0.96	0.49	2.87	0.16	16.91	16.1			1.1
1187	6.09	2.64	0.67	0.24	3.59	0.07	2.63	2.63			2.8
1188	6.14	4.76		0.25	6.23	0.19	5.12	2.36			1.3
1189	6.34	3.86	0.57	0.28	4.1	0.11	10.23	10.39			1.8
1190	6.91	6.85	0.52	0.25	1.96	0.16	4.72	1.21			2.7
1191	6.38	3.55	1.74	0.33	2.87	0.13	3.6	0.96			3.1
1192	6.36	1.97	0.62	0.35	5.4	0.21	5.69	1.94			1.7
1193	6.36	2.40	0.73	0.18	4.23	0.14	9.11	0.65			1.7
1194	6.36	2.07	0.62	0.34	5.9	0.32	3.46	1.22			3.1
1195	6.31	3.03	0.81	0.46	3.24	0.08	3.62	0.84			1.4
1196	6.31	2.73	0.82	0.29	3.17	0.13	3.16	1.07			1.5
1197	6.32	3.19	0.83	0.46	3.39	0.07	5.16	0.83			0.9
1198	6.13	1.76	0.87	0.23	5.62	0.16	11.04	0.97			3.0
1199	6.06	2.96	0.2	0.16	5.52	0.10	4.36	0.74			1.2
1200						0.10	2.11	1.37			

**Anexo 11.** Resultados de laboratorio obtenidos en los análisis físicos, químicos y biológicos.