

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
**FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA**  
**CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**PROYECTO PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**INGENIERO AMBIENTAL**

**TITULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:**

Evaluación de parámetros físico-químicos en suelos para determinar su potencial de producción de *Theobroma cacao L.* en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica.

**AUTORES:**

CHRISTIAN EDUARDO OCHOA CRESPO

BRYAN ANDRES VILLARES LLANOS

**DIRECTOR DEL PROYECTO:**

Msc. LUIS ANTONIO DÍAZ SUNTAXI

PASTAZA-ECUADOR

2020

## **Resumen**

La evaluación de parámetros físico químicos permite conocer el estado en el que se encuentra el suelo y la influencia que tiene para determinar su productividad. El trabajo investigativo consistió en evaluar parámetros físicos y químicos en suelos para determinar el potencial de producción en dos lotes de (*Theobroma cacao L.*). Denominados plantación 1 Cacao Chakra y plantación 2 Cacao Agroforestal, nombrados así por el distinto manejo y condiciones en las que se encontraron, las áreas de estudio están ubicadas en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA) de la Universidad Estatal Amazónica en la provincia de Napo. Se realizó la recolección a dos profundidades de 0-10cm; 10-20cm para la evaluación de los parámetros químicos: Ph, acidez intercambiable, aluminio intercambiable, materia orgánica y textura. Se tomó a 3 profundidades 0-10cm; 10-20cm y 20-30 cm para la evaluación de los parámetros físicos: conductividad hidráulica saturada, densidad aparente y las distintas porosidades: aireación, retención y total. La evaluación de los parámetros químicos dio a conocer que los dos manejos se encontraron con una similitud en su estado, se debe por las características propias que posee el (CIPCA). La evaluación de los parámetros físicos permitió conocer que el estado del suelo en el manejo de (*Theobroma cacao L.*) agroforestal se encuentra en mejores condiciones de adaptación, permitiendo desarrollar al cultivo en un aceptable entorno. A diferencia del sistema de manejo chakra que tuvo una variabilidad significativa en sus resultados por el grado de compactación del suelo, esto dedujo que es ocasionado por intervenciones antrópicas evidentes en campo, las mismas que está al límite de los rangos de estabilidad de los cuales se interpreta que las condiciones en su composición y estructura se ve afectado en la adaptabilidad del cultivo alterando directamente su desarrollo y potencial de producción.

**Palabras clave:** Suelo, Producción, Cacao, Evaluación, Agroforestal.

## **Abstract**

The evaluation of physical chemical parameters allows to know the state in which the soil is and the influence it has to determine its productivity. The investigative work consisted of evaluating physical and chemical parameters in soils to determine the production potential in two lots of (*Theobroma cacao L.*). Called plantation 1 Cacao Chakra and plantation 2 Agroforestry Cocoa, named for the different management and conditions in which were found, the study areas are located in the Amazon Research, Postgraduate and Conservation Center (CIPCA) of the Amazon State University in the province of Napo. The collection was done at two depths of 0-10cm; 10-20cm for the evaluation of chemical parameters: Ph, exchangeable acidity, exchangeable aluminum, organic matter and texture. It was taken at 3 depths 0-10cm; 10-20cm and 20-30cm for the evaluation of the physical parameters: saturated hydraulic conductivity, apparent density and the different porosities: aeration, retention and total. The evaluation of the chemical parameters revealed that the two operations met with a similarity in their status, due to the characteristics of the CIPCA. The evaluation of the physical parameters allowed to know that the state of the soil in the management of (*Theobroma cacao L.*) agroforestry is in better adaptation conditions, allowing to develop the crop in an acceptable environment. Unlike the chakra management system that had a significant variability in its results due to the degree of soil compaction, this deduced that it is caused by anthropic interventions evident in the field, which is at the limit of the stability ranges of which interprets that the conditions in its composition and structure are affected in the adaptability of the crop directly altering its development and production potential..

**Keywords:** Soil, Production, Cocoa, Evaluation, Agroforestry.

## INDICE DE CONTENIDO

1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. Planteamiento del Problema de investigación.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Formulación del problema.....	3
1.5. OBJETIVOS.....	3
1.5.1. Objetivos General.....	3
1.5.2 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II.....	4
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2.1.1. ANTECEDENTES.....	4
2.2.1. SUELO.....	5
2.2.2. SUELOS AMAZÓNICOS.....	6
2.3. SISTEMAS DE MANEJO.....	6
2.3.1. SISTEMA DE MANEJO CHAKRA.....	6
2.3.2. SISTEMA DE MANEJO AGROFORESTAL.....	7
2.3.3. CLASIFICACIÓN.....	7
2.3.4. Clasificación botánica del Cacao.....	7
Tabla 1. Clasificación botánica del cacao.....	7
Clasificación botánica del cacao.....	7
2.3.5. USOS DEL CACAO.....	7
2.3.6. PRODUCCIÓN.....	8
2.3.7. PRODUCCIÓN MUNDIAL.....	8
2.3.8. PRODUCCIÓN NACIONAL.....	9
2.3.9. PRODUCCIÓN AMAZÓNICA.....	9
2.4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	10
2.4.1. TEXTURA.....	10
Tabla 2. Textura del suelo.....	10
Tabla 3. Clases texturales del suelo.....	11
2.4.3. TEXTURAS DEL SUELO.....	11
Figura 1. Texturas del suelo.....	11
2.4.4. COMPACTACIÓN DEL SUELO.....	11
2.4.5. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.....	12
2.4.6. POROSIDAD Y RETENCIÓN DEL AGUA EN EL SUELO.....	12
2.5. PROPIEDADES QUÍMICAS.....	12

2.5.1. POTENCIAL DE HIDROGENO.....	12
2.5.2. ACIDEZ INTERCAMBIABLE Y ALUMINIO INTERCAMBIABLE .....	13
2.5.3. MATERIA ORGÁNICA (MO).....	13
<b>CAPÍTULO III</b> .....	14
<b>3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	14
3.2. LOCALIZACIÓN.....	14
<i>Figura 2. Mapa de localización del área de estudio</i> .....	14
<b>3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	15
3.4.1. ACTIVIDADES DE CAMPO .....	15
<b>Tabla 4. Coordenadas Cacao chakra</b> .....	17
<b>Tabla 5. Coordenadas Cacao agroforestal</b> .....	17
<i>Figura 6. Texturas del suelo</i> .....	21
<b>3.6. Análisis Químicos</b> .....	22
<b>3.6.1. Materia orgánica (MO)</b> .....	22
3.6.3. ACIDEZ INTERCAMBIABLE( $AL^{+3} + H^{+}$ ).....	23
<b>3.7. TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	25
3.7.1. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL .....	25
3.7.2. INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA.....	25
<b>4.1. RESULTADOS</b> .....	25
<i>Figura 7. Densidad aparente</i> .....	26
4.2.2. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA ( $K_{sat}$ , $cmh^{-1}$ ).....	27
<i>Figura 8. Conductividad hidráulica saturada</i> .....	27
<i>Figura 9. Porosidad de aireación (0-10,10-20,20-30) cm</i> .....	28
4.2.4. POROSIDAD DE RETENCIÓN .....	29
<i>Figura 10. Porosidad de retención (0-10,10-20,20-30) cm</i> .....	29
4.2.5. POROSIDAD TOTAL.....	30
<i>Figura 11. Porosidad total</i> .....	31
<b>Tabla 6. Variabilidad de rangos físicos (0-10cm)</b> .....	32
<b>Tabla 7. Variabilidad de rangos físicos (10-20cm)</b> .....	32
<b>Tabla 8. Variabilidad de rangos físicos (20-30cm)</b> .....	33
<i>Figura 12. Potencial de hidrogeno</i> .....	35
4.3.3. ACIDEZ INTERCAMBIABLE ( $AL+H$ ).....	35
<i>Figura 13. Acides intercambiable</i> .....	36
4.3.4. ALUMINIO INTERCAMBIABLE ( $MEQ/100ML$ ) .....	36
<i>Figura 14. Aluminio intercambiable</i> .....	37
4.3.5. MATERIA ORGÁNICA (MO, %).....	38

<i>Figura 15. Materia Orgánica.</i> .....	38
<i>Tabla 9. Variabilidad de rangos (0-10) en parámetros químicos.</i> .....	39
<i>Tabla 10. Variabilidad de rangos (10-20) en parámetros químicos.</i> .....	40
<b>4.3.6. TEXTURA DEL SUELO</b> .....	41
<b>Tabla 11. CLASE TEXTURAL DE (0 -10, 10-20 cm). Cacao Chakra.</b> .....	41
<b>Tabla 12. CLASE TEXTURAL DE (0 -10 cm). Cacao Agroecológico.</b> .....	42
<b>CAPITULO V</b> .....	43
<b>4.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	43
<b>4.2. RECOMENDACIONES</b> .....	44
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	45
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	45
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	50
<b>ANEXOS DE FIGURAS</b> .....	50
<i>Anexo 1. Delimitación del área de estudio mediante la toma de puntos GPS.</i> .....	50
<i>Anexo 2. División del área de estudio en subparcelas.</i> .....	50
<i>Anexo 4. Obtención de muestras en campo con cilindros de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro.</i> .....	51
<i>Anexo 5. Homogenización y secado de muestras.</i> .....	51
<i>Anexo 6. Tamizado de muestras compuestas.</i> .....	51
<i>Anexo 7. Preparación y pesaje de muestras físicas.</i> .....	52
<i>Anexo 8. Hidratación durante 24h y pesaje de muestras físicas.</i> .....	52
<i>Anexo 9. Deshidratación y pesaje de muestras físicas.</i> .....	52
<i>Anexo 10. Pesaje y secado a 360 °C, para la determinación de materia orgánica.</i> .....	53
<i>Anexo 11. Determinación densidad aparente.</i> .....	53
<i>Anexo 12. Determinación de conductividad hidráulica para cada muestra.</i> ...	53
<i>Anexo 13. Colocacion de muestras de suelo en el agitador durante 10 min para la determinación de potencial de hidrogeno (pH).</i> .....	54

# CAPÍTULO I

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es líder en la producción de cacao fino de aroma, con una participación del 62% del mercado mundial, dando sustento a alrededor de cien mil familias que realizan este cultivo, manteniendo niveles de productividad muy bajos. Estos factores combinados con una ausencia de políticas de fomento y de apoyo a la producción ha dado formación el MAGAP a una política pública para la reactivación del sector cacaotero (MAGAP, 2011). Con un alto contenido de producción de cacao y coberturas de plántulas en desarrollo ha permitido un crecimiento en más del 35% anual conforme a los pronósticos establecidos por GIZ (Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional) desde el 2010 coincide con la reactivación de mercados de nicho para cacaos especiales como orgánico, comercio justo, rain forest Alliance y cacaos de origen-calidad (Ramírez, 2006).

El Ministerio de Agricultura del Ecuador lo proclamo como Símbolo Nacional. Puesto que el cultivador de (*Theobroma cacao L.*) en su mayoría son pequeños y medianos productores, debido a los bajos rendimientos de las huertas de cacao, que comprende entre 5 a 6 quintales por hectárea al año. Con estos niveles de ingresos es imposible progresar para el agricultor. Entre la principal causa de este rendimiento citamos a que la mayoría de las huertas están constituidas por árboles viejos que han pasado la etapa productiva estimada en 30 años (Valenzuela, 2010).

Por otro lado, el cacao es un cultivo poco exigente en nutrientes, por lo que para producir una tonelada de semilla comercial, la planta extrae alrededor de 30 Kg de nitrógeno (N), 8 Kg oxido de fosforo ( $P_2O_5$ ), 40 Kg de óxido potasio ( $K_2O$ ), 13 Kg de óxido de calcio ( $CaO$ ) y 10 Kg de óxido de magnesio ( $MgO$ ). Sin embargo, cabe acentuar las prioridades que este cultivo requiere de suelos de texturas medias, drenajes y buena fertilidad con retención de nutrientes para alcanzar altos rendimientos y buena calidad de la semilla (Bastidas & Tepud, 2014).

De tal manera, se destaca la necesidad de estudiar detenidamente la productividad de los suelos cacaoteros a fin de establecer un programa de producción integral cuya finalidad es determinar la eficiencia de los sectores cacaoteros, especialmente en aquellas zonas de ecosistemas frágiles donde se siembra el cacao como cultivo sostenible, así como la

producción de cacao se realiza bajo un esquema tradicional que ocurre en la mayor parte de las plantaciones del país.

El presente estudio permitirá evaluar parámetros físico químicos en suelos con la finalidad de determinar su potencial de producción en las plantaciones de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la plantación agroforestal y plantación Chakra del Centro de Investigación de Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA), a fin de realizar un manejo eficiente e integral de dichos sistemas en la que permita mejorar el rendimiento del cultivo.

## **1.2. Planteamiento del Problema de investigación**

El presente estudio permite conocer las condiciones en las que se encuentran los nutrientes del suelo, posibilitando identificar los distintos nutrientes que están presentes son o no los adecuados para el desarrollo y su producción, el reconocer cómo se están desarrollando cada uno de los indicadores investigados permitirá evidenciar cualitativa y cuantitativamente el progreso que se está llevando en el presente cultivo. Sin embargo, mediante consultas realizadas a los encargados del Centro de Investigación, Posgrado y conservación Amazónica (CIPCA) no hay un estudio en el cual se determine el potencial de producción de (*Theobroma cacao L.*) evaluando los parámetros físicos químicos en el suelo.

## **1.3. Justificación**

América latina es considerada como la mayor productora de cacao a nivel internacional ya que cubre aproximadamente el 80% de producción en el mundo, gracias a la variedad que tiene cada uno de sus países que lo conforman. Los datos proporcionados por la (ICCO) la Organización Internacional del Cacao entre el 70% y 100% de las exportaciones totales provienen de países como Ecuador, Bolivia, Costa Rica, México, Perú, esta gran significancia de consumo se lleva a cabo gracias a la calidad y potencial de producción que tienen implementado cada país (Latina, 2017).

Ecuador se encuentra en el primer lugar de exportador de cacao en América y el quinto a nivel mundial, gracias a las condiciones geográficas en las que se encuentra, dando paso a un desarrollo único con calidad y un manejo estricto en sus producciones. El cacao ecuatoriano es considerado por muchos expertos como una especie resistente a enfermedades. No obstante, se deja a un lado las respectivas investigaciones por que con el pasar del tiempo, sigue cambiando el entorno en el que se desarrolla y conlleva a cambios

en el suelo recursos hídricos sobre todo la evolución y resistencia de plagas que afecta en el retraso de producción y disminuye su calidad.

Sin embargo, el presente estudio se llevó a cabo para evaluar el estado de los factores en los suelos con cultivo de (*Theobroma cacao L.*) en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica. Sabiendo que cada uno de los factores presentes cumplen funciones distintas, en conjunto llevan al desarrollo de un cultivo lo cual mediante la evaluación de los parámetros físicos y químicos permitirá saber el estado en que se encuentra el suelo y determinar el potencial de producción, desde el punto de vista la determinación de los parámetros físico químicos es esencial e imprescindible. Por esta razón se plantea la presente investigación para lograr el mejoramiento de la producción de cacao en el (CIPCA) lo que servirá de base para futuras investigaciones del estado del suelo y potencial de producción (*Theobroma cacao L.*) en el mismo.

#### **1.4. Formulación del problema**

El estado de la retención y disponibilidad de nutrientes en el suelo para el cultivo de (*Theobroma cacao L.*) será determinado mediante los análisis físicos y químicos del suelo en el Centro de Investigación, Posgrado y conservación Amazónica (CIPCA).

### **1.5. OBJETIVOS**

#### **1.5.1. Objetivos General**

Evaluar parámetros físico-químicos en suelos para determinar su potencial de producción de (*Theobroma cacao L.*) en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica.

#### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar un plan de muestreo de suelos agrícolas en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica.
- Realizar la caracterización física química de las muestras de suelo obtenidas en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica.
- Determinar el suelo con mayor potencial para la producción de (*Theobroma cacao*) en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica.

## CAPÍTULO II

### 2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1. ANTECEDENTES

Se realizó la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos cultivados con (*Theobroma Cacao L.*), se muestrearon suelos a 20 cm de profundidad para conocer el potencial de parámetros como: mineralización del nitrógeno, nitratos, amonio, textura, pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, nitrógeno total, C/N, fósforo disponible y las bases intercambiables. El estudio tiene inicio en una extensión aproximadamente de ochenta y dos parcelas de cacao la misma que comprende 8 a 9 hectáreas, situadas en el sector Caña Brava de la Sierra de Perijá. El área de plantación de cacao se encuentran entre los 140 - 450 msnm, en terrenos con una topografía irregular y con pendientes las precipitaciones de la zona varían entren 1000 y 1200 mm al año (Moreno & M, 2013).

Este trabajo investigativo permite relacionarse con el estudio en curso, plantea la determinación de potencial de producción de (*Theobroma cacao L.*) en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica. Se destaca la necesidad de estudiar detenidamente la productividad de los suelos cacaoteros a fin de establecer un programa de producción integral cuya finalidad es determinar la eficiencia de los sectores cacaoteros, especialmente en aquellas zonas de ecosistemas frágiles donde se siembra el cacao como cultivo sostenible.

Un segundo trabajo investigación de (Bravo C. , 2017)se denomina: La fertilidad del suelo como un servicio eco sistémico en cultivo de cacao en la provincia de Napo. El objetivo del trabajo de investigación da a conocer el potencial de producción y la fertilidad del suelo con un enfoque natural en cultivos de (*Theobroma cacao L.*) localizado en el (CIPCA) de la Universidad Estatal Amazónica. Según el procedimiento se colectaron 5 muestras representativas del área de estudio a dos profundidades 0- 10 cm, 10-30cm con la finalidad de la determinación de diferentes indicadores como pH, acidez intercambiable, nitrógeno, fósforo disponible, bases cambiables, carbono orgánico. La retención de carbono en el suelo, brinda mayor capacidad de concentración microbiana en el horizonte

superficial, permitiendo examinar que a los 30 cm profundidad resulta ser favorable para el desarrollo de plantaciones de cacao (Bravo, 2017).

El estudio se relaciona con la investigación permitiendo determinar cada uno de los factores presentes cumpliendo funciones distintas, que en conjunto llevan al desarrollo de un cultivo. Lo cual mediante la evaluación de los parámetros físicos y químicos permitirá saber el estado en que se encuentra el suelo y determinar el potencial de producción. Desde el punto de vista la determinación de los parámetros físico químicos es esencial. Por esta razón se plantea la presente investigación para lograr mejoras de producción de cacao en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica.

La evaluación de la calidad del suelo, en el sistema productivo orgánico la estancia Madrid, utilizando indicadores de calidad de suelos. La misma que permite evaluar propiedades química, físicas, biológicas de un cultivo. Dando origen a caracterización generalizada de agro ecosistema, con la finalidad de conocer un manejo sostenible en el sistema productivo. De este esta manera se realizó el estudio de cuatro lotes para iniciar con la evaluación de calidad del suelo: un controlado, y tres lotes, de diferentes edades de manejo (20 años, 10 años y 3 años), plantado con hortalizas orgánicas, cuyo propósito es establecer si el periodo de manejo también repercute sobre el suelo (Arrieche, 2012).

Este estudio tiene cierta correlación con la investigación realizada, permitiendo evidenciar que la evaluación de los parámetros físico químicos es muy importante, porque permite conocer las condiciones en las que se encuentra el suelo, facilitando la posible identificación de los indicadores que están presentes en la superficie, las mismas que determina si son favorables para el desarrollo y su producción de tal manera que evidenciara cualitativa y cuantitativamente el aprovechamiento que se está llevando en las plantaciones.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. SUELO**

(Orjuela, 2016). Menciona que el suelo es una fina capa que se ha formado mediante procesos en el transcurso del tiempo, como es la deformación de rocas producidas por efecto de la humedad, y los constantes cambios de temperatura que son incidentes de cambios morfológicos, es así como el suelo se ha convertido en un recurso indispensable del medio natural, de esta manera brinda un conjunto de servicios ambientales que son

esenciales para el desarrollo de la vida en la naturaleza como carbono, nitrógeno y fósforo. El suelo mantiene una relación directa con la topografía, clima y microorganismos, es así como permite determinar un balance entre la diversidad de ecosistemas según su región.

## **2.2.2. SUELOS AMAZÓNICOS**

La Amazonia Ecuatoriana está interpretada por un 48,4% de toda su región nacional. Abarca la mayor riqueza del planeta de acuerdo a su alta concentración de nutrientes en su composición, permitiendo dar un ecosistema apto para el desarrollo vegetativo natural. Los suelos amazónicos gracias a su potencial de concentración de nutrientes dan lugar a la fertilidad de manera significativa para un sinnúmero de especies nativas.

Los suelos amazónicos, establecen el asentamiento de nuevas especies, siendo evidente el incremento de cobertura natural, con un 95% de nutrimento que reposan en el reino animal ,de esta manera el propio ambiente es el encargado de favorecer al suelo con la descomposición orgánica, favoreciendo con nutrientes y garantizando un desarrollo de vida vegetal (Sánchez, 2007).

Se definirán algunos términos utilizados en el medio agrario, que corresponden a los cultivos de Cacao para así de esta manera poder dar el entendimiento correcto al trabajo investigativo realizado.

MAGAP: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

INIAP: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.

GIZ (Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional).

## **2.3. SISTEMAS DE MANEJO**

### **2.3.1. SISTEMA DE MANEJO CHAKRA**

Es aquel espacio de producción que abarca diversos tipos de cultivos en una extensión determinada, los mismos que son implantados en claros de bosque. El sistema de manejo chakra tiene un enfoque significativo en el beneficio y subsistencia de las presentes civilizaciones aledañas la misma que permite comprender un importante uso del suelo, prevaleciendo un aprovechamiento sostenible (Grijalva, 2011).

### 2.3.2. SISTEMA DE MANEJO AGROFORESTAL

Permite cumplir funciones esenciales al medio natural que provee mejores formas de desarrollo para la plantación, encargándose la propia naturaleza de protegerse de efectos adversos. A través del manejo agroforestal permite contraer la fuerza en que caen las precipitaciones en los cultivos, proporcionando a la superficie firmeza y ayudando en la retención de agua a través de los árboles, de esta manera se encarga de acumular al propio suelo con nutrientes esenciales provenientes de la descomposición de materia orgánica (Granda, 2012).

### 2.3.3. CLASIFICACIÓN

(*Theobroma cacao L.*) fue clasificado principalmente por el botánico Carlos Linneo, en la que describe un árbol de 4-8 m de alto de la familia Malvaceae, es propio de las regiones tropicales de América latina, presenta semillas que contienen una cantidad significativa de grasas comprendiendo un (40-50%) y poli fenoles (alrededor del 10% del peso del grano seco (Chang, 2014).

### 2.3.4. Clasificación botánica del Cacao

Tabla 1. Clasificación botánica del cacao.

Clasificación botánica del cacao.	
<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Malvales
<b>Familia</b>	Malvaceae
<b>Genero</b>	Theobroma
<b>Especie</b>	Theobroma cacao L.

Fuente: (Cabuya, 2018)

### 2.3.5. USOS DEL CACAO

El cacao (*Theobroma Cacao L.*) es un producto que genera ingresos significativos ya sea para pequeños o grandes productores, tiene diversos usos con el aprovechamiento

sostenible de todas las partes de la planta, se la puede utilizar en fines de salud, y confitería.

De las semillas del cacao se pueden realizar varios derivados como: la manteca de cacao, licor, cacao en polvo. De igual manera el cacao con un refinamiento específico es utilizado en la elaboración de chocolates, siendo este el proceso más aprovechado para obtener el producto (Ramírez, 2010).

En el ámbito de la salud se considera como una medicina natural, las hojas y sus semillas sirven para tratar distintas afecciones como es cólicos, diarrea, tratar parásitos, problemas renales, etc. Por otro lado las hojas de la propia planta y su mazorca favorece a los cultivos al ser caídas, sirviendo como abono orgánico en la nutrición de la planta y aumentando su materia orgánica (Romero, Fernández, & Macías, 2016).

### **2.3.6. PRODUCCIÓN**

En el desarrollo de la producción de cacao interviene tres factores que son el clima, suelo y las necesidades de cada uno de los cultivos que son de acorde para el manejo que se realice. Depende principalmente de factores beneficiosos para la producción como es el capital y personal operario teniendo un conocimiento tecnológico capacitado. Permite considerar que el potencial de producción se alcanza con un aprovechamiento eficiente y normal de producción (Fernandez, 2013).

Para que la producción sea eficaz se debe tener en cuenta los factores ambientales y las interacciones que hay en ellos, dependiendo de la genética facilitará desarrollo y crecimiento del cultivo, dando a conocer las características originarias del producto. De acuerdo a cada sistema que se maneje conjuntamente con la eficacia que prevea se puede evidenciar resultados positivos o también pérdidas en su producción (Muller, 2008).

### **2.3.7. PRODUCCIÓN MUNDIAL**

El cacao se cultiva principalmente en África del Oeste, América Central, Sudamérica y Asia. Según la producción anual, recogida por la Conferencia de la Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) en los años 2011/2012, los ocho mayores países productores del mundo son (en orden descendente) Costa de Marfil (38%), Ghana (19%), Indonesia (13%), Nigeria (5%), Brasil (5%), Camerún (5%), Ecuador (4%) y Malasia (1%). Estos países representan el 90% de la producción mundial (FAO, 2012).

Hoy en día muchos países dependen principalmente de la agricultura como fuente de sus ingresos como es el caso de Costa de Marfil país perteneciente a África, a medida del paso del tiempo ha ido decayendo en sus producciones dando paso así a una disminución en su economía y un aumento en el índice de pobreza con el 68 %. Dicho país es reconocido mundialmente como parte de los países de mayor producción de los granos de cacao. Con el transcurrir del tiempo se ha ido afectando con el alza de precios que se da a nivel internacional, de igual manera las alteraciones que se han dado a nivel mundial en el ambiente, ha provocado que las condiciones climáticas no sean favorables para la producción como son sequías, altas radiaciones solares, usos de químicos etc., con la finalidad de forzar la producción sin darse cuenta del daño que han ocasionado al suelo (FAO, 2012).

### **2.3.8. PRODUCCIÓN NACIONAL**

El producto cacaotero según el Instituto Nacional de Estadísticas Censos (INEC) establece que el Ecuador comprende una producción del 62 % dando sustento alrededor de 100,000 familias (Anecacao, 2015). Su distribución tiene como mayor extensión en el litoral y en la Amazonia. Sus principales productores se encuentran en las provincias de Los Ríos, Manabí, guayas y Sucumbíos, en el país se cultivan dos tipos de cacao: CCN- 51 considerado el clon del cacao Nacional y por otro lado el otro tipo de cacao es el nacional (Hora, 2015).

Este producto es de suma importancia en el país porque a través de los años ha sido parte de los productos que genera mayores ingresos económicos. Cuando inicio la producción del banano en los años 1969 y también el petróleo en 1972 los tres en conjunto generaron una gran cantidad de divisas por sus exportaciones esto ayudo a que la economía ecuatoriana creciera (Gordón, 2011).

### **2.3.9. PRODUCCIÓN AMAZÓNICA**

La producción de cacao en la amazonia es de 4.11 % dicha producción ha generado mucho interés por que ha permitido que muchos productores de esta región sean reconocidos nacionalmente gracias a su producto. El cacao fino y aromático son de mayor apogeo para los pequeños productores amazónicos ecuatorianos tanto indígenas como colonos. Los adecuados sistemas de manejo han llevado a que en la amazonia genere una producción sostenible y eficiente, generando una mayor demanda por ser un producto de buena calidad. Las buenas prácticas son amigables para el ambiente poniendo énfasis los sistemas

agroforestales y llevando un adecuado manejo en los sistemas tipo Chakra (Andrade, 2009). El Gobierno Ecuatoriano ha generado proyectos en la Amazonia con el enfoque de producción y promover el turismo con las comunidades amazónicas (Andes, 2019).

## **2.4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO**

### **2.4.1. TEXTURA**

Es la proporción en relación peso de las partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los horizontes del suelo. La textura del suelo presenta variaciones para cada horizonte, habiendo una característica original para cada uno de ellos por lo que es importante el análisis de los diferentes horizontes para comprender las propiedades del suelo uno a uno (Gisbert, Ibáñez, & Moreno, 2010). La determinación de la textura del suelo es primordial en el estudio del estado del mismo por ser base de la vida animal y vegetal, permitiendo así un equilibrio en su calidad (Bravo & Tapia, 2017).

### **2.4.2. TAMAÑOS DE LAS TEXTURAS DEL SUELO**

**Tabla 2.** Textura del suelo.

<b>Textura</b>	<b>Tamaño</b>
Arena muy gruesa	1.0 – 2.00 mm
Arena gruesa	0.50 – 1.00 mm
Arena media	0.25 – 0.50 mm
Arena fina	0.10 – 0.25 mm
Arena muy fina	0.05 – 0.10 mm
Limo	0.002 – 0.05 mm
Arcilla	<0.002 mm

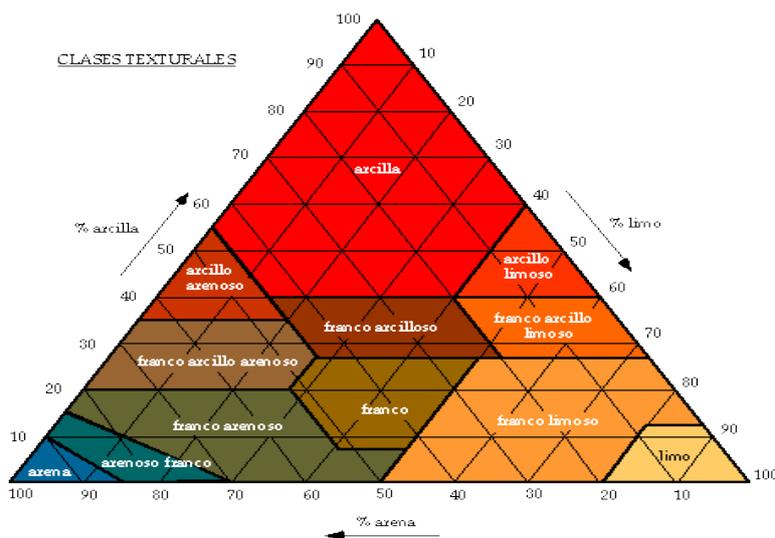
**Fuente:** Sánchez, 2007.

**Tabla 3.** Clases texturales del suelo.

Clase textural		
Arena	Arena franca	Franco arcilloso limoso
Limo	Franco arenoso	Franco arcilloso arenoso
Arcilla	Franco arcilloso	Arcilloso limoso
Franco	Franco limoso	Arcilloso arenoso

**Fuente:** Sánchez, 2007.

### 2.4.3. TEXTURAS DEL SUELO



**Figura 1.** Texturas del suelo

**Fuente:** Sánchez, 2007.

### 2.4.4. COMPACTACIÓN DEL SUELO

Es la afectación que se origina al disminuir la porosidad dando un incremento significativo a la densidad aparente del suelo. Distintas causas intervienen en la compactación como es el, constante caminar de las personas que ocasionan una permeabilidad media a este proceso. La concentración de humedad resulta ser significativa según la distancia de cada porosidad (Laureda, 2016).El grado de compactación se da acorde al manejo del cultivo,

cabe recalcar que en este territorio las lluvias son muy prolongadas esto permite que el suelo vaya solidificándose tolerando un desarrollo continuo de musgos y a su vez la oxigenación disminuye conforme a la retención de humedad que contiene proveniente de precipitaciones (Martiren, Fonterosa, & Botta, 2016).

### **2.4.5. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA**

La conductividad hidráulica en suelos establece un indicador importante debido a que permite determinar y analizar cómo se da el movimiento del agua, escorrentía superficial o subterránea. La teoría más amplia e investigada para el estudio de la conductividad eléctrica es la Ley de Darcy, que explica como es el desplazamiento del agua a través de las capas del suelo, de esta manera permite identificar metodologías para estudios hidráulicos mediante una exploración geofísica permite analizar la capacidad hidráulica que tienen los suelos (Calle, 2012).

Permite explicar cómo se da la velocidad de penetración del agua en el suelo sabiendo así la capacidad que tiene para filtrarse. La conductividad hidráulica es una propiedad que tiene en particularidad medios porosos (macroporos-microporos), de ello depende la permeabilidad, porosidad y el rango de saturación que tenga este tipo de suelo con relevancia a su topografía (Ludwig M, 2008).

### **2.4.6. POROSIDAD Y RETENCIÓN DEL AGUA EN EL SUELO**

La conformación del suelo agrupa la forma, grado y volumen de los agregados. En resultado, afecta a la porosidad de tal manera, la retención y disponibilidad de agua, capacidad para contener aire. Toda esta incidencia de factores da una afectación en el desarrollo de raíces de cultivos, los indicadores como retención de agua y porosidad total permite enlazarse ya que la capacidad de retención de H<sub>2</sub>O en el suelo se da de acuerdo a la cantidad de macro poros, conjuntamente distribuido en una superficie específica de cada suelo investigado (Martínez, 2008).

## **2.5. PROPIEDADES QUÍMICAS**

### **2.5.1. POTENCIAL DE HIDROGENO**

Este factor determina el nivel de absorción de iones (H<sup>+</sup>) que se encuentran presentes en el suelo permitiendo saber si el suelo se encuentra básico o ácido. Permite conocer la

disponibilidad de nutrientes que ayudan al desarrollo de la planta, influye en la solubilidad, movilidad que tienen otros contaminantes y constituyentes inorgánicos que se encuentran en el suelo.

Los valores de oscilación son de 3.5 que es considerado como muy ácido hasta 9.5 que es considerado como muy alcalino. Los valores menores a 5.5 representan que el suelo tiene un aumento crítico de aluminio y magnesio tóxico, la interacción del suelo ante distintos factores influye en su pH, un adecuado valor de pH es de 6.5 a 7 (FAO, 2019).

## **2.5.2. ACIDEZ INTERCAMBIABLE Y ALUMINIO INTERCAMBIABLE**

La acidez intercambiable en suelos, se da con la presencia de hidrógeno ( $H^+$ ) y Aluminio ( $Al^{+3}$ ) la misma que causa una disminución en el pH su alta concentración de  $Al^{+3}$  aumenta las cantidades de acidez en las plantas interviniendo así en sus propiedades químicas y físicas en su estructura, permitiendo así una reducción en el crecimiento de las raíces y generando dificultades en el óptimo desarrollo de los cultivos. Las altas concentraciones de acidez en el suelo reducen en gran parte la utilidad, calidad de los cultivos llevando con el pasar del tiempo a obtener suelos pobres en nutrientes como: Ca, Mg, P, S y Zn los mismos que son esenciales para un suelo productivo (Millan, 2009).

## **2.5.3. MATERIA ORGÁNICA (MO)**

Son restos orgánicos de distinto origen entre lo más comunes conforman residuos de plantas que facilitan el desarrollo de especies, la capa orgánica se encuentra presente con mayor proporción en los 5 cm de la parte superficial del suelo, es todo organismo inerte que es depositado o que por efecto de gravedad cae al suelo convirtiéndose en abono. Influye en las propiedades y en el proceso de regeneración del suelo produciendo un desarrollo con capacidad de nutrientes presentes para su adaptabilidad (Davila, 2006).

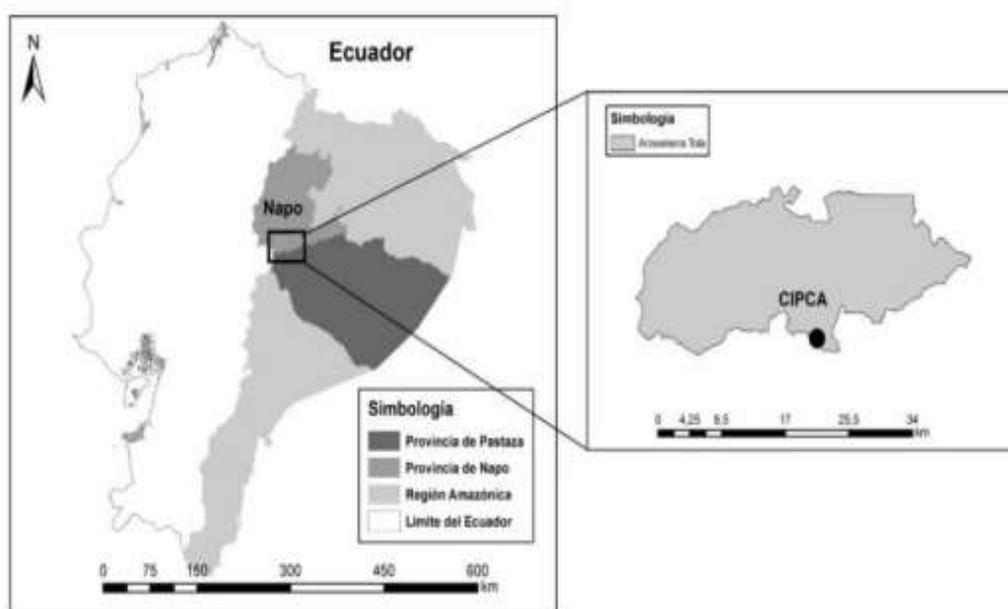
La materia orgánica tiene una composición cerca del 5% del N en su totalidad a su vez está compuesta por otros elementos para los cultivos como son el magnesio, calcio, fósforo, azufre y micronutrientes permitiendo que la materia orgánica sea eficaz para la plantación (Otiniano, 2006).

## CAPÍTULO III

### 3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.2. LOCALIZACIÓN

El área de estudio está ubicada en el cantón Arosemena Tola de la provincia de Napo, en el kilómetro 44 vía Puyo-Tena, con una temperatura que varía entre 15 a 25 °C y una humedad relativa de 80% entre los 580 y 990 msnm.



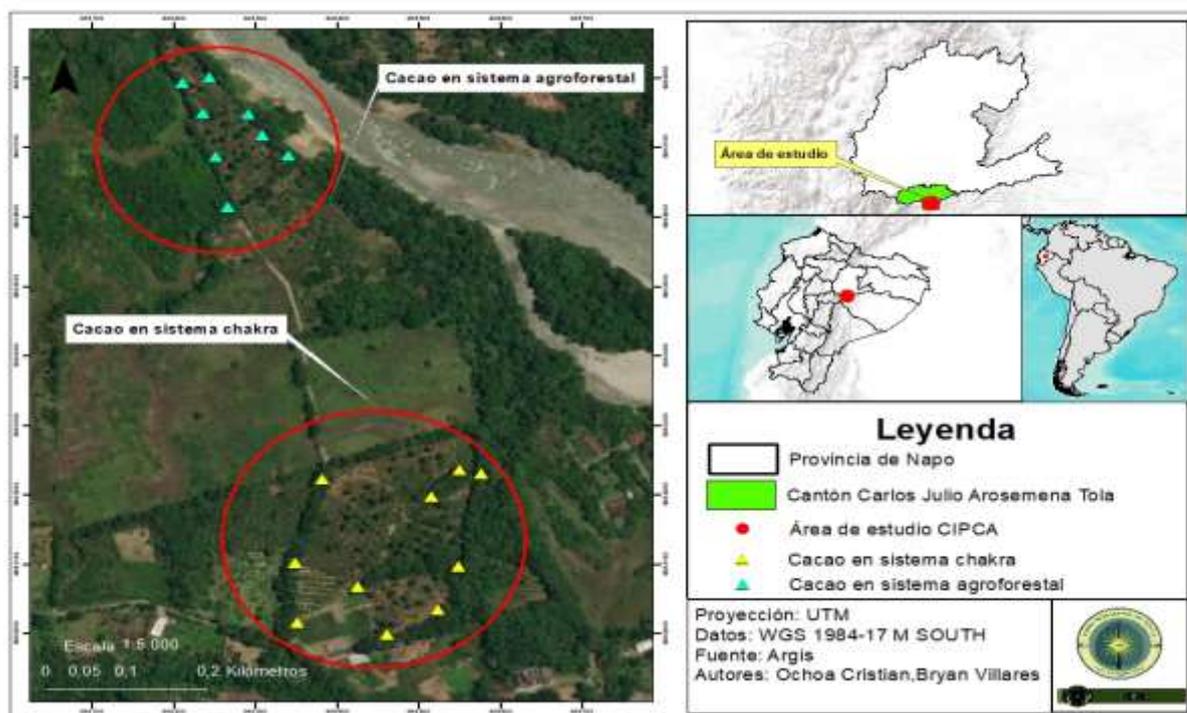
**Figura 2.** Mapa de localización del área de estudio

**Fuente:** Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica

### 3.3. LOCALIZACIÓN ESTRATIFICADA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Este territorio se encuentra localizado en la parte céntrica de la Amazonia Ecuatoriana limitando al sur con la provincia de Napo, al noreste tiene un límite provincial con Pastaza en conjunta confluencia de los ríos Piatúa y Anzu (Ortega, 2014)

La extensión de las áreas a estudiar comprende aproximadamente a 45938,5 m<sup>2</sup> para cacao tipo chakra y para cacao agroforestal 13803,5m<sup>2</sup>. En cada uno de las áreas destinadas a estudiar se realizó la colecta de muestras de suelo en campo para posteriormente ser realizado en laboratorio los respectivos análisis físicos y químicos.



**Figura 3.** Localización estratificada del área de estudio.

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

## 3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.4.1. ACTIVIDADES DE CAMPO

La metodología utilizada para el muestreo es planteado por Carrillo, y Sanz (1995). Donde hacen hincapié que un muestreo se debe dividir el área, en lotes y sub parcelas del mismo modo al momento de la división del área a estudiar debe tener homogeneidad y la edad del cultivo debe ser la misma.

El estudio se ejecutó en dos plantaciones (A, B) de cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) la plantación A cacao tipo chakra comprende una extensión de cuatro hectáreas de los cuales para el desarrollo del estudio se limitó a dos hectáreas con la finalidad de mantener una igualdad de extensiones y mantener un análisis significativo con el siguiente lote a analizar. Plantación B cacao agroforestal abarcando una extensión de dos hectáreas aproximadamente, localizadas en el Centro de investigación, posgrado y conservación amazónica. Las plantaciones se encuentran ubicadas una de otra con una distancia aproximada de 1.5 km así mismo se desarrollan en un ambiente tropical donde la

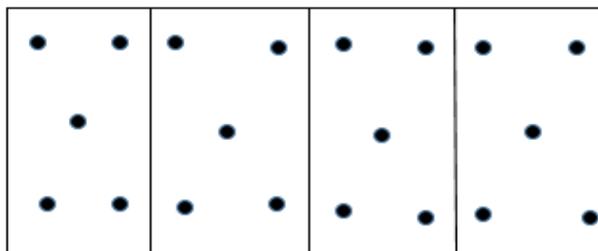
precipitación anual alcanza los 4000 mm y una temperatura que varía entre 15 a 25 °C, el terreno presenta una topografía en la que se caracteriza por tener ligeramente ondulaciones irregulares sin pendientes pronunciadas, distribuidos en mesetas naturales de gran extensión (Moya, 2006).

En el presente estudio se realizó:

1. Se estableció el área de estudio.
2. Se delimitó el lote cacao tipo chakra y cacao agroforestal

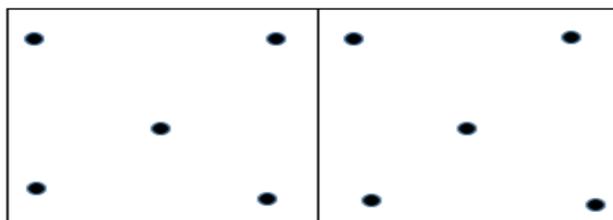
(Molina, 2010) Menciona que el suelo recogido debe tener un número determinado de sub muestras de áreas que no sean muy extensas y que facilite una representación puntual con la finalidad de que el error de muestreo sea mínimo.

Para los análisis físicos se dividieron en cuatro sub parcelas las cuales dentro de cada una se cogió cinco puntos de muestreo (P1, P2, P3, P4, P5) a distintas profundidades de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30cm cabe recalcar que para las tres profundidades se tomó del mismo punto.



**Figura 4.** Puntos de muestreo para análisis físicos.

Para pruebas químicas se dividió en dos sub parcelas y se estableció cinco puntos de muestreo (P1, P2, P3, P4, P5), a distintas profundidades de 0 a 10, 10 a 20cm, de igual manera para ambas profundidades se tomó del mismo punto.



**Figura 5.** Puntos de muestreo para análisis químicos.

El periodo experimental en campo tuvo una permanencia de una semana y tres días, la colección de muestras se concluye dos veces según el tiempo establecido, de los cuales se utilizó fundas herméticas para determinación de parámetros físicos y químicos teniendo una capacidad de 250 g. Las muestras fueron etiquetadas, donde se establece fecha y hora de colección de la muestra, punto GPS de muestreo y código de la muestra determinando el área y sub parcelas. Las muestras se transportaron en un cooler térmico para de esta manera mantener las condiciones originales de las muestras.

**Tabla 4. Coordenadas Cacao chakra.**

<b>Cacao sistema Chakra</b>		
<b>Puntos</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>P1</b>	178549	9863045
<b>P2</b>	178546	9863131
<b>P3</b>	178578	9863251
<b>P4</b>	178733	98633221
<b>P5</b>	178747	9863264
<b>P6</b>	178712	9863226
<b>P7</b>	178773	9863259
<b>P8</b>	178745	9863126
<b>P9</b>	178720	9863063
<b>P10</b>	178658	9863028
<b>P11</b>	178623	9863096

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

**Tabla 5. Coordenadas Cacao agroforestal.**

<b>Cacao Agroforestal</b>		
<b>Puntos</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>

<b>P1</b>	178407	9863821
<b>P2</b>	178439	9863829
<b>P3</b>	178432	9863777
<b>P4</b>	178487	9863776
<b>P5</b>	178505	9863745
<b>P6</b>	178448	9863715
<b>P7</b>	178463	9863642
<b>P8</b>	178536	9863716

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

Las muestras obtenidas fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Amazónica (UEA) para la determinación de análisis físicos químicos. Las metodologías que se utilizó para cada uno de los análisis fueron las propuestas por (Bravo, 2017).

### 3.5. ANÁLISIS FÍSICOS

Para la identificación de parámetros físicos de suelo se colectaron muestras con cilindros de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro acoplados a una camisa tipo Uhland, de los cuales se identificaron los siguientes parámetros:

#### 3.5.1. Densidad aparente ( $D_a$ )

La densidad aparente se determinó mediante la toma de medidas de cada uno de los cilindros y el volumen para aplicación de la siguiente fórmula según UNLP (Universidad Nacional de la Plata, 2019).

$$D_a = \frac{d}{V} \quad \text{Ecuación 1}$$

**$D_a$ :** Densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

**$V$ :** Volumen del cilindro ( $\text{cm}^3$ )

**$d$ :** Peso del suelo seco (g)

### **3.5.2. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA (KSAT)**

Mediante el método de carga variable (Amancha, 2005). Se utilizó un cilindro de 5 cm de altura y 5cm de diámetro el mismo que se encuentra adherido a una goma. Se manipulo muy detenidamente cada cilindro evitando el contacto directo con la muestra.

Las muestras saturadas fueron colocadas en un embudo la misma que se encuentra sobre un embace cristal transparente facilitando la visibilidad.

Se añadió detenidamente 100 ml de agua, misma que desciende hasta el final del cilindro. Se controló el tiempo de infiltración del agua, tomando lectura desde la primera gota hasta la última mediante el control del tiempo inicial y final, posteriormente se tomó la medición del agua infiltrada.

Una vez transcurrido las 24 horas no filtro toda el agua, se tomó medición de la cantidad exacta de agua filtrada (Pla, 2010).

$$\mathbf{Ksat} = \left(\frac{H1}{\Delta t}\right) * \ln\left(\frac{H2}{H3}\right) \quad \mathbf{Ecuación 2}$$

**Ksat:** Conductividad Hidráulica Saturada (cm/h)

**H1:** Altura del cilindro del suelo (cm)

**H2:** Altura del cilindro del suelo + Extensión (cm)

**H3:** Volumen Recogido / Área del Cilindro

**$\Delta t$ :** Tiempo transcurrido de infiltración del agua

### **3.5.3 Determinación de la Porosidad**

Se realizó el pesaje del suelo en los cilindros con la utilización de la balanza digital DHAUS (Pionner<sup>TM</sup>).

Se colocaron las muestras en un plato poroso modelo (1 BARCERAMIL), a través de una manguera conectada a un recipiente que filtra detenidamente agua hacia el plato.

Se controló la humedad del suelo en los cilindros nuevamente después de 3 a 4 horas y se tomó el peso una vez ya hidratadas.

Se a colocaron las muestras en el plato poroso, luego el recipiente de agua por debajo del plato teniendo una succión de líquido.

Se realizó la toma de pesos nuevamente después de 24 horas y 48 horas.

Las muestras fueron colocadas en la estufa marca (symphony) a 105° durante 24 h para obtener el peso seco de cada muestra, asimismo el peso del lienzo y la banda de goma.

Se calculó la Porosidad total y Poros de radio equivalente o mayor a 15 µm(Universidad Nacional de la Plata, 2019).

$$\mathbf{PT (\%)} = \frac{a-(c+d)}{V} * 100 \quad \mathbf{Ecuación 3}$$

**PT:** Porosidad Total (% v/v).

**a:** Peso saturado (g).

**c:** Peso del lienzo, la banda de goma y el cilindro metálico (g).

**d:** Peso del suelo seco.

**V:**  $\pi * r^2 * h$  = Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>).

$$\mathbf{Pa (\%)} = \frac{a-b}{V} * 100 \quad \mathbf{Ecuación 4}$$

**Pa:** Poros de radio equivalente mayor a 15 µm (% v/v).

**a:** Peso saturado (g).

**b:** Peso constante (g).

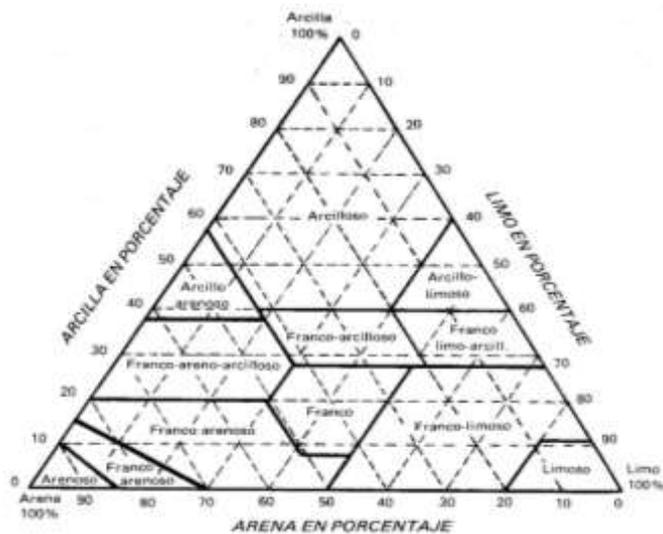
**V:**  $\pi * r^2 * h$  = Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>).

$$\mathbf{Pr (\%)} = It * Da \quad \mathbf{Ecuacion}$$

**Pr:** Porosidad de retención (% v/v).

**It:** Índice de textura.

**Da:** Densidad aparente.



**Figura 6.** Texturas del suelo

**Fuente:** Sánchez, 2007.

### 3.5.4 TEXTURA

El análisis de textura se determinó mediante el método del hidrómetro Bouyoucus propuesto por (Burt, 2004).

En un vaso de precipitación de 500 ml se pesó 40 g de suelo seco.

Se procedió añadir 100ml de solución de calgon a 5% (50 g de hexametáfosfato de sodio y 10 g de carbonato de sodio disueltos en 1L de agua destilada) y se dejó en reposo durante 24 horas.

Una vez reposada la muestra por 24 horas, se homogenizó la muestra en la malteadora industrial marca (HUMBOLDT) por 10 min.

Después de haber transcurrido el tiempo se trasvasó la muestra y aforamos con agua destilada a 1000ml, para el control de la espuma se vertieron gotas de alcohol amílico, para la determinación es necesario agregar 100ml de calgon en un probeta de 1000ml y aforar con agua como blanco.

Se agitó por 20 seg en la que se procedió a tomar la primera lectura con el hidrómetro a los 40 seg y se tomó lectura de la temperatura.

Se dejó reposar las muestras por dos horas para realizar la toma del segundo registro.

$$LC = (L_{tm} \pm FC) - (L_B \pm FC) \quad \text{Ecuación 5}$$

**LC:** Lectura corregida.

**L<sub>tm</sub>**: Lectura tomada de la muestra.

**FC**: Factor de Corrección.

**LB**: Lectura del Blanco.

$$\% \text{ Arena} = 100 - \left( \text{LC } 40\text{seg} * \frac{100}{gM} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

**% Arena**: porcentaje de arena

**LC**: Lectura corregida.

**gM**: Peso de la muestra.

$$\% \text{ Arcilla} = \text{LC}2\text{h} * \frac{100}{gM} \quad \text{Ecuación 7}$$

**% Arcilla**: Porcentaje de arcilla

**LC<sub>2h</sub>**: Lectura corregida después de 2 horas.

**gM**: Peso de la muestra

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla}) \quad \text{Ecuación 8}$$

**% Limo**: Porcentaje de limo.

**% Arena**: Porcentaje de arena.

**% Arcilla**: Porcentaje de arcilla.

## **3.6. Análisis Químicos**

### **3.6.1. Materia orgánica (MO)**

Este parámetro se determinó por medio calcinación en una estufa marca (symphony) a una temperatura de 360° durante 2 horas y por diferencia de peso en una balanza digital marca (Sartorius) (Dabadie, Pérez, Arturi, Goya, & Sandoval, 2018).

Se pesó 5 g de suelo de la muestra en crisoles de 15 ml.

Se procedió a colocar en la estufa durante 24 h a 105°C.

Las muestras fueron enfriadas en un desecador y posteriormente fueron pesadas.

Se colocó en una mufla durante 360°C durante 2 horas.

Posteriormente las muestras colocadas en el desecador para su enfriamiento y se tomó registro de pesos.

Se procedió a calcular el porcentaje de materia orgánica por diferencia de pesos a distintas temperaturas.

$$\%MO = \frac{(\text{peso } 105^{\circ}\text{C} - \text{peso } 360^{\circ}\text{C})}{\text{peso } 105^{\circ}\text{C}} \quad \text{Ecuación 10}$$

**%MO**= Porcentaje de materia orgánica

**Peso 105°C**= Peso de materia orgánica en la mufla a 105°C

**Peso 360°C**= Peso de materia orgánica en la mufla a 360°C

### **3.6.2. POTENCIAL DE HIDROGENO**

Se analizó las muestras mediante la metodología de potenciómetro con un phchimetro de mesa marca Sartorius (Professional Meter PP-20), con agitación durante la lectura permitiendo mantener una relación suelo-agua.

Se pesó 10 g de suelo en un recipiente de 35 ml y se añadió 25 ml de agua destilada.

Se procedió a colocar en el agitador por 5 min a 400 revoluciones por minuto (rpm) y se dejó reposar durante 30 min.

Una vez calibrado el equipo de medición de pH, se procedió con el análisis de cada muestra con un cuidado minucioso, se tomó en cuenta lavar el electrodo después de cada muestra analizada con el objetivo de ser eficientes en los resultados.

### **3.6.3. ACIDEZ INTERCAMBIABLE( $AL^{+3}+H^{+}$ )**

La determinación de este parámetro se realizó mediante la metodología de Bremmer y Milyaney 1994 para lo cual se procedió:

Se pesó 2,5 g de suelo en un recipiente de 35ml y se adiciono 25 ml de cloruro de potasio (KCL) 1N (74,6 g de cloruro de potasio aforar a 1L con agua destilada).

Se colocó la muestra en el agitador por 10 min a 400 rpm.

Se filtró las muestras a través de Papel Whatman #1.

Una vez filtrada la muestra se tomó una alícuota de 10 ml de agua destilada y 3 gotas de fenolftaleína 0,05% (0,05 g de fenolftaleína y disolver 50 ml de alcohol etílico, aforar a 100 ml con agua destilada).

Con una bureta de titracion se procedió a titular NaOH 1N (Hidróxido de sodio) (0,4 g de NaOH y aforar a 1L de agua destilada, se estandariza con un ácido de normalidad

conocida) hasta obtener un fluido de color rosado opaco, se tomó en cuenta realizar la titulación con suma precisión y exactitud.

Se registró la cantidad de ml de NaOH necesarios para titular cada muestra.

$$\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+} = \text{V1} * \text{N} * 100 \quad \text{Ecuación 11}$$

**V1:** Volumen de NaOH, utilizados al titular la fenolftaleína

**N:** Normalidad de NaOH (0,01)

$\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$ : meq/100mol o Cmol/kg

### **3.6.4. ALUMINIO INTERCAMBIABLE(Al+3)**

Para la determinación de este parámetro se analizó mediante la metodología de Bremmer Milyaney 1994, de esta manera se procedió con el estudio en laboratorio.

Se pesó 2,5 g de suelo en un recipiente de 35 ml y se adiciono 25 ml KCl 1N (Cloruro de Potasio) (74,6 g de cloruro de potasio, aforar a 1L con agua destilada).

Las muestras se mantienen en agitación durante 10 min a 400rpm.

Se filtró la muestra con la utilización de Papel Whatman.

Después de ser filtrada la muestra se tomó una alícuota de 10 ml del filtrado.

Posteriormente se añadió 10ml de agua destilada y 3 gotas de rojo de metileno 0,02% (0,02% g rojo de metilo disueltos en 60 ml con alcohol etílico y aforar a 100 ml con agua destilada).

Con una bureta se procedió a titular NaOH 1N (Hidróxido de sodio) (0,4 g de NaOH y aforar a 1L de agua destilada, en la que se estandariza con un ácido de normalidad conocida) hasta obtener una tonalidad amarillo opaco (Oliva, 2009).

Se registró la cantidad de ml NaOH necesarios para titular cada muestra.

Se determinó mediante el cálculo de:

$$\text{H}^{+} \text{intercambiable} = \text{V2} * \text{N} * 100 \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\text{Al}^{+3} = \text{Al}^{+3} + \text{H}^{+} - \text{H}^{+} \quad \text{Ecuación 13}$$

**V2:** Volumen de NaOH, utilizados al titular con el rojo de metilo

**N:** Normalidad de NaOH (0,01)

$\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$ : meq/100mol o Cmol/kg

### 3.6.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para la interpretación estadística de los datos obtenidos, como primer paso se determinó la estadística descriptiva que permite analizar la media, la desviación típica, valores mínimos (b) y máximos(a) significativos. Posteriormente se realizó un análisis de varianza (anova) para así interpretar las diferencias más significativas de cada parámetro estudiado y mediante la prueba de Tukey permite realizar comparaciones a un nivel de probabilidad de  $P_{<0,05}$ . Mediante el uso del programa estadístico IBM SPSS Statistics versión 21 fueron analizados cada uno de los resultados.

### 3.7. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se ejecutó con la investigación experimental y exploratoria.

#### 3.7.1. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Su desarrollo es científico el cual permite estudiar los diferentes parámetros del suelo, como lo es en campo y en laboratorio.

#### 3.7.2. INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Este tipo de investigación nos permite analizar los distintos parámetros como son los físicos y químicos que consistan en la realización de una representación o investigación del potencial de producción de teobroma cacao.

## CAPÍTULO IV

### 4.1. RESULTADOS

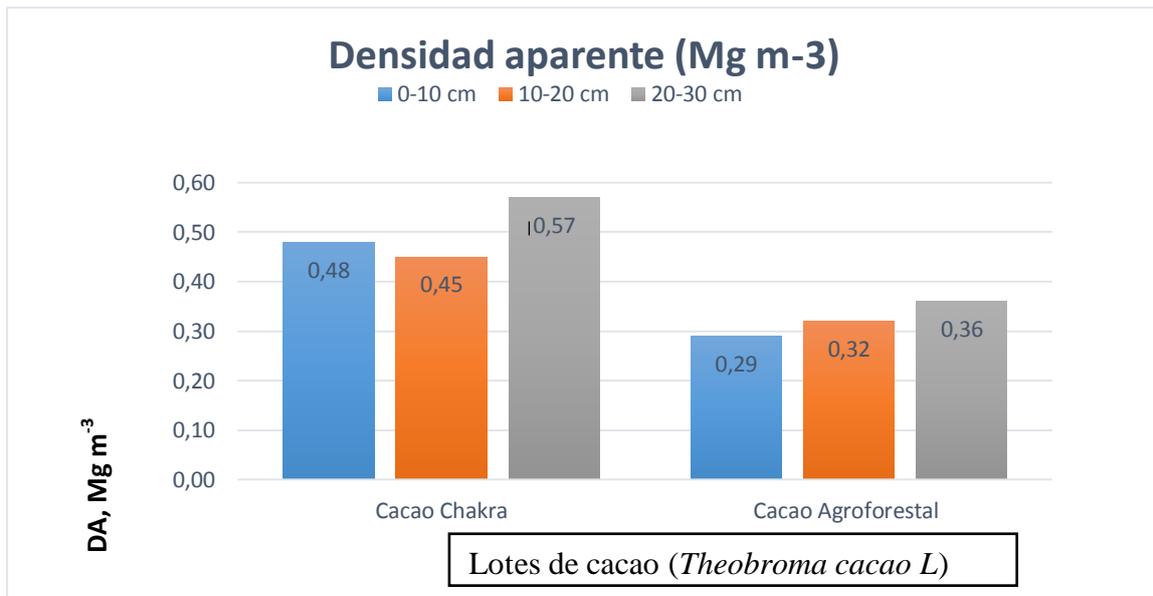
Análisis de parámetros físicos con referencia al potencial de producción de cacao (*Theobroma cacao L*) del CIPCA.

#### 4.2.1. DENSIDAD APARENTE (Da)

##### $\bar{X}$ Densidad aparente (Da)

Plantación	Profundidades (cm)		
	0-10	10-20	20-30
Cacao. Chakra	0,48	0,45	0,57
Cacao. Agroforestal	0,29	0,32	0,36

Fuente: Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).



**Figura 7.** Densidad aparente.

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

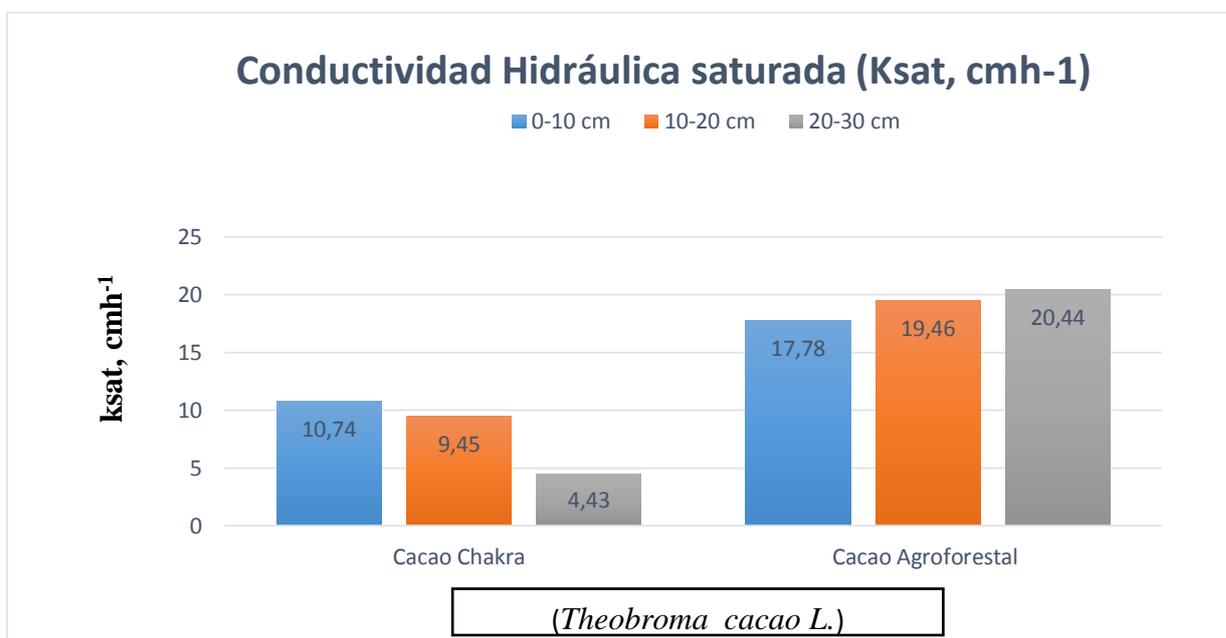
Se presentan datos analizados de densidad aparente del suelo obtenido a diferentes profundidades de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30cm en los cultivos de cacao tipo chakra y agroforestal se muestra los valores a nivel medio correspondientes a densidad aparente para las dos áreas de estudio. Esta determinación permite conocer el aumento de la densidad aparente para el cultivo de cacao tipo chakra debido al constante caminar de personas y un control irregular en la plantación, ocasionando una alteración de los poros del suelo que da paso a su compactación, de esta manera se puede analizar que el cultivo de cacao agroforestal tiene menos nivel de densidad aparente por sus características originales y al no estar expuestas a las intervenciones antrópicas lo cual es favorable para el desarrollo de la plantación. De acuerdo a las investigaciones realizadas por (Toboadá & Álvarez, 2008), podemos identificar que a mayor profundidad aumenta la densidad aparente del suelo.

## 4.2.2. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA (Ksat, cmh<sup>-1</sup>)

### $\bar{X}$ Conductividad Hidráulica

Plantación	Profundidades (cm)		
	0-10	10-20	20-30
Cacao. Chakra	10,74	9,45	4,43
Cacao. Agroforestal	17,78	19,46	20,44

Fuente: Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).



**Figura 8.** Conductividad hidráulica saturada.

Fuente: Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

Los datos obtenidos en la **Figura 8** mediante la conductividad hidráulica saturada a las distintas profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm para los dos tipos de cultivos Chakra y Agroforestal. Nos proporciona, que en las tres profundidades hay una evidente variación de medias como son las de 0-10 en el lote chakra 10.74 cm<sup>3</sup>/h a comparación del lote agroforestal con 17.78 cm<sup>3</sup>/h de igual manera para la profundidad de 10-20 cm se evidencia que el lote chakra tiene 9.45 cm<sup>3</sup>/h y el lote agroforestal 19.46 cm<sup>3</sup>/h, por último la profundidad de 20-30 cm es la más relevante

con valores para el lote chakra 4.43 cm<sup>3</sup>/h y para el lote agroforestal 20.44 cm<sup>3</sup>/h siendo evidente que el lote tipo chakra tiene una baja conductividad saturada dando un aumento a micro poros y disminuyendo macro poros, que son la base para que se dé la filtración (Darío, 2015). El lote tipo chacra tiene conductividad hidráulica permisible teniendo así una mejor filtración del agua favoreciendo a los nutrientes y la carga microbiana.

### 4.2.3. POROSIDAD DE AIREACIÓN

#### $\bar{X}$ Porosidad de aireación

Plantación	Profundidades (cm)		
	0-10	10-20	20-30
Cacao. Chakra	12,65	13,03	13,07
Cacao. Agroforestal	16,52	15,49	13,58

Fuente: Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

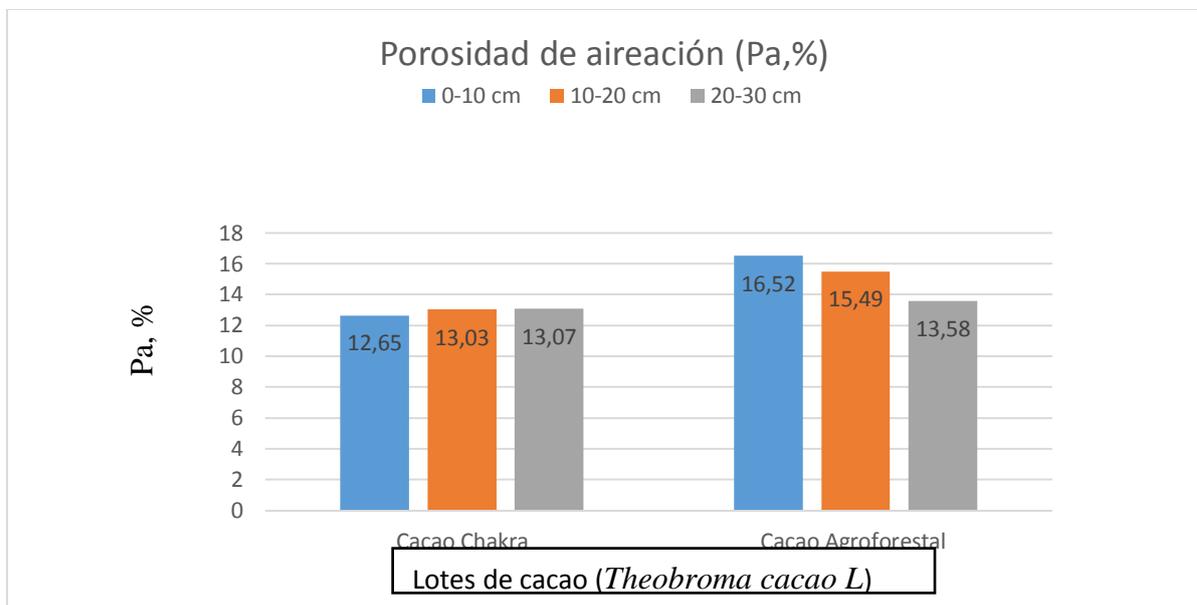


Figura 9. Porosidad de aireación (0-10,10-20,20-30) cm.

El parámetro de Pa obtenido en cultivos de cacao tipo chakra y agroforestal a diferentes profundidades de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30cm. Permite diferenciar a las dos áreas de cultivo de (*Theobroma cacao L.*) para el cultivo tipo chakra con un porcentaje de 14,58 presentando un nivel menos de aireación y para cultivo agroforestal 16,52 posee un elevado nivel de porosidad de aireación por presencia de macroporos facilitando un flujo

de aire hacia la superficie dando un resultado variado para la primera profundidad a (0-10)cm .Para la determinación de la segunda profundidad (10-20cm) El cacao tipo chakra con un porcentaje (13,16) tienen menos aireación de acuerdo a la cantidad de microporos presentes y para cacao agroforestal presenta un porcentaje (15,49) dando como resultado un suelo con buena aireación por la presencia de micro poros y macro poros. Las concentraciones de aireación más bajas se pueden analizar cuando la profundidad aumenta existe presencia de microporos (20 a 30cm) dando un porcentaje para cacao agroforestal (14,82) y cacao tipo chakra un valor de (12,23) esta disminución de rangos se debe a la presencia de microporos que afectan en gran medida los flujos aire por el impedimento y desarrollo de macroporos que son indispensables para la oxigenación del suelo (González, 2010).

#### 4.2.4. POROSIDAD DE RETENCIÓN

##### $\bar{X}$ Porosidad de retención

T.Cultivo	Profundidades (cm)		
	0-10	10-20	20-30
Cacao. Chakra	55,09	60,11	61,48
Cacao. Agroforestal	69,05	67,07	70,76

Fuente: Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

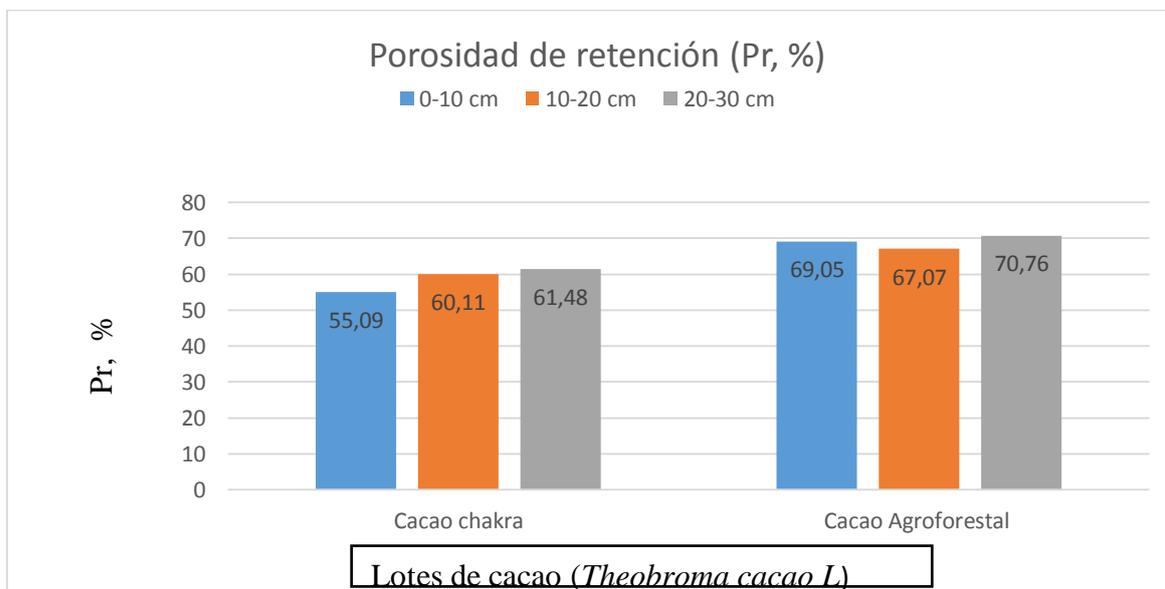


Figura 10. Porosidad de retención (0-10,10-20,20-30) cm.

Fuente: Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

Los datos obtenidos mediante la **figura 10** de porosidad de retención en el suelo de los cultivos de (*Theobroma cacao L*) en el CIPCA a las distintas profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30cm para los dos tipos de cultivo Chakra y Agroforestal. Proporciona que en las tres barras existe una variación de medias como son las de 0-10 en el lote chakra 55.09 % a comparación del lote agroforestal con 69.05 % de igual manera para la profundidad de 10-20 cm se evidencia que el lote chakra tiene 60.11 % y el lote agroforestal 67.07%, por último la profundidad de 20-30 cm con valores para el lote chakra 61.48% y para el lote chakra 70.76 %.

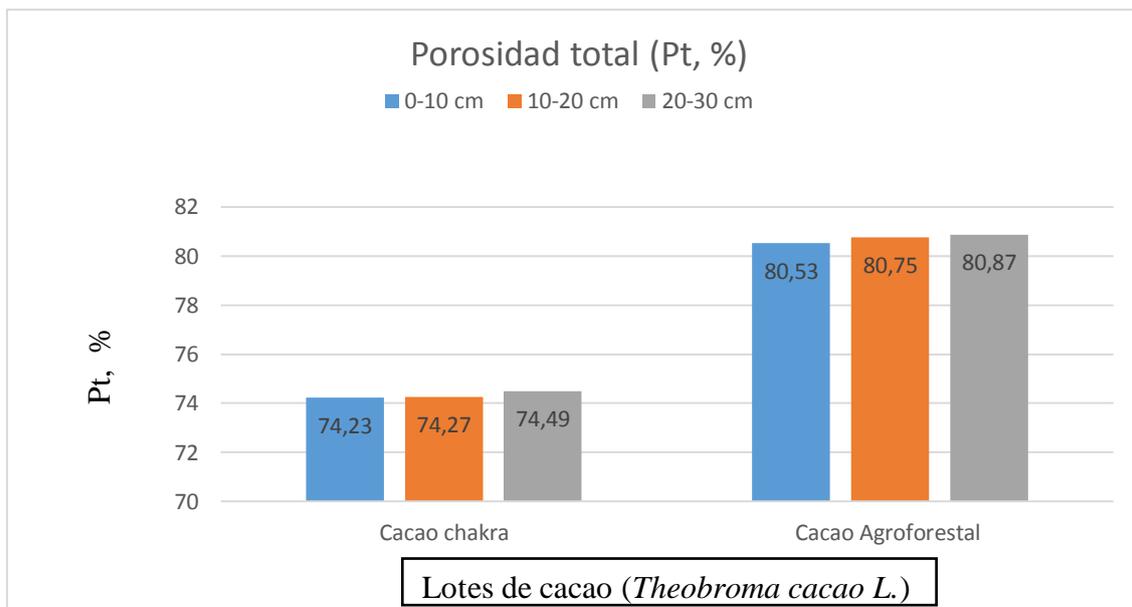
Es evidente que el lote tipo chakra posee una alta cantidad de microporos, provocando una dispersión del agua que dificulta su retención ocasionando que el suelo se torne seco causando una compactación y aumentando de la densidad aparente disminuyendo su estructura, llegando a una disminución de porosidad de retención. Este efecto ocasiona que el suelo dificulte abastecerse de agua, afectando no solamente al suelo si no a sus raíces, y por ende al crecimiento de los cultivos (Arranz C., 2011).

#### **4.2.5. POROSIDAD TOTAL**

##### **$\bar{X}$ Porosidad total**

<b>T.Cultivo</b>	<b>Profundidades (cm)</b>		
	<b>0-10</b>	<b>10-20</b>	<b>20-30</b>
<b>Cacao. Chakra</b>	74,23	74,27	74,49
<b>Cacao. Agroforestal</b>	80,53	80,75	80,87

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).



**Figura 11.** Porosidad total.

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

Los datos obtenidos mediante la **figura 11** de porosidad total en el suelo de los cultivos de (*Theobroma cacao L.*) en el CIPCA a distintas profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm para los dos tipos de cultivos tipo Chakra y Agroforestral.

Proporciona que en las tres existe una variación de medias como son las de 0-10 en el lote chakra 74.23% a comparación del lote agroforestral con 80.53 % de igual manera para la profundidad de 10-20 cm se evidencia que el lote chakra tiene 77.27 % y el lote agroforestral 80.75%, por último, la profundidad de 20-30 cm con valores para el lote chakra 74.49% y para el lote chakra 80.87 % .

Se evidencia que los datos del lote agroforestral son elevados, esto se debe a que el cultivo no tiene mucha intervención en su desarrollo y las condiciones en las que se encuentra son naturales a su vez las características que tiene le favorecen al no poseer perturbación. La plantación Chakra evidencia un nivel bajo en sus medias esto se interpreta que los macroporos, que se encuentran en el suelo se están disminuyendo y este efecto produce un déficit en la retención del agua y en el flujo de aire ocasionando que el cultivo tienda a tener un mal desarrollo. (Bravo & Tapia, 2017).

**Tabla 6.** Variabilidad de rangos físicos (0-10cm).

<b>Variables</b>	<b>Plantación</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>Da</b>	Cacao chakra	0,48	0,06	0,29	0,50
	Cacao Agro	0,29	0,05	0,27	0,42
<b>KSAT</b>	Cacao chakra	10,74	24,42	0,25	103,92
	Cacao Agro	17,78	12,74	1,41	42,73
<b>PT</b>	Cacao chakra	74,23	4,82	61,83	83,09
	Cacao Agro	80,53	3,22	75,15	87,51
<b>PA</b>	Cacao chakra	12,65	5,22	8,27	25,06
	Cacao Agro	16,52	9,03	0,91	24,80
<b>Pr</b>	Cacao chakra	55,09	9,09	34,41	73,80
	Cacao Agro	69,05	8,48	55,91	81,90

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

**Tabla 7.** Variabilidad de rangos físicos (10-20cm).

<b>Variables</b>	<b>Plantación</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>Da</b>	Cacao chakra	0,36	0,10	0,04	0,50
	Cacao Agro	0,28	0,04	0,29	0,45

<b>KSAT</b>	Cacao chakra	9,45	16,05	0,13	61,52
	Cacao Agro	19,46	11,53	4,11	39,75
<b>PT</b>	Cacao chakra	77,27	4,48	68,64	84,78
	Cacao Agro	80,75	4,83	71,32	87,31
<b>PA</b>	Cacao chakra	13,16	5,07	8,19	25,60
	Cacao Agro	15,49	8,98	1,19	23,73
<b>Pr</b>	Cacao chakra	60,11	7,63	47,36	76,11
	Cacao Agro	67,07	9,61	50,13	82,35

---

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

**Tabla 8.** Variabilidad de rangos físicos (20-30cm).

<b>Variables</b>	<b>Plantación</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>Da</b>	Cacao chakra	0,42	0,10	0,28	0,61
	Cacao Agro	0,36	0,05	0,29	0,47
<b>KSAT</b>	Cacao chakra	4,43	21,62	0,24	74,68
	Cacao Agro	20,44	13,11	3,86	49,42
<b>PT</b>	Cacao chakra	74,49	12,36	24,84	82,97
	Cacao Agro	80,87	5,28	64,08	90,11

<b>PA</b>	Cacao chakra	12,23	7,12	5,36	23,92
	Cacao Agro	14,82	8,31	1,07	22,66
<b>Pr</b>	Cacao chakra	61,48	10,40	43,93	75,31
	Cacao Agro	70,76	9,59	52,94	83,99

---

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

**Nota:** en las tres tablas podemos apreciar la variabilidad de rangos físicos de los dos tipos de manejo a distintas profundidades (0-10,10-20,20-30) cm mediante la utilización del programa estadístico (SPSS) se aclara los resultados obtenidos del sistema agroforestal del CIPCA los mismos que se encuentran con una media aceptable significativa para la producción del cultivo, a comparación del manejo chakra se analizaron valores promedios, proporcionados por el sistema estadístico, esto determino que el suelo está expuesto a una alteración en su estado físico siendo una problemática para el desarrollo de la plantación.

#### **4.3.1. Parámetros químicos del suelo asociados al potencial de producción de (*Theobroma cacao L.*) del CIPCA.**

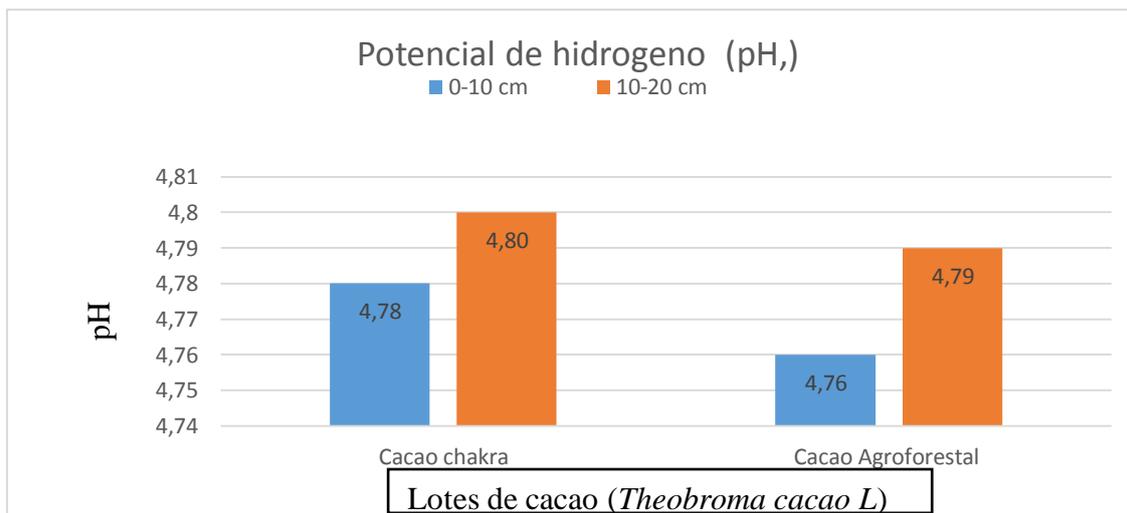
#### **4.3.2. POTENCIAL DE HIDROGENO PH**

##### **$\bar{X}$ Potencial de hidrogeno**

<b>Plantación</b>	<b>Profundidades (cm)</b>	
	<b>0-10</b>	<b>10-20</b>
<b>Cacao. Chakra</b>	4,78	4,80
<b>Cacao. Agroforestal</b>	4,76	4,79

---

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).



**Figura 12.** Potencial de hidrogeno.

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

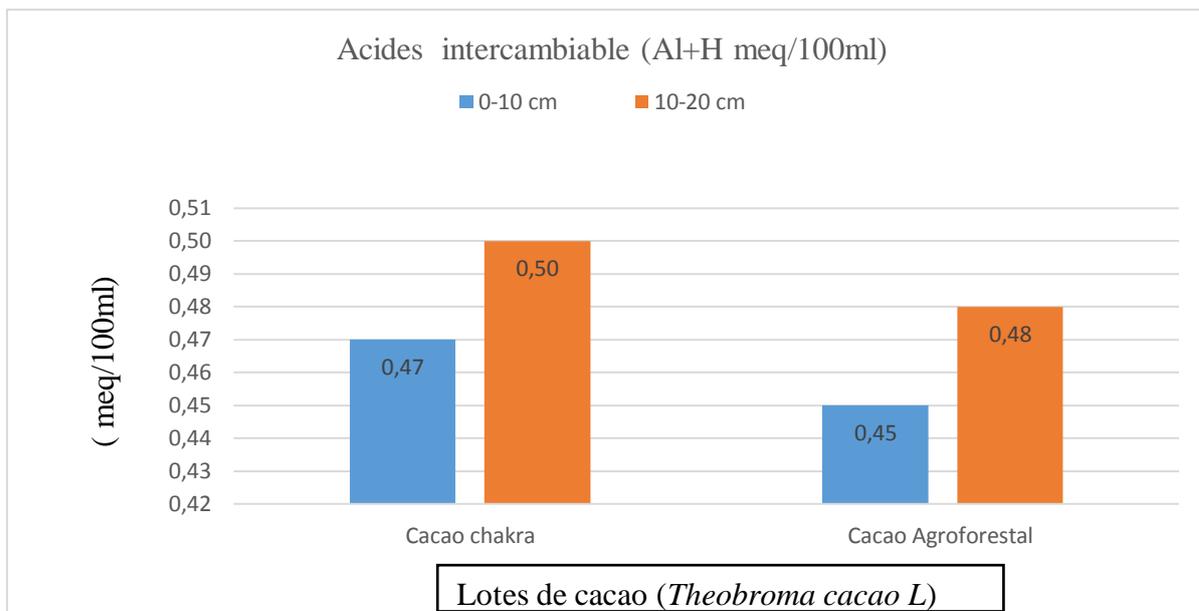
En este grafico se determina el parámetro pH pertenecientes a los cultivos de cacao tipo chakra y cacao agroforestal a dos profundidades, de 0 a 10 y 10 a 20 cm. Podemos observar que el pH presentó a la primera profundidad (0-10cm) para cacao tipo chakra un rango de (4,78) y para cacao agroforestal (4,73) lo que permite interpretar el resultado de comparación entre los dos cultivos que presenta suelos ácidos. Para la interpretación de la segunda profundidad (10-20cm). Permite obtener valores para cacao tipo chakra (5) y cacao agroforestal (4,91) teniendo como resultado para cada tipo de cultivo suelos ácidos. Se establece que el proceso que origina acidez al suelo se da por la presencia de aluminio e hidrógeno, ya que de esta manera da limitantes para el desarrollo de cultivos (Bravo, 2016).

### 4.3.3. ACIDEZ INTERCAMBIABLE (AL+H)

#### X Acidez intercambiable (AL+H)

Plantación	Profundidades (cm)	
	0-10	10-20
Cacao. Chakra	0,47	0,50
Cacao. Agroforestal	0,45	0,48

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).



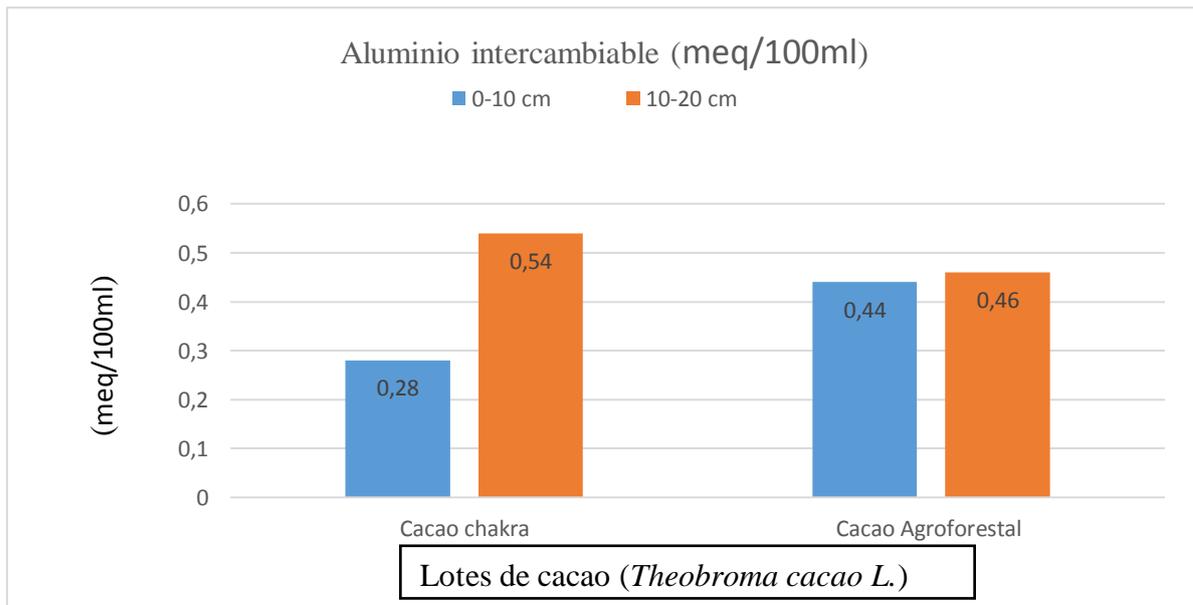
**Figura 13.** Acides intercambiable.  
**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

#### 4.3.4. ALUMINIO INTERCAMBIABLE (MEQ/100ML)

##### $\bar{X}$ Aluminio intercambiable (MEQ/100ML)

Plantación	Profundidades (cm)	
	0-10	10-20
Cacao. Chakra	0,28	0,54
Cacao. Agroforestral	0,44	0,46

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).



**Figura 14.** Aluminio intercambiable.  
**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

En esta tabla podemos identificar dos indicadores químicos del suelo en la que permite observar que la acidez, no da conocer diferencias significativas en los rangos obtenidos  $P \leq 0,05$  para los dos cultivos ya que permiten identificar que se mantienen dentro de los rangos medios (0-10cm) y (10-20cm). Sin embargo, los valores de la segunda profundidad presentan un aumento en aluminio intercambiable. Este aumento influye a que disminuya la fertilidad del suelo y un desarrollo del cultivo con un nivel de productividad medio (Eugenia, Zapata, Sadeghian, & Franco, 2004).

Los valores de acidez intercambiable a la primera profundidad de (0-10cm) en el cultivo de cacao tipo chakra y agroforestral mantienen rangos similares para los dos cultivos permitiendo tener una estrecha similitud para la acidez intercambiable del suelo. Para la segunda profundidad los valores de acidez intercambiable obtenidos a la profundidad de (10 a 20cm) se mantienen dentro de un rango más elevado debido a las concentraciones que tiene la materia orgánica en el suelo (Realpe Bravo, Pardo Arboleda, & Peinado Martín, 2014).

### 4.3.5. MATERIA ORGÁNICA (MO, %)

#### $\bar{X}$ Materia orgánica (MO, %)

Plantación	Profundidades (cm)	
	0-10	10-20
Cacao. Chakra	20,12	23,65
Cacao. Agroforestal	28,60	26,42

Fuente: Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

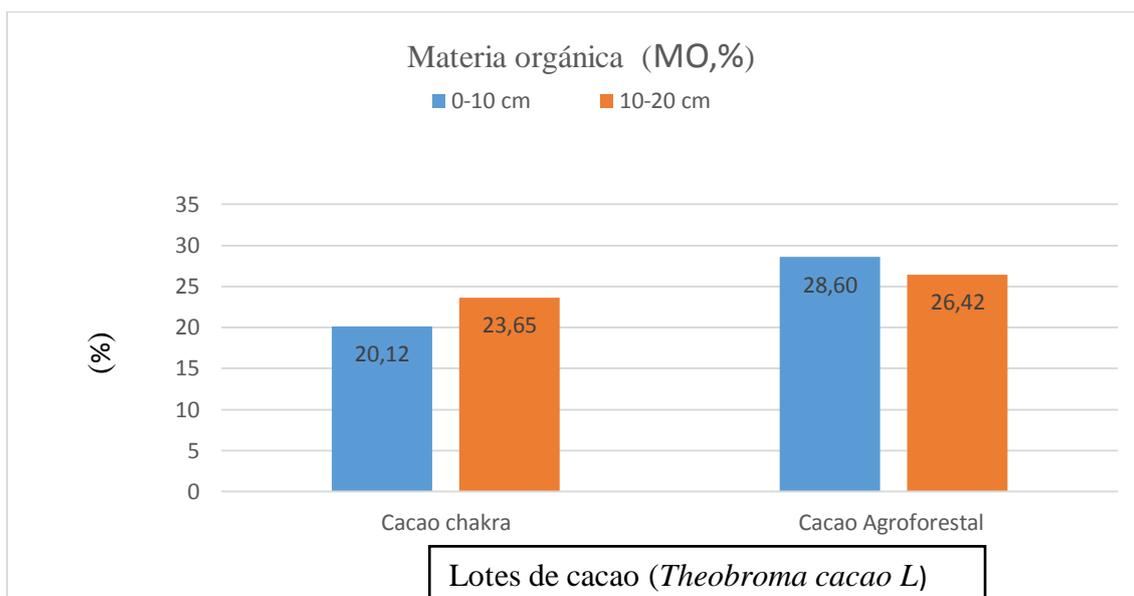


Figura 15. Materia Orgánica.

Fuente: Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

Los datos obtenidos de materia orgánica en el suelo de los cultivos de teobroma cacao en el CIPCA a las distintas profundidades de 0-10 y 10-20 cm para los dos tipos de cultivos Chakra y Agroforestal. Establece que en las 2 profundidades existe una variación de medias como son las de 0-10 en el lote chakra 20.12% a comparación del lote agroforestal con 28.60 % de igual manera para la profundidad de 10-20 cm se evidencia que el lote chakra tiene 23.65 % y el lote agroforestal 26.42.

La interpretación de la **figura 15** nos da a conocer que el manejo agroforestal está en mejores condiciones con respecto a la materia orgánica, su favorecimiento es porque no tiene una alta intervención a comparación de lote chakra que al tener niveles bajos dificulta la nutrición del suelo ocasionando una regular producción en sus cultivos a su vez la acumulación de (MO) se da principalmente por los restos de vegetales y de

animales que mediante su descomposición favorecen al suelo, teniendo una mayor carga orgánica y una mejor nutrición para su desarrollo (Aleman, 2017).

**Tabla 9. Variabilidad de rangos (0-10) en parámetros químicos.**

<b>Variables</b>	<b>Plantación</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>pH</b>	Cacao chakra	4,78	0,31	4,68	5,30
	Cacao Agro	4,73	0,18	4,68	5,09
<b>Al+H meq/100ml</b>	Cacao chakra	0,47	0,14	1,60	1,90
	Cacao Agro	0,45	0,56	1,90	3,40
<b>Al meq/100ml</b>	Cacao chakra	0,28	0,14	0,40	0,70
	Cacao Agro	0,44	0,46	0,20	1,50
<b>M.O %</b>	Cacao chakra	20,12	1,63	22,10	25,20
	Cacao Agro	28,60	2,03	21,10	26,40
<b>Arena</b>	Cacao chakra	44,80	6,95	37,00	53,00
	Cacao Agro	45,60	10,78	33,00	57,00
<b>Limo</b>	Cacao chakra	27,40	2,99	23,00	30,00
	Cacao Agro	28,00	5,43	23,00	36,00

<b>Arcilla</b>	Cacao chakra	27,60	4,79	22,00	33,00
	Cacao Agro	26,40	6,12	19,00	32,00

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

**Tabla 10.** Variabilidad de rangos (10-20) en parámetros químicos.

<b>VARIABLES</b>	<b>Plantación</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>pH</b>	Cacao chakra	5,00	0,31	4,68	5,30
	Cacao Agro	4,91	0,18	4,68	0,09
<b>Al+H meq/100ml</b>	Cacao chakra	0,50	0,14	1,60	1,90
	Cacao Agro	0,48	0,56	1,90	3,40
<b>Al meq/100ml</b>	Cacao chakra	0,54	0,14	0,40	0,70
	Cacao Agro	0,46	0,46	0,20	1,50
<b>M.O %</b>	Cacao chakra	23,65	1,63	22,10	25,20
	Cacao Agro	26,42	2,03	21,10	26,40
<b>Arena</b>	Cacao chakra	46,50	6,95	37,00	53,00
	Cacao Agro	44,67	10,78	33,00	57,00
<b>Limo</b>	Cacao chakra	27,25	2,99	23,00	30,00
	Cacao Agro	29,67	5,43	23,00	36,00

<b>Arcilla</b>	Cacao chakra	26,25	4,79	22,00	33,00
	Cacao Agro	25,67	6,12	19,00	32,00

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

**Nota:** Refleja la variabilidad de rangos químicos de los dos tipos de manejo a distintas profundidades (0-10,10-20) cm .Mediante la utilización del programa estadístico (SPSS) se determinó que mantienen similitud dentro de sus medias( $\bar{x}$ ) a comparación de parámetros físicos las condiciones del suelo mantienen un nivel aceptable llevando así alcanzar mejores estándares de producción.

#### 4.3.6. TEXTURA DEL SUELO

**Tabla 11.** CLASE TEXTURAL DE (0 -10, 10-20 cm). Cacao Chakra.

<b>Plantación</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Punto</b>	<b>Arena</b>	<b>Limo</b>	<b>Arcilla</b>	<b>Clase textural</b>
			<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	
<b>Cacao chakra</b>	(0-10 cm)	1	46	25	28	Franco arcilloso arenoso
<b>Cacao chakra</b>	(0-10 cm)	2	45	25	30	Franco arcilloso
<b>Cacao chakra</b>	(0-10 cm)	3	45	29	26	Franco
<b>Cacao chakra</b>	(0-10 cm)	4	42	30	28	Franco arcilloso
<b>Cacao chakra</b>	(0-10 cm)	5	46	28	26	Franco
<b>Cacao chakra</b>	(10-20cm)	6	46	28	26	Franco
<b>Cacao chakra</b>	(10-20cm)	7	53	23	24	Franco arcilloso arenoso
<b>Cacao chakra</b>	(10-20cm)	8	37	30	33	Franco
<b>Cacao chakra</b>	(10-20cm)	9	50	28	22	Franco arcilloso
<b>Cacao chakra</b>	(10-20cm)	10	33	35	32	Franco arcilloso

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

Mediante la determinación de la clase textural con la profundidad de 0 a 10 cm predomina en el cacao tipo chakra un suelo franco arcilloso arenoso con un porcentaje de arena de un 44,8 %, limo 27,4%, arcilla 27,6. Para la segunda profundidad 10-20 cm se analiza que el

suelo comprende una clase textural de Franco arcilloso arenoso con porcentajes de arena 43,8%, limo 28,8%, arcilla 27,4%. De acuerdo a estudios investigados por (Burt, 2004).

**Tabla 12.** CLASE TEXTURAL DE (0 -10 cm). Cacao Agroecológico.

<b>Plantación</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Punto</b>	<b>Arena (%)</b>	<b>Limo (%)</b>	<b>Arcilla (%)</b>	<b>Clase textural</b>
<b>Cacao agro</b>	(0-10 cm)	1	52	27	21	Franco arcillosos arenoso
<b>Cacao agro</b>	(0-10 cm)	2	38	31	31	Franco arcilloso
<b>Cacao agro</b>	(0-10 cm)	3	48	28	24	Franco
<b>Cacao agro</b>	(0-10 cm)	4	48	23	29	Franco arcilloso arenoso
<b>Cacao agro</b>	(0-10 cm)	5	42	31	27	Franco arcilloso
<b>Cacao agro</b>	(10-20cm)	6	52	29	19	Franco
<b>Cacao agro</b>	(10-20cm)	7	57	24	19	Franco arenoso
<b>Cacao agro</b>	(10-20cm)	8	35	36	29	Franco arcilloso
<b>Cacao agro</b>	(10-20cm)	9	54	23	23	Franco arcilloso arenoso
<b>Cacao agro</b>	(10-20cm)	10	37	31	32	Franco arcilloso

**Fuente:** Christian Ochoa, Bryan Villares (2019).

Mediante la determinación de la clase textural con la profundidad de 0 a 10 cm predomina en el cacao agroforestal un suelo franco arcilloso arenoso y franco arcilloso con un porcentaje de arena 45,6 %, limo 28%, arcilla 26,4. Para la segunda profundidad 10-20 cm se analiza que el suelo comprende una clase textural de Franco arcilloso con porcentajes de arena 47%, limo 28,6% , arcilla 24,4%.De acuerdo a estudios investigados (Burt, 2004).

## CAPITULO V

### 4.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.4.1. CONCLUSIONES

- El estudio realizado en suelos con cultivo de (*Theobroma cacao L.*) permitió conocer que no hubo diferencias significativas a las tres profundidades estudiadas, a su vez los resultados que se obtuvieron se encuentran en un promedio significativo como se puede evidenciar en cada una de las tablas.
- La conductividad hidráulica saturada (Ksat) y la densidad aparente (Da) permitió conocer que el suelo en el manejo tipo chakra se encuentra en el rango para llegar a ser característico ya que sus valores obtenidos mediante análisis físicos son mayores al otro tipo de manejo, esto se debe a la intervención antrópica y al manejo inadecuado que se está realizando.
- Los resultados arrojados en las porosidades del suelo (Pa, Pr, Pt) a distintas profundidades da a conocer los cambios existentes que se dan de acuerdo a los diferentes manejos, como es evidente los datos en el manejo de cacao tipo chakra son bajos dando paso a una afectación en su capacidad de aireación, retención y estructura ocasionando alteración en su fertilidad y disminución en su potencial de producción.
- Los parámetros químicos en los dos tipos de manejo de cultivo permiten indicar que no existió diferencias significativas ya que las propiedades químicas del suelo en las dos áreas se comprobaron una similitud de resultados, teniendo en cuenta que el cacao de manejo agroforestal se encontró en mejores rangos permitiéndole adquirir mejores concentraciones de biomasa.
- Dentro de los parámetros analizados se pudo determinar que no existió mayor diferencia con una leve variación en sus rangos medios para la obtención de resultados de indicadores físicos y químicos del suelo, conociendo con una mejor adaptación para una producción en el sistema de manejo agroforestal.
- La interpretación de datos para los dos sistemas de manejo, se realizó con el programa estadístico (SPSS), ayudando a garantizar la coherencia uno a cada uno de los rangos mínimos y máximos obtenidos a partir del análisis en laboratorio.
- Determinar parámetros físicos químicos en el suelo han permitido comprobar su potencial de producción de (*Theobroma cacao L.*) obteniendo mejoras en el sistema de manejo agroforestal del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios de continuidad en análisis físico químico y microbiológico para evidenciar los cambios que pueden presentarse en los tipos de manejo y de esta manera se podría determinar si el sistema sigue teniendo falencias o mejoras en su desarrollo.
- Capacitar al personal encargado de cultivos, en un mejor manejo de suelos para un desarrollo sostenible adecuado.
- Formar bordes de protección para cada uno de las plantaciones evitando la deforestación.
- Se recomienda realizar estudios similares de suelo a futuro, tanto en las áreas intervenidas como en las no intervenidas, para potenciar su buen manejo en el primer caso y su conservación en el segundo caso.

## CAPÍTULO VI

### BIBLIOGRAFIA

- Agricultura., O. d. (2019). El suelo. *Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura.*, 1-2.
- Aleman, B. . (2017). *Propuesta de manejo agroecológico de los sistemas ganaderos en la región amazónica ecuatoriana.* Amazonia Ecuatoriana.
- Amancha, E. (2005). *DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS BASADOS EN BASADOS EN LA METODOLOGIA DEL INFILTROMETRO DE MINI DISCO EN LA ZONA DE YANAHURCO NAPO. YANAHURCO,NAPO.*
- Andes. (2019). El Tiempo. Obtenido de [www.eltiempo.com.ec](http://www.eltiempo.com.ec)
- Andrade, N. P. (2009). Manual de cultivo de Cacao para la Amazonia ecuatoriana. Orellana.
- Anecacao. (2015). Anecacao. Obtenido de <http://www.anecacao.com/>
- Arranz C., G. J. (2011). SISTEMAS DE LABRANZA: EFECTO DEL PASTOREO ANIMAL.
- Arrieche, R. A.-S. (2012). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO, EN EL SISTEMA PRODUCTIVO ORGÁNICO LA ESTANCIA, MADRID, CUNDINAMARCA.* Bogotá.
- Bastidas, Y., & Tepud, O. (2014). *Evaluación del algunas propiedades físicas y químicas del suelo, en sistemas tipificados de café (Coffea arabica L) en el municipio de la Unión-Nariño.* Nariño.
- Blake, G. y. (1986). Métodos de análisis de suelos. *Investigacion cientifica*, 363-382.
- Bravo. (2016). *IMPACTO AMBIENTAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO SOBRE LOS PARAMETROS EDAFICOS EN LA RESERVA DE BIOSFERA SUMACO, PROVINCIA DE NAPO.* Napo.
- Bravo. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica. *Revista Electronica de Veterinaria*, 7-9.
- Bravo. (2017). La fertilidad del suelo como un Servicio Ecosistémico en cultivo de cacao (Theobroma cacao L), en la provincia de Napo. *ResearchGate*, 18-23.
- Bravo, B. T., & Tapia, A. (2017). *Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía.*

- Bravo, C. (2016). *IMPACTO AMBIENTAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO SOBRE LOS PARAMETROS EDAFICOS EN LA RESERVA DE BIOSFERA SUMACO, PROVINCIA DE NAPO, 2016*). Napo.
- Bravo, C. (2016). (*Bravo C. , IMPACTO AMBIENTAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO SOBRE LOS PARAMETROS EDAFICOS EN LA RESERVA DE BIOSFERA SUMACO, PROVINCIA DE NAPO, 2016*). Provincia de Napo.
- Bravo, C. (2016). *IMPACTO AMBIENTAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO SOBRE LOS PARAMETROS EDAFICOS EN LA RESERVA DE BIOSFERA SUMACO, PROVINCIA DE NAPO*.
- Bravo, C. (2016). *IMPACTO AMBIENTAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO SOBRE LOS PARAMETROS EDAFICOS EN LA RESERVA DE BIOSFERA SUMACO, PROVINCIA DE NAPO*. Napo.
- Bravo, C. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica. *Revista electronica de Veterinaria*, 7-9.
- Bravo, C. (2017). La fertilidad del suelo como un Servicio Ecosistémico en cultivo de cacao (*Theobroma cacao L*), en la provincia de Napo. *ResearchGate*, 18-23.
- Bravo, C. (2017). *La fertilidad del suelo como un servicio ecosistémico en cultivo de cacao(Theobroma cacao L), en la provincia de Napo*. Provincia de Napo.
- Bravo, C., Marín, H., Torres, B., Ramirez, A., Aleman, R., Navarrete, H., . . . Changoluisa, D. (2017). Factores Asociados a la Fertilidad del Suelo en Diferetes Usos de la tierra de la Región Amazónica. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 1-15.
- Bravo1, C., Torres1, B., Alemán1, R., Marín1, H., Durazno1, G., Navarrete1, H., . . . Tapia2, A. (2007). *Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana*.
- Burt, R. (2004). *SOIL SURVEY LABORATORY. METHODS MANUAL*. United States Department of Agriculture: Soil Survey Investigations Report.
- Cabuya, C. (2018). Clasificación Taxonómica Del CACAO. *SCRIBD*, 1-4.
- Calle, J. B. (2012). *CARACTERIZACION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA DE SUELOS DE LA SUBCUENCA DEL RIO TARQUI*.
- Carlos, B. (2017). La fertilidad del suelo como un Servicio Ecosistémico en cultivo de cacao (*Theobroma cacao L*), en la provincia de Napo. *ResearchGate*, 18-23.
- Carrillo, F., Senén, S., & Sanz, J. (1995). Cómo obtener una buena muestra para el análisis de suelos. *CENICAFE*, 1-3.
- Chang, J. V. (2014). *Atributos físicos-químicos (Theobroma cacao L.) en el Ecuador*. Quevedo.
- Dabadie, M., Pérez, C., Arturi, M., Goya, J., & Sandoval, M. (2018). Calibración del metodo de pérdida de peso por ignición para la estimacion de carbono organico en inceptisoles del NE de ENTRE RIOS. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 157-162.
- Darío, C. Q. (2015). *ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN FÍSICA DEL SUELO Y PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA FINCA LUIS CEVALLOS*. Puyo .

- DÁVILA, B. S. (2006). *CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE SUELOS REPRESENTATIVOS DE ECOSISTEMAS AMAZÓNICOS DEL PERÚ, DEPARTAMENTO DE UCAYALI, E INFLUENCIA DE SU USO Y MANEJO EN EL SECUESTRO DEL CARBONO*. Sevilla .
- Eugenia, M., Zapata, R., Sadeghian, S., & Franco, H. (2004). (Bravo & Tapia, 2017). *ALUMINIO INTERCAMBIABLE EN SUELOS CON PROPIEDADES ANDICAS Y SU RELACION CON LA TOXICIDAD*.
- Eugenia, M., Zapata, R., Sadeghian, S., & Franco, H. (2004). *Aluminio intercambiable en suelos con propiedades indicas y su relacion con la toxicidad*.
- FAO. (2019). El pH del Suelo. *Portal de Suelos de la FAO*, 1-2.
- Fernandez, E. (2013). *PIB potencial y brecha de producción: ¿qué miden y de qué dependen*. Barcelona: Dossier.
- González, G. (2010). Efecto de la labranza sobre la porosidad de un suelo arcilloso de pastizal estimada mediante análisis de imagen. *SciELO*.
- GORDÓN, P. F. (2011). *EL COMERCIO EXTERIOR: ANÁLISIS HISTÓRICO CUALITATIVO Y CUANTITATIVO DE LAS EXPORTACIONES DE LOS PRODUCTOS TRADICIONALES DEL ECUADOR EN LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS*. Cuenca .
- Granda, C. A. (2012). *Técnicas y Prácticas Agroforestales Validados para el Ecuador*. Cuenca.
- Grijalva, j. R. (2011). *Mejoramiento de chakras, una alternativa de sistema integrado con cacao, cultivos anuales y arboles en el alto Napo*. Napo.
- Hora, D. I. (2015). *Anecacao*. Obtenido de <http://www.anecacao.com/>
- Latina, B. d. (2017). *Latinoamérica produce el 80% del cacao prime del mundo*. Peru .
- Laureda, D. A. (2016). *Compactación del suelo inducida por la maquinaria en campos de polo en Argentina*. Argentina.
- Ludwig M, H. R. (2008). *Estimación de la conductividad hidráulica saturada in situ en un suelo tratado con vinaza*. Colombia .
- Martínez, E. (2008). *CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO*. Santiago de Chile.
- Martiren, V. S., Fonterosa, R. A., Lastra Bravo, X. B., & Botta, G. F. (2016). *Comparacion por el tráfico de la maquinaria agrícola su efecto sobre el esfuerzo cortante del seuelo y el rendimineto del cultivo de maíz (Zea mayz L.)*. Buenos Aires .
- Martiren, V. S., Fonterosa, R. A., Lastra-Bravo, X. B., & Botta, G. F. (2016). *Compactación por el tráfico de la maquinaria agrícola su efecto sobre el esfuerzo cortante del suelo y el rendimiento del cultivo de maíz (Zea mayz L.)*. Buenos Aires.
- Millan, F. (2009). *VARIACIONES DE pH, ALUMINIO Y CALCIO INTERCAMBIABLE EN UN ALFISOL ENCALADO Y FERTILIZADO CON UREA,BAJO CULTIVO DE MAIZ*. Merida,Venezuela.
- Molina, E. (2010). *ANÁLISIS DE SUELOS Y SU INTERPRETACIÓN*. Costa Rica.
- Moreno, & M. (2013). *Evaluación de las propiedades físicas, químicas,biologicas de los suelos con cultivos de cacao*. Sierra de Perija.

- Moreno, .. (2013). Evaluación de las propiedades físicas, químicas. *REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA*, 21.
- Moya, R. (2006). *Climas del Ecuador*. Quito.
- Muller. (2008). *Ecofisiología del Cacao*. Floridablanca Santander.
- Oliva, D. (2009). *Determinación de la acidez intercambiable (Al+3+H+) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua*. Zamorano, Honduras: Zamorano.
- Oliva, D. (2009). *Determinación de la acidez intercambiable (Al+3+H+) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua*. Zamorano, Honduras: Zamorano.
- Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos. *REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS*, 2-3.
- Ortega, I. H.-G.-F.-M.-F. (2014). *DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DEL CENTRO DE INVESTIGACION, POSGRADO Y CONSERVACION DE LA BIODIVERSIDAD AMAZONICA (CIPCA) PARA LA PLANIFICACIÓN DE USO PUBLICO*.
- Otiniano, J. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Scielo* .
- Pla, I. S. (2010). MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS DIFICULTADES Y ERRORES MAS FRECUENTES. II-PROPIEDADES HIDROLÓGICAS. *Suelos Ecuatoriales*, 94-127.
- RAMÍREZ, C. S. (2010). *EL CHOCOLATE AMARGO EN LA COCINA CUENCANA ACTUAL, NUEVAS RECETAS*. Cuenca .
- Ramírez, P. (2006). *Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador*. Quito.
- Realpe Bravo, I. d., Pardo Arboleda, A. C., & Peinado Martín, F. J. (2014). Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio en sistemas alto andinos de Colombia. *Ciencias del suelo*, 22-34.
- Realpe, I. d., Pardo, C. A., & Peinado, F. J. (2014). Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio en sistemas altoandinos de Colombia. *Ciencias del suelo*, 22-34.
- Romero, E., Fernández, M., & Macías, J. (2016). Producción y comercialización de cacao y su incidencia en el desarrollo socioeconómico de cantón Milagro. *Revista Ciencia UNEMI*, 56-64.
- Romero, E., Fernández, M., & Macías, J. (2016). Producción y comercialización del cacao y su incidencia en el desarrollo socioeconómico del cantón Milagro. *Revista Ciencia UNEMI*, 56-64.
- Sánchez, R. (2007). *Cambio en las propiedades del suelo por transformación de áreas boscosas en pastizales en Zamora-Chinchiipe (Ecuador)*. Zamora-Chinchiipe (Ecuador).
- TOBOADA, & ÁLVAREZ. (2008). *FERTILIDAD FÍSICA de los SUELOS*. Orientacion grafica editora.

- Universidad Nacional de la Plata. (2019). *Porosidad y Aireación, Densidad Real y Aparente*. La Plata: UNLP.
- Universidad Nacional de La Plata. (2019). *Porosidad y Aireación, Densidad Real y Aparente*. La Plata: UNLP.
- Valenzuela, J. C. (2010). Rendimiento del cacao. *El Universo*, 2.

## CAPÍTULO VI

### ANEXOS DE FIGURAS



**Anexo 1.** Delimitación del área de estudio mediante la toma de puntos GPS.



**Anexo 2.** División del área de estudio en subparcelas.



**Anexo 3.** Limpieza de hojarasca para la toma de muestras en cada uno de los puntos a muestrear.



**Anexo 4.** Obtención de muestras en campo con cilindros de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro.



**Anexo 5.** Homogenización y secado de muestras.



**Anexo 6.** Tamizado de muestras compuestas.



**Anexo 7.** Preparación y pesaje de muestras físicas.



**Anexo 8.** Hidratación durante 24h y pesaje de muestras físicas.



**Anexo 9.** Deshidratación y pesaje de muestras físicas.



**Anexo 10.** Pesaje y secado a 360 °C, para la determinación de materia orgánica.



**Anexo 11.** Determinación densidad aparente.



**Anexo 12.** Determinación de conductividad hidráulica para cada muestra.



**Anexo 13.** Colocación de muestras de suelo en el agitador durante 10 min para la determinación de potencial de hidrogeno (pH).

Variables	Plantación	Variabilidad de rasgos físicos (0-10cm)			
		Medio	Desviación Típica	Mín	Max
D <sub>50</sub>	Cacao Chales	0,48	0,06	0,29	0,50
	Cacao Agro	0,29	0,05	0,27	0,42
KSAT	Cacao Chales	10,74	24,62	0,25	103,92
	Cacao Agro	17,78	12,74	1,41	42,73
PT	Cacao Chales	74,23	4,82	61,83	82,89
	Cacao Agro	80,53	3,22	75,33	87,51
PA	Cacao Chales	12,83	5,22	8,27	25,06
	Cacao Agro	16,52	8,03	0,91	24,80
Pe	Cacao Chales	55,09	9,09	34,42	73,80
	Cacao Agro	69,05	8,48	35,92	81,90

Variables	Plantación	Variabilidad de rasgos (0-10) en parámetros químicos			
		Medio	Desviación Típica	Mín	Max
pH	Cacao Chales	4,78	0,31	4,68	5,30
	Cacao Agro	4,73	0,18	4,68	5,09
Al-H mg/100ml	Cacao Chales	0,47	0,14	1,80	1,90
	Cacao Agro	0,45	0,36	1,90	3,40
Al mg/100ml	Cacao Chales	0,28	0,14	0,40	0,70
	Cacao Agro	0,44	0,46	0,20	1,70

**Anexo 14.** Datos SPSS