



# UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

### PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

#### TEMA:

CALIDAD DEL SUELO MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ (*Coffea arabica*, *Coffea canephora*) DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO PARA LA CONSERVACIÓN AMAZÓNICA

#### AUTORES:

DANNES ALBERTO BERMEO JARA  
PABLO SEBASTIÁN LASLUIA VELASTEGUÍ

#### DIRECTOR DE TESIS:

MSc. LUIS ANTONIO DÍAZ SUNTAXI

PUYO - ECUADOR

2019-2020



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe, Bermeo Jara Dannes Alberto y Lasluisa Velastegui Pablo Sebastián con Cédula de Identidad 1400886022 y 1723290886, declaro que los contenidos y resultados obtenidos en el proyecto, "CALIDAD DEL SUELO MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ (*Coffea arabica*, *Coffea canephora*) DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO PARA LA CONSERVACIÓN AMAZÓNICA", como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniera Ambiental, son absolutamente originales, auténticos y personales de exclusiva responsabilidad legal y académica de la autora.

Autorizo a la Universidad Estatal Amazónica hacer uso del presente estudio, con fines docentes e investigativos de los resultados obtenidos en el mismo.



---

**BERMEO JARA DANNES ALBERTO**

**CI: 1400886022**



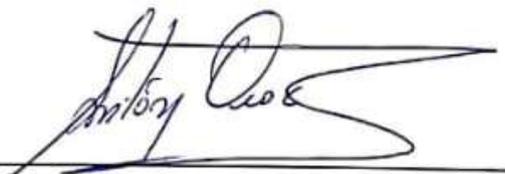
---

**LASLUIA VELASTEGUI PABLO SEBASTIAN**

**CI: 1723290886**

## CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio de presente, yo, Díaz Suntaxi Luis Antonio con CI: 1712539947, certifico que los egresados Bermeo Jara Dannes Alberto y Lasluisa Velasteguí Pablo Sebastián con CI: 1400886022 y 1723290886, realizaron el Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado "CALIDAD DEL SUELO MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ (*Coffea arabica*, *Coffea canephora*) DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO PARA LA CONSERVACIÓN AMAZÓNICA", previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental, bajo mi supervisión.



**MSC. DIAZ SUNTAXI LUIS ANTONIO**

**CI: 1712539947**



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND



Oficio No. 122-SAU-UEA-2020

Puyo, 30 de enero de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a los egresados BERMEO JARA DANNES ALBERTO con C.I. 1400886022 y LASLUISA VELASTEGUI PABLO SEBASTIÁN con C.I. 1723290886 con el Tema: "**CALIDAD DEL SUELO MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ (*Coffea arabica, coffea canephora*) DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO PARA LA CONSERVACIÓN AMAZÓNICA**", de la carrera, Ingeniería Ambiental, Director del proyecto M.Sc. Díaz Suntaxi Luis Antonio, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 3 %, Informe generado con fecha 29 de enero de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.

**ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND - UEA - .**

www.uea.edu.ec

Campus UEA, Paso Lateral Km. 2 ½ Vía Napo  
Puyo, Pastaza - Ecuador



Scanned with  
CamScanner

## ***Agradecimiento.***

*Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios, sin embargo, no creo que sea el único legado del cual yo particularmente me siento muy agradecido, mis padres me han permitido trazar mi camino y caminar con mis propios pies. Ellos son mis pilares de la vida, les dedico este trabajo de titulación. Gracias a mi madre Nelly y padre Klever.*

*A mis abuelitos Ercilia Guala, Rosario Velasteguí, Orlando Velasteguí y Gonzalo Lasluisa que con sus palabras me hacían sentir orgulloso de lo que soy y de lo que puedo ser, que con su apoyo incondicional y a la distancia siempre confiaron en mí y me apoyaron sin duda alguna, hoy puedo sentirme dichoso y contento que gracias a todas aquellas personas he culminado una de mis metas más anheladas.*

*El conocimiento es considerado como un bien intelectual que una vez adquirido nadie te lo podrá arrebatar, por lo cual siempre estaré agradecido con Dios y mi familia por haberme brindado la oportunidad de cursar mis estudios de tercer nivel, en especial a mis padres Zoila y Raúl quienes en todo momento me brindaron su apoyo incondicional y a mis hermanos quienes estuvieron conmigo en los buenos momentos y sacándome de muchos aprietos, también agradezco a todas aquellas buenas amistades por su apoyo moral. Quiero incluir en este agradecimiento a la Ing. Daysi Changoluisa del Laboratorio de Suelos de la UEA por brindarnos su apoyo y paciencia durante la fase experimental de este proyecto de titulación.*

## ***Dedicatoria.***

*Este proyecto de investigación va dedicado principalmente a Dios, mi padre Klever y madre Nelly que, con apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que logre culminar mi carrera profesional además a todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional como ser humano.*

*El presente proyecto de titulación se lo dedico a Dios padre celestial, a mis padres Zoila y Raúl, que representan el pilar fundamental de mi esfuerzo y dedicación, a mis hermanos que en todo momento depositaron su confianza y apoyo incondicional en mi y a todos aquellos quienes hicieron de esta etapa de formación profesional una experiencia increíble.*

## **I. RESUMEN EJECUTIVO.**

La diversificación de cultivos agrícolas adaptados a climas amazónicos, es una de las prioridades del sector productivo en el Ecuador, ya sea en la empresa privada, como estatal, la falta de investigaciones encaminadas a evaluar la influencia de la agricultura que afecta de manera gradual el recurso suelo, por ello el presente estudio tiene el fin de determinar la calidad del suelo mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los sistemas de cultivos tipo Chakra y Agroforestal de café (*Coffea arabica* y *Coffea canephora*) del CIPCA, como parámetros físicos tenemos textura (T), Conductividad hidráulica (Ksat), Porosidad (P) y Densidad Aparente (Da), a profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 cm. Como parámetros químicos se obtuvo pH, Materia Orgánica (MO), Acidez Intercambiable ( $Al^{+3}+H^{+3}$ ) y Aluminio Intercambiable ( $Al^{+3}$ ) a profundidad de 0-20 cm. Se empleó la determinación de microorganismos a diluciones de  $10^{-1}$  y  $10^{-4}$ , obteniendo las unidades formadoras de colonias (UFC). Se determinó que los parámetros físicos del suelo se encuentran en un estado óptimo siendo suelos de textura franca y franca arcillosa, con una alta porosidad, excelente aireación, buena conductividad hidráulica y una densidad aceptable; por otra parte, en los parámetros químicos se determinó que son suelos ácidos por exceso de aluminio intercambiable aspecto que influye directamente en actividad microbiana del suelo. Mediante el índice de calidad del suelo se pudo conocer que la calidad del suelo es moderada (MC) y no se obtuvo correlación de Turkey. Para la estabilización del pH se propuso un encalado del suelo.

**Palabras clave:** Calidad del suelo, Parámetros, Cultivo, Chakra, Acidez.

## II. ABSTRACT.

The diversification of agricultural crops adapted to Amazonian climates, is one of the priorities of the productive sector in Ecuador, whether in private or state-owned companies, the lack of research aimed at assessing the influence of agriculture that gradually affects the Soil resource, therefore the present study has the purpose of determining the quality of the soil by means of physical, chemical and microbiological parameters in the Chakra and Agroforestry coffee cultivation systems (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) of the CIPCA, as physical parameters we have texture (T), Hydraulic Conductivity (Ksat), Porosity (P) and Apparent Density (Da), at depths of 0-10, 10-20, 20-30 cm. The chemical parameters were pH, Organic Matter (MO), Exchangeable Acidity (Al + 3 + H + 3) and Exchangeable Aluminum (Al + 3) at a depth of 0-20 cm. The determination of microorganisms at dilutions of 10<sup>-1</sup> and 10<sup>-4</sup> was used, obtaining the colony forming units (CFU). It was determined that the physical parameters of the soil are in an optimal state being soils of frank texture and clay loam, with high porosity, excellent aeration, good hydraulic conductivity and an acceptable density; On the other hand, in the chemical parameters it was determined that they are acidic soils due to excess of interchangeable aluminum, which directly influences the microbial activity of the soil. The soil quality index showed that the soil quality is moderate (MC) and no correlation was obtained from Turkey. For the stabilization of the pH a liming of the soil was proposed.

**Keywords:** Soil quality, Parameters, Cultivation, Chakra, Acidity.

# TABLA DE CONTENIDOS

|  |    |
|--|----|
| <b>CAPITULO I</b> .....                                    | 1  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....                               | 1  |
| <b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN</b> ..... | 2  |
| <b>3. PROBLEMA</b> .....                                   | 3  |
| <b>4. OBJETIVOS</b> .....                                  | 4  |
| <b>4.1 Objetivo General.</b> .....                         | 4  |
| <b>4.2 Objetivos Específicos</b> .....                     | 4  |
| <b>CAPITULO II</b> .....                                   | 5  |
| <b>5. FUNDAMENTO TEÓRIO</b> .....                          | 5  |
| <b>5.1 Edafología</b> .....                                | 5  |
| <b>5.2 Suelo</b> .....                                     | 5  |
| <b>5.2.1 Formación del suelo Procesos básicos</b> .....    | 5  |
| <b>5.2.2 Tipos de suelo</b> .....                          | 6  |
| <b>5.3 Propiedades físicas del suelo</b> .....             | 7  |
| <b>5.3.1 Textura</b> .....                                 | 7  |
| <b>5.3.2 Densidad</b> .....                                | 7  |
| <b>5.3.3 Porosidad</b> .....                               | 8  |
| <b>5.3.4 Conductividad hidráulica</b> .....                | 8  |
| <b>5.4 Propiedades químicas del suelo</b> .....            | 9  |
| <b>5.4.1 pH.</b> .....                                     | 9  |
| <b>5.4.2 Materia Orgánica.</b> .....                       | 9  |
| <b>5.4.3 Aluminio Intercambiable</b> .....                 | 10 |
| <b>5.4.4 Acidez Intercambiable.</b> .....                  | 10 |
| <b>5.5 Microorganismos del Suelo.</b> .....                | 10 |
| <b>CAPITULO II</b> .....                                   | 12 |
| <b>6. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....                       | 12 |
| <b>6.1 Localización.</b> .....                             | 12 |
| <b>6.2 Tipo de investigación</b> .....                     | 13 |
| <b>6.3 Métodos de investigación</b> .....                  | 13 |
| <b>6.3.1 Materiales a utilizar.</b> .....                  | 13 |
| <b>6.3.2 Metodología para la toma de muestras.</b> .....   | 15 |
| <b>6.3.3 Análisis de Muestras.</b> .....                   | 17 |

|   |    |
|---|----|
| <b>CAPITULO IV</b> .....  | 27 |
| <b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b> .....                                   | 27 |
| <b>7.1 Parámetros físicos.</b> .....                                      | 27 |
| <b>7.1.1 Clase textural.</b> .....  | 27 |
| <b>7.1.2 Conductividad hidráulica saturada.</b> .....                     | 28 |
| <b>7.1.3 Porosidad total.</b> .....                                       | 29 |
| <b>7.1.4 Porosidad de aireación.</b> .....                                | 29 |
| <b>7.1.5 Porosidad de retención.</b> .....                                | 30 |
| <b>7.1.6 Densidad Aparente.</b> .....                                     | 31 |
| <b>7.2 Parámetros químicos.</b> .....                                     | 32 |
| <b>7.2.1 Materia orgánica.</b> .....                                      | 32 |
| <b>7.2.2 Potencial de hidrógeno.</b> .....                                | 33 |
| <b>7.2.4 Aluminio intercambiable.</b> .....                               | 35 |
| <b>7.3 Parámetros microbiológicos.</b> .....                              | 36 |
| <b>7.3.1 Hongos.</b> .....  | 37 |
| <b>7.3.2 Levaduras.</b> .....   | 38 |
| <b>7.3.3 Actinomicetos.</b> .....   | 39 |
| <b>7.3.4 Bacterias.</b> .....   | 40 |
| <b>7.4 Índice de la calidad del suelo.</b> .....                          | 41 |
| <b>7.5 Estrategia para el mejoramiento de la calidad del suelo.</b> ..... | 41 |
| <b>7.5.1 Propuesta de Encalado del suelo.</b> .....                       | 42 |
| <b>CAPITULO V</b> .....   | 44 |
| <b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b> .....                           | 44 |
| <b>CAPITULO VI</b> .....  | 46 |
| <b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....  | 46 |
| <b>CAPITULO VII</b> .....   | 51 |
| <b>7. ANEXO</b> .....   | 51 |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Materiales utilizados para la fase de campo. ....  | 13 |
| <b>Tabla 2.</b> Materiales utilizados para la fase de laboratorio de suelos. ....  | 14 |
| <b>Tabla 3.</b> Materiales utilizados para la fase de laboratorio de microbiología. ....   | 14 |
| <b>Tabla 4.</b> Valores de porosidad en porcentaje.....  | 20 |
| <b>Tabla 5.</b> Clases de calidad de suelos. ....  | 25 |
| <b>Tabla 6.</b> Comparación de las propiedades físicas de los suelos en los cultivos de sistema tipo chakra y agroforestal. .... | 27 |
| <b>Tabla 7.</b> Clase textural en los cultivos de café. ....   | 27 |
| <b>Tabla 8.</b> Comparación de las propiedades químicas de los suelos. ....  | 32 |
| <b>Tabla 9.</b> Unidades Formadoras de Colonias (UFC). ....  | 36 |
| <b>Tabla 10.</b> Índice de calidad de suelo en los cultivos de café (Coffea arábica y Coffea canepora) del CIPCA. ....           | 41 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Localización del área de estudio.....  | 12 |
| Figura 2. División de subparcelas para la toma de muestras.....  | 15 |
| Figura 3. Metodología de zigzag para la toma de submuestras de parámetros físicos.....   | 16 |
| Figura 4. Metodología utilizada para la toma de muestras de parámetros químicos.....   | 17 |
| Figura 5. Triángulo Textural de USDA (Ciancaglini, 2018). .....  | 21 |
| Figura 6. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el parámetro Ksat. ....                              | 28 |
| Figura 7. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el parámetro Porosidad total. ....                   | 29 |
| Figura 8. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el parámetro Porosidad de aireación. ....            | 29 |
| Figura 9. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el parámetro Porosidad de retención. ....            | 30 |
| Figura 10. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el parámetro Densidad aparente. ....                | 31 |
| Figura 11. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante materia orgánica. ....                              | 32 |
| Figura 12. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el análisis de pH.....                              | 33 |
| Figura 13. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el análisis de Acidez intercambiable.....           | 34 |
| Figura 14. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el análisis de Aluminio intercambiable. ....        | 35 |
| Figura 15. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante la cuantificación de colonias de Hongos.....        | 37 |
| Figura 16. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante la cuantificación de colonias de Levaduras.....     | 38 |
| Figura 17. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante la cuantificación de colonias de Actinomicetos..... | 39 |
| Figura 18. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante la cuantificación de colonias de Bacterias.....     | 40 |

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

La (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) afirma que el suelo es la delgada capa que cubre la superficie de la Tierra y que se ha formado lentamente a lo largo de los tiempos por desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura, el viento y la gravedad. Según (Sáez, 2012) el suelo es un sistema trifásico, el cual está conformado por una parte sólida (partículas minerales y materia orgánica), líquida (agua), y gaseosa (aire). Sus funciones son variadas, dentro de las cuales se destaca que el suelo es el soporte para las raíces de las plantas, entregando a través del almacenamiento y transporte de agua, los nutrientes necesarios para su crecimiento.

En condiciones naturales los suelos desempeñan correctamente todas sus funciones y poseen una adecuada calidad, sin embargo, el equilibrio del suelo puede verse perturbado por motivos de origen antrópico en los que destaca la agricultura por sus actividades de labranza, riego inadecuado, cultivo excesivo y uso de agroquímicos, ocasionando un deterioro en la calidad medioambiental (Miralles, 2006).

El café es una de las materias primas agrícolas de exportación más importantes; *Coffea arabica* representa cerca del 70% de la producción global y *Coffea canephora* el 30% restante (Molina, Ramirez, & Cortina, 2016). Algunos de los problemas ambientales asociados a la producción del café según (Rojo, 2014) son: el uso excesivo de fertilizantes químicos, plaguicidas y herbicidas), la deforestación ya que en muchos casos el desarrollo de una producción extensiva se hace a expensas de las zonas forestales y la degradación de los suelos debido a que el café tiende a agotar el contenido de nitrógeno, potasio y calcio del suelo.

Según (Pérez & Villacís, 2015) Las zonas cafetaleras del Ecuador se localizan desde alturas cercanas al nivel del mar hasta, aproximadamente la cota de los 2000 metros sobre el nivel del mar, se cultiva significativamente en las provincias de Manabí, Loja, Orellana, Sucumbíos, Guayas y Los Ríos; en cifras menores en Esmeraldas, Pichincha, El Oro, Cotopaxi, Azuay, Imbabura, Carchi, Chimborazo, Cañar, Morona Santiago, Napo y Zamora Chinchipe.

El Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA) de la Universidad Estatal Amazónica está ubicado en el cantón Arosemena Tola de la provincia de Napo, en el kilómetro 44 vía Puyo-Tena y tiene una extensión de 2848,20 hectáreas (Carrera, Chamik, Huatatoca, Guapisaca, & Yumbo, 2019). En el CIPCA se encuentran áreas destinadas a la investigación en donde también se desempeña un programa de café que comprende de tres variedades, *Coffea arábica* (variedades caturra y sarchimor) y *Coffea canephora* (variedad clon 20- 24) según (UEA, 2016).

(Lorenzo , 2013) Manifiesta que “partiendo del reconocimiento la función del estado del suelo en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, se proyectaron investigaciones dirigidas a caracterizar dicho estado para plantear tecnologías de conservación y recuperación. Esta tarea puede cumplirse eficazmente si en la planeación y ejecución del trabajo se tiene en cuenta en forma integral los principios y leyes que gobiernan la naturaleza del suelo”.

Con la finalidad de aportar a la investigación y el aprendizaje, se estima realizar el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del suelo de las áreas cafeteras del CIPCA. Dichos parámetros del suelo a analizar comprenden la Densidad Aparente, Conductividad Hidráulica, Textura, Porosidad, Materia Orgánica, Aluminio Intercambiable, Acidez Intercambiable y pH. Con este trabajo se pretende otorgar al centro de investigación información actualizada de la calidad del suelo en los cultivos de café con lo que se posibilita posteriormente acciones correctivas y conservacionistas para el estado óptimo del suelo y el ambiente.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

La diversificación de cultivos agrícolas adaptados a climas amazónicos, es una de las prioridades del sector productivo en el Ecuador, ya sea en la empresa privada, como estatal (Cruz & Torres, 2019) debido a que en la amazonía ecuatoriana se considera a la combinación multidisciplinaria de diversas técnicas ecológicas viales, que implican el manejo de árboles, arbustos, cultivos alimenticios y animales en formar simultanea o secuencial como lo menciona (León, 2012). El suelo es un recurso natural semi renovable de importancia básica para la vida sobre la tierra, es la fuente de vida de las plantas, animales y especie humana por ende la producción agrícola y pecuaria dependen indiscutiblemente de la calidad y fertilidad del suelo.

En la Región Amazónica, las provincias dedicadas al cultivo de café son principalmente Sucumbíos, Napo y Orellana, considerados pequeños productores debido a sus extensiones de terreno (Andrade, 2017). El café arábigo (*Coffea arábica*) es uno de los tipos de café de mayor calidad tiene un amplia adaptabilidad a distintos ecosistemas crece entre altitudes de 1000 a 2000 msnm, una temperatura óptima 15 a 24 °C y una precipitación anual de 1500 a 2000 mm sin embargo el café robusta (*Coffea canephora*) se produce de manera óptima a una altitud de 700 msnm, temperatura de 24 a 30 °C y una precipitación anual de 2000 a 3000 mm (Jiménez & Massa, 2016).

Tanto en las áreas de mayor producción de Ecuador como de menor producción es el caso del Centro de Investigación y Posgrado para la Conservación Amazónica (CIPCA) es la falta de investigaciones encaminadas a evaluar la influencia de la aplicación de agroquímicos que afecta de manera gradual el sistema de producción sobre recursos no renovables, tales como el suelo, dentro de estos factores determinantes afecta indiscutiblemente las propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

Por consiguiente, mediante esta investigación se contribuirá a evaluar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los cultivos de café cuantificando y determinando la diversidad de hongos, bacterias, levaduras y actinomicetos las cuales nos permitirá ver la calidad del suelo, procesos de disposición y reciclaje de nutrientes y parámetros ecológicos en los suelos, además los estudios realizados serán determinantes para diseñar estrategias de manejo de este cultivo en áreas de potenciar el mejoramiento del suelo.

### **3. PROBLEMA**

La producción y mantenimiento incorrecto de los cultivos de café ocasiona el deterioro del suelo y sus nutrientes ya que se evidencia el crecimiento significativo de maleza alrededor de la planta y además de la presencia de bovinos en interacción con los cultivos.

Por otra parte, para el cultivo de café se ha intensificado el desbroce de bosque secundario, es por ello que se hace necesario la realización de investigaciones que contribuyan a la evaluación de los parámetros físicos (Densidad aparente, retención hidráulica, porosidad y textura), químicos ( acidez intercambiable, aluminio intercambiable, pH y materia orgánica) y microbiológicos ( Hongos, levaduras, bacterias y actinomicetos) de los suelos para determinar la calidad del suelo en aquellos cultivos. Teniendo en cuenta la problemática presente se plantea la siguiente pregunta.

¿La determinación de los parámetros físico, químico y microbiológicos en los suelos destinados al cultivo de café, permitirá conocer la calidad de suelo y proponer estrategias de manejo de este cultivo además de aportar con información edafológica actualizada al CIPCA?

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General.**

Determinar la calidad del suelo mediante el análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los cultivos de café con sistema tipo chakra y agroforestal (*Coffea arábica* y *Coffea canephora*) del Centro de Investigación y Posgrado para la Conservación Amazónica.

### **4.2 Objetivos Específicos.**

- Aplicar técnicas metodológicas para el muestreo, análisis y determinación de los parámetros físicos (Densidad aparente, retención hidráulica, porosidad y textura), químicos (acidez intercambiable, aluminio intercambiable, potencial de hidrógeno y materia orgánica) y microbiológicos (Hongos, levaduras, bacterias y actinomicetos).
- Evaluar la disponibilidad de nutrientes del suelo en los cultivos de café (*Coffea arábica* y *Coffea canephora*) como un indicador biológico en la calidad del suelo, mediante el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC).
- Comparar y discutir en base a los resultados obtenidos, la calidad del suelo y proponer una estrategia de mejoramiento, recuperación o remediación del suelo en los cultivos de café del CIPCA.

## **CAPITULO II**

### **5. FUNDAMENTO TEÓRIO**

#### **5.1 Edafología**

Su nombre viene del griego “edaphos” que significa superficie de la tierra y estudia el suelo desde todos los puntos de vista: morfología, composición, propiedades, formación y evolución, taxonomía y distribución, utilidad, recuperación y conservación (Proyecto Universidad en el Campo, 2011).

(CATIE, 1985) Sustenta que, es la ciencia que estudia el suelo, en relación con el crecimiento de las plantas, animales, microorganismos, hongos, bacterias y se la estudia para obtener mejores rendimientos y comprender sus características si su principal interés en el uso del suelo con fines de agricultura.

#### **5.2 Suelo**

Es la delgada capa que cubre la superficie de la Tierra y que se ha formado lentamente a lo largo de los tiempos por desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura, el viento y la gravedad. Las plantas y animales que mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por la acción de microorganismos que los transforman en material orgánico estable y lo mezclan con el suelo para formar parte de él (FAO, 1994).

Añadimos que (Sáez, 2012) expresa que el suelo es un sistema trifásico, el cual está conformado por una parte sólida (partículas minerales y materia orgánica), líquida (agua), y gaseosa (aire). Sus funciones son variadas, dentro de las cuales se destaca que el suelo es el soporte para las raíces de las plantas, entregando a través del almacenamiento y transporte de agua, los nutrientes necesarios para su crecimiento.

Esta última definición de suelo es en la cual nos apoyaremos para cumplir con la finalidad de este trabajo puesto a que los parámetros a determinar son netamente físicos en el cual también se tomará en cuenta la relación entre el suelo y el factor hídrico.

##### **5.2.1 Formación del suelo Procesos básicos**

En el suelo se puede encontrar tres tipos de procesos generales a nivel global:

Aporte, alteración y pérdida del material litológico (Meteorización Física del material original): Se la puede observar en la base del perfil de suelo, donde la roca original aparece fragmentada heterogéneamente y en finas partículas. La fragmentación se da por

causas climáticas principalmente como procesos de dilatación o contracción debido a variación extrema de temperatura y cambios de humedad; también a causas geológicas, como la disminución de la presión sobre las rocas que emergen a la superficie, cristalización de sustancias en los poros del suelo o por acción del crecimiento de las raíces de las plantas, que pueden fracturar el material (Jordán López, 2006).

Aporte, alteración y pérdida del material orgánico (Alteración Química): Da lugar al empardecimiento, rubefacción, la fersialitización, la ferralitización o la gleyzación (Jordán López, 2006).

Reorganización de ambos materiales por mezcla, agregación, translocación y diferenciación: Los procesos de translocación se realizan debido a la acción del agua. El movimiento del agua en el perfil es descendente. Sin embargo, en climas áridos, es posible el movimiento ascendente de las sales debido a los procesos de evapotranspiración. En zonas de relieve montañoso, el desplazamiento lateral del agua del suelo también puede tener efectos importantes en la formación del suelo (Jordán López, 2006).

A cada capa en que se organiza el material del suelo se le denomina horizonte, y su superposición constituye el perfil del suelo (Jordán López, 2006). Para reconocer los horizontes hay que diferenciar sus propiedades físicas, químicas y de composición y su desigualdad con las demás capas adyacentes (Orellana, 2010).

Para poder conocer los horizontes de un suelo se hace necesario que se excave una calicata es decir agujero de 1 m x 1 m x 1 m de profundidad (Proyecto Universidad en el Campo, 2011). Para la descripción del perfil del suelo, es esencial dar el símbolo correcto a cada horizonte, las letras mayúsculas H, O, A, E, B, C, R, I, L y W representan a los horizontes mayores o capas de suelos o asociados con suelos (FAO, 1994).

### **5.2.2 Tipos de suelo**

El nuevo material suprayacente y el suelo enterrado es clasificado como uno si ambos califican como Histosol, Technosol, Cryosol, Leptosol, Vertisol, Fluvisol, Gleysol, Andosol, Planosol, Stagnosol o Arenosol (FAO, 1994).

De otro modo, el material nuevo es clasificado al primer nivel, si es 50 cm o más grueso, o si individualmente reúne los requisitos de un Regosol (FAO, 1994).

En todos los otros casos, el suelo enterrado es clasificado al primer nivel (FAO, 1994).

## **5.3 Propiedades físicas del suelo.**

El suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire). De la relación entre estos componentes depende la capacidad de hacer crecer las plantas y la disponibilidad de nutrientes para ellas. La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas del suelo: textura, estructura, consistencia, densidad, porosidad, humedad, temperatura y color (Orellana, 2010).

### **5.3.1 Textura**

La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. El tamaño de las partículas que componen la roca va a representar una fuerte incidencia en la clase textural de los suelos que de ellas se deriven (Lorenzo , 2013).

El tamaño de las partículas del suelo incide directamente en la superficie interna como al número y tamaño de los poros. Cuan menor es la partícula, mayor es el tamaño de la superficie interna del suelo; un menor tamaño de partículas disminuye el tamaño de los poros del suelo, de manera que mientras más pequeña es la partícula se originan suelos con poros más escasos y pequeños (Jordán López, 2006).

La textura en cada horizonte son producto de las combinaciones que se puedan dar entre las fracciones limo, arcilla y arena; considerando que las partículas más gruesas representan arenas, las más finas las arcillas y los limos lo intermedio entre ambas (Montalvo Sola, 2013).

### **5.3.2 Densidad.**

La densidad es una medida de cuánto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es la cantidad de masa por unidad de volumen, y está en relación a la porosidad. Un suelo muy poroso será menos denso; un suelo poco poroso será más denso. A mayor contenido de materia orgánica, más poroso y menos denso será el suelo (Orellana, 2010).

- Densidad Real: Es la densidad de la fase sólida del suelo. Este valor es prácticamente constante en la mayoría de los suelos, y oscila en torno a 2,65 g/cc (Jordán López, 2006).

- **Densidad Aparente:** La densidad aparente del suelo es la relación del peso seco por unidad de volumen del suelo (Sáez, 2012). Este volumen incluye tanto sólidos como los poros, por lo que la densidad aparente refleja la porosidad total del suelo (FAO, 1994). Para establecerla debemos tomar un volumen suficiente para que la heterogeneidad del suelo quede suficientemente representada y su efecto atenuado (Proyecto Universidad en el Campo, 2011). Es indicador de propiedades importantes del suelo, como: compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración (Rubio, 2010).

La densidad real y aparente ayuda a calcular la porosidad total del suelo, la predicción de pérdida de suelo, análisis mecánicos, estudios de conservación del suelo, coeficiente de expansión; también para calcular la masa de la capa arable y en riegos (Romero, Aristizabal, & Jaramillo, 1998).

### **5.3.3 Porosidad.**

Es definida mediante el volumen que ocupan los poros, este y este está ocupado por gases y líquidos en relación al volumen total del suelo. La porosidad es inversamente relacionada con la densidad del suelo (Proyecto Universidad en el Campo, 2011). Posee gran importancia en la penetración radicular, percolación del agua, difusión de los gases, etc. Puede ser calculada a partir de la densidad real y densidad aparente y resulta la suma de la porosidad capilar y de la porosidad no capilar (Lopez Pérez, 2016).

La relación de la macro porosidad/porosidad total indicará si la aireación es suficiente o 12 deficiente de una manera global (Lopez Pérez, 2016). El agua ocupa parte de los poros que existen en el suelo. La microporosidad, incluida la porosidad textural, es la responsable de la retención del agua; y la macroporosidad, que incluye la porosidad estructural, es la responsable del drenaje, de la circulación del agua en general y parcialmente, de la retención del agua en determinados suelos (Proyecto Universidad en el Campo, 2011).

### **5.3.4 Conductividad hidráulica.**

Esta propiedad es la que permite determinar la profundidad y espaciamiento apropiado de los drenes superficiales y sub superficiales, los canales de riego y calcular y evaluar las pérdidas de agua por filtración. Mide la velocidad con que el agua se mueve en el perfil del suelo y por lo tanto está estrechamente relacionada con la porosidad y en

especial con la distribución y continuidad de poros portamaño dentro del perfil (Romero, Aristizabal, & Jaramillo, 1998).

Según (Jordán López, 2006) en un sistema equilibrado, el potencial hidráulico tiene el mismo valor. Cuando el sistema está en desequilibrio, el gradiente de potencial el movimiento del agua. Este movimiento se realiza de dos formas:

- Flujo en suelo saturado. Los poros del suelo están llenos de agua., como ocurre en el caso de que exista encharcamiento permanente o una capa freática elevada (Jordán López, 2006).
- Flujo en suelo no saturado. Es el que ocurre en suelos donde existen procesos de humectación y desecación (Jordán López, 2006).

La conductividad hidráulica se evalúa a partir de la velocidad de infiltración. Esta velocidad varía según el tipo de suelo y según el contenido en humedad que presente.

## **5.4 Propiedades químicas del suelo.**

Las propiedades químicas de los suelos, están determinadas principalmente por la materia orgánica y las arcillas, por ser éstos las fuentes principales aportadoras de nutrientes (Proyecto Universidad en el Campo, 2011). Permite saber sobre la eficiencia de los tratamientos y enmiendas aplicadas al suelo para un mejor desarrollo de las plantas. Tanto las propiedades físicas como químicas deben ir estrechamente articuladas para determinar si un suelo es productivo o no (Romero, Aristizabal, & Jaramillo, 1998).

### **5.4.1 pH.**

El pH es un indicativo de las propiedades químicas del suelo debido a su influencia en la retención y movilidad de contaminantes en los suelos y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Yáñez, 2019). El pH del suelo expresa la actividad de los iones hidrógeno en la solución del suelo, este afecta la disponibilidad de nutrientes minerales para las plantas, así como a muchos procesos del suelo (FAO, 2009).

### **5.4.2 Materia Orgánica.**

(FAO, 1991), la materia orgánica del suelo está conformada por sustancias húmicas, animales y plantas muertos, mismo que contiene carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno fósforo y potasio. Almacena gran cantidad de agua y atraer mayor cantidad de nutrientes

que los minerales de arcilla. La tasa de descomposición de materia orgánica en zonas tropicales y subtropicales es alta debido a sus altas temperaturas.

La materia orgánica del suelo es afectada por la actividad agrícola e influye en las propiedades físicas y químicas del suelo. Su análisis es clave en situaciones de contaminación debido a su contribución en los mecanismos de adsorción y formación de complejos (Yáñez, 2019).

### **5.4.3 Aluminio Intercambiable**

Una alta concentración de  $Al^{+3}$  genera toxicidad para las plantas, además de tener un efecto negativo sobre las propiedades químicas del suelo como solubilización, disponibilidad y absorción de nutrimentos, físicas como estructura y estabilidad de agregados y biológicas como tipo de organismos presentes en el suelo, ocasionando así una reducción en el crecimiento de las raíces lo cual afecta en forma negativa el crecimiento del cultivo (Oliva, 2009).

La toxicidad por aluminio en los cultivos afecta a la estructura y funcionamiento de la membrana, la síntesis de ADN, la elongación celular, la nutrición mineral y el metabolismo en general (Rivera, Moreno, Herrera, & Romero, 2016).

### **5.4.4 Acidez Intercambiable.**

La acidez intercambiable del suelo se da por presencia de hidrógeno ( $H^+$ ) y Aluminio ( $Al^{+3}$ ) que causan disminución en el pH. El efecto neto de la hidrólisis por  $Al^{+3}$  intercambiable es un incremento en la concentración de  $H^+$  de la solución de suelo, que resulta de la disociación de  $H^+$  intercambiable (Oliva, 2009). Cuando el valor de acidez intercambiable es mayor de 0,5  $cmol(+)/l$ , algunas plantas pueden presentar problemas moderados de crecimiento, y un contenido mayor a 1  $cmol(+)/l$  se considera muy alto. El valor óptimo de acidez intercambiable debería ser inferior a 0,3  $cmol(+)/l$  (Molina E. , 2007).

## **5.5 Microorganismos del Suelo.**

Los microorganismos desempeñan un rol vital en diferentes procesos del suelo como por ejemplo, mineralización (bacterias), inmovilización (hongos micorrízicos). Eficiencia del ciclo de nutrientes, descomposición y síntesis de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, en las reservas de nitrógeno, azufre, fósforo, en la acidez, en la

toxicidad, en la capacidad de retención de humedad, en la agregación a través de los exudados microbianos, en el régimen de agua, etc (Bernal, 2006).

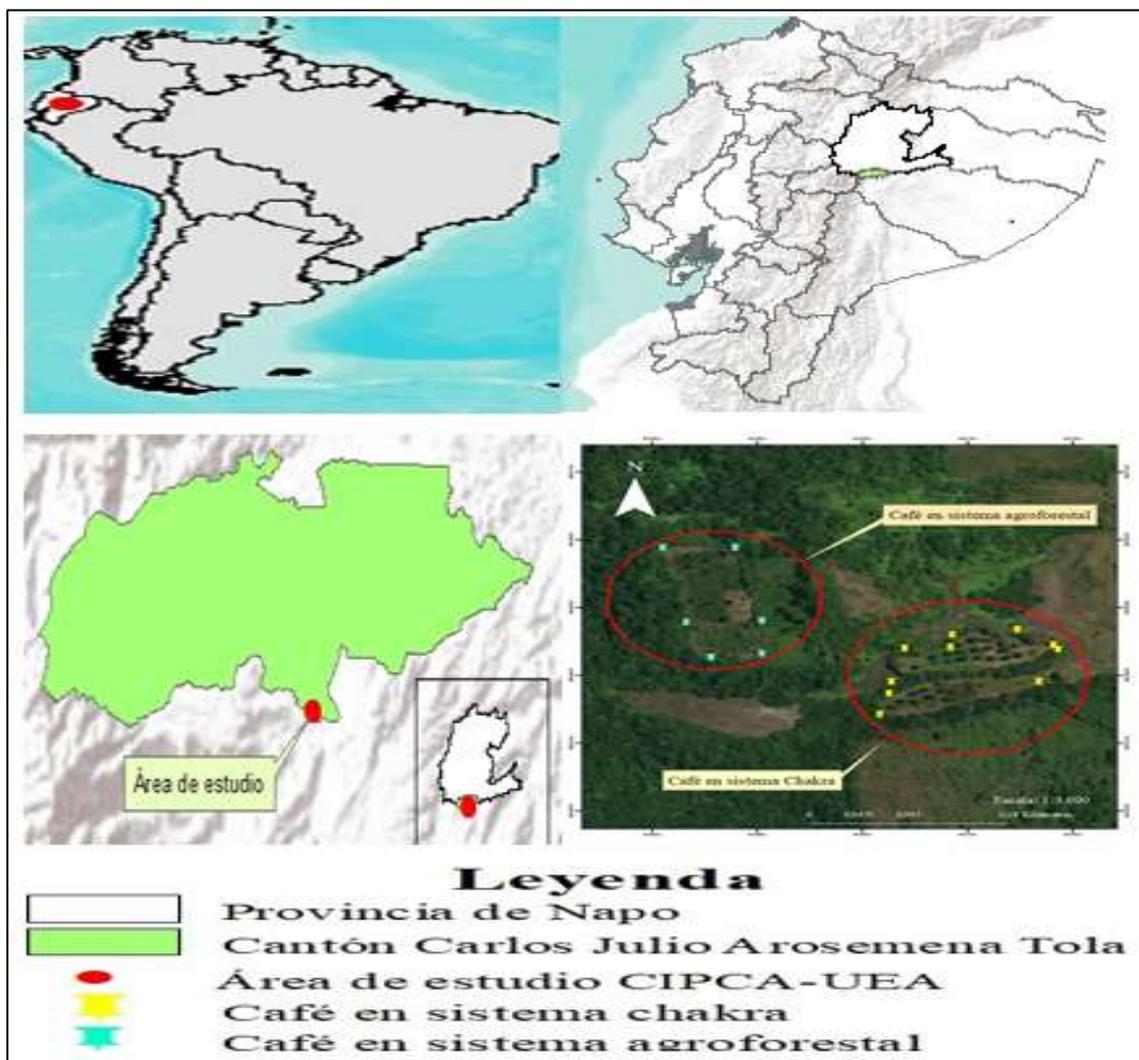
La presencia de microorganismos dentro del suelo es una señal inequívoca de la calidad que posee dicho ecosistema, en los suelos es necesario determinar la diversidad y la abundancia de microorganismos. El tener abundancia o escasas a veces puede tener ciertas complicaciones porque significa que los suelos se encuentran afectados o fueron afectados al haber desequilibrio entre las especies (Proyecto Universidad en el Campo, 2011).

## CAPITULO II

### 6.MATERIALES Y MÉTODOS

#### 6.1 Localización.

El Centro de Investigación Posgrado y Conservación Amazónica se encuentra ubicado en el cantón Carlo Julio Arosemena Tola, provincia del Napo en el kilómetro 44 vía Puyo – Tena junto a la desembocadura del río Piatúa y Anzu, además cuenta con una extensión territorial de 2848,20 hectáreas, el estudio se lo realizará en dos cultivos de café, uno con un sistema tipo chakra y el otro con sistema tipo agroforestal, el área del lote de café con sistema tipo chakra cuenta con una extensión de 12952,5 m<sup>2</sup> Y el segundo lote de café con sistema de producción tipo agroforestal cuenta con una extensión de 10078,2 m<sup>2</sup>.



Fuente: Autores 2020

Figura 1. Localización del área de estudio.

## 6.2 Tipo de investigación.

El tipo de investigación es descriptiva aplicada debido a que busca adquirir nuevos conocimientos y está dirigido al cumplimiento de objetivos prácticos específicos, además tiene un enfoque experimental ya que se fundamenta principalmente en el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del suelo en el CIPCA. Los resultados estadísticos se realizaron para determinar la diferencia y sugerencia del uso y manejo adecuado del suelo.

## 6.3 Métodos de investigación.

Para el cumplimiento del primer objetivo específico “Aplicar técnicas metodológicas para el muestreo, análisis y determinación de los parámetros físicos (Densidad aparente, retención hidráulica, porosidad y textura), químicos (acidez intercambiable, aluminio intercambiable, potencial de hidrógeno y materia orgánica) y microbiológicos (Hongos, levaduras, bacterias y actinomicetos)”, se planteó la siguiente metodología para la obtención de resultados.

### 6.3.1 Materiales a utilizar.

**Tabla 1.** *Materiales utilizados para la fase de campo.*

| <b>Fase</b>  | <b>Materiales</b>     |                   |
|--------------|-----------------------|-------------------|
| <b>Campo</b> | Fundas ziploc         | Machete           |
|              | Marcadores indelebles | Cuchillo          |
|              | Libreta de apuntes    | Saquillo Plastico |
|              | GPS                   | Cuerdas           |
|              | Esferos               | Cinta métrica     |
|              | Barreno tipo Uhland   | Tijeras           |
|              | Papel aluminio        | Estacas           |
|              | Palas                 |                   |

**Fuente:** Autores 2020.

**Tabla 2.** *Materiales utilizados para la fase de laboratorio de suelos.*

| <b>Fase</b>               | <b>Materiales</b>          |                                       |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| <b>Laboratorio suelos</b> | Tela                       | Liga                                  |
|                           | Cuchillo                   | Acetona                               |
|                           | Rollos de aluminio         | Bandejas                              |
|                           | Cauchos                    | Embudo                                |
|                           | Botellas transparentes     | Probeta 100 ml                        |
|                           | Pera de succión            | Platos porosos                        |
|                           | Balanza analítica          | Estufa                                |
|                           | Balde                      | Jabón neutro                          |
|                           | Crisol de porcelana        | Mufla                                 |
|                           | Olla de Vidrio para crisol | Tenacillas                            |
|                           | Papel comercio             | Rodillo metálico                      |
|                           | Vaso de precipitación      | Calgón 5%                             |
|                           | Malteadora industrial      | Agua destilada                        |
|                           | Probetas de 1000 ml        | Alcohol amílico                       |
|                           | Termómetro                 | Hidrómetro                            |
|                           | Gotero                     | Bureta de tiración                    |
|                           | Dispensador                | Envase plástico de 35 cm <sup>3</sup> |
|                           | pH metro                   | Cloruro de Potasio                    |
|                           | Fenolftaleina              | Hidróxido de sodio                    |
|                           | Barrilla agitadora         | Espátula                              |
| Papel Whatman             | Agitador                   |                                       |

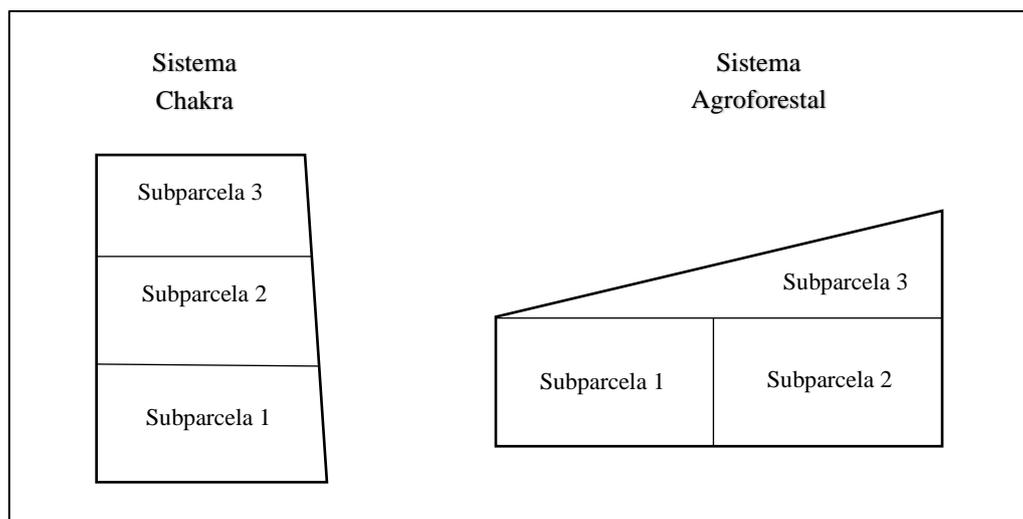
Fuente: Autores 2020.

**Tabla 3.** *Materiales utilizados para la fase de laboratorio de microbiología.*

| <b>Fase</b>                         | <b>Materiales</b>       |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Laboratorio de microbiología</b> | Papel Aluminio          | Espátula                |
|                                     | Tubos de ensayo         | Balanza                 |
|                                     | Caja Petri              | Pipeta automática 10 ml |
|                                     | Asas de siembra         | Agar nutritivo          |
|                                     | Rosa Bengala            | Marcadores              |
|                                     | Auto clave              | Incubadora              |
|                                     | Cámara de flujo laminar | Escobilla               |

Fuente: Autores 2020.

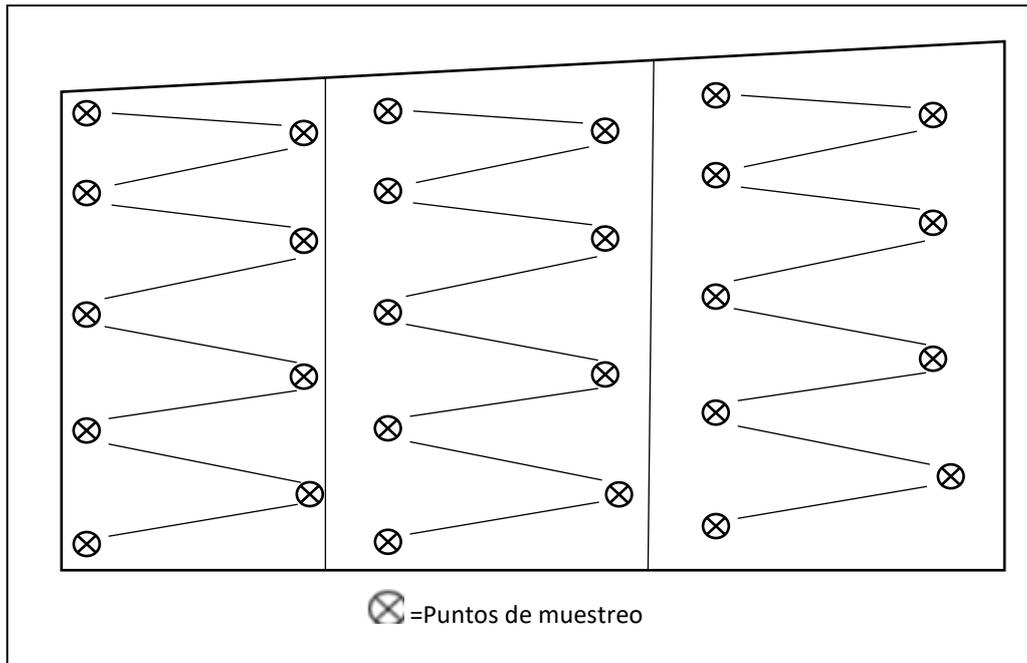
### 6.3.2 Metodología para la toma de muestras.



**Figura 2. División de subparcelas para la toma de muestras.**

Para el presente estudio se seleccionó las plantaciones de café (*Coffea arabica* y *Coffea canephora*) del Centro de Investigación y Postgrado para la Conservación Amazónica (CIPCA), mismos que están distribuidos en dos sistemas de cultivo de tipo Chakra y de tipo Agroforestal de distintas dimensiones el tipo chakra cuenta con una extensión de 12952,5 m<sup>2</sup> y el segundo lote de café con sistema de producción tipo agroforestal cuenta con una extensión de 10078,2 m<sup>2</sup>. La toma de muestras se la realizó de dos formas: de forma alterada y de forma no alterada. Según (Cruz L. , 2019) quien citando a (GRUPO LATINO, s.f.) menciona que las muestras de forma alterada no requieren una forma especial de muestreo ya que en laboratorio la mayoría de los análisis químicos se hacen sobre muestras secas al aire libre, molida y tamizada por 2mm. Las muestras no alteradas se toman en empaques y se maneja de tal manera que no alteren las condiciones naturales del suelo (densidad aparente, conductividad hidráulica, porosidad, entre otras).

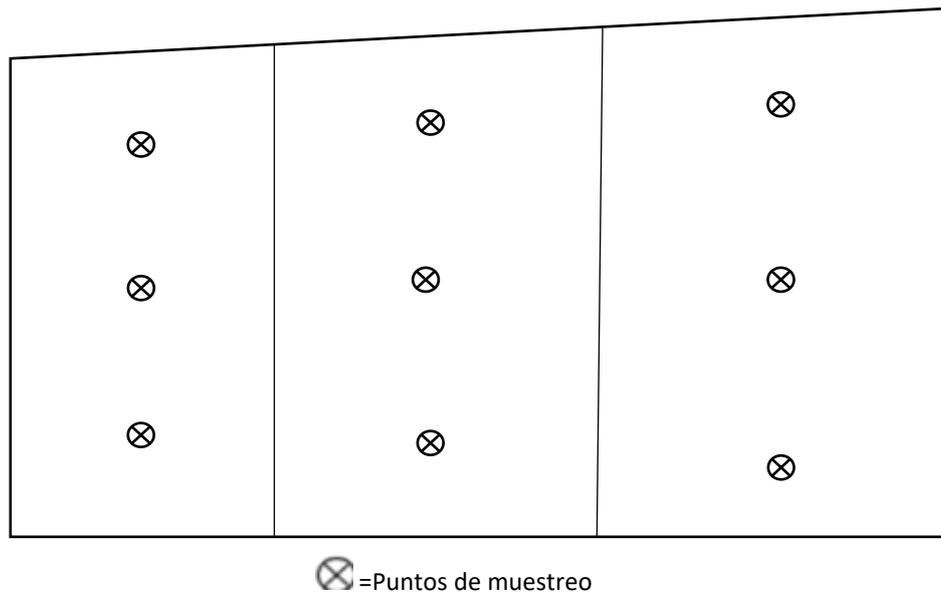
El Muestreo se realizó en base a la metodología propuesta por Carrillo, Suárez y Sanz (1995) quienes en su publicación en la revista Cenicafe de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia expresan que para obtener una buena muestra de suelo es necesario dividir el área en lotes, en nuestro caso en subparcelas (**Figura 1**), según la edad del cafetal, la pendiente y el color del suelo. El lote que se muestrea debe ser homogéneo en paisaje, fisiografía, edad del cultivo y el manejo dado, el cual incluye la fertilización realizada en años anteriores.



**Figura 3. Metodología de zigzag para la toma de submuestras de parámetros físicos.**

Para la toma de muestras de forma alterada (Carrillo, Senén, & Sanz, 1995) indican que se considera tomar la mayor cantidad de muestras por lote hasta tener por lo menos 5 kg de suelo (peso fresco) para obtener 1kg de muestra homogenizada para el análisis de laboratorio. La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2004) señala que la muestra se compone de suelo recogido en 5 a 10 puntos del lote, en cada sitio se tomó un poco de tierra dentro de la gotera de los árboles a una profundidad de 30 centímetros en el suelo por cuanto hemos tomado 10 submuestras por subparcela en sentido zigzag (**Figura 2**). La tierra recogida de todos los puntos de la subparcela se mezcló en nuestro caso en saquillos plásticos limpios y de esta mezcla se saca 1 kilo. Esta cantidad se empaca en una bolsa hermética de plástico limpia y se etiquetó con los datos del lote.

Para la extracción de la muestra de suelo hemos utilizado una pala de 60cm de largo por 17cm de ancho con la cual retiramos la primera capa superficial de suelo compuesta mayormente por hojarasca, se penetra en el suelo un corte de 60° a 70° a una profundidad aproximada de 30 cm. Después de la toma de cada muestra se limpió muy bien la pala y los saquillos.



**Figura 4. Metodología utilizada para la toma de muestras de parámetros químicos.**

La toma de muestras no alteradas se realizó usando un barreno tipo “Uhland” con cilindros de 4,8 cm de diámetro y 5 cm de altura (Pla I. , 2010) a profundidades de 0 – 10, 10 – 20 y 20 – 30 cm, se tomó 3 muestras a 3 profundidades por subparcela (**Figura 3**). Una vez extraídos los cilindros los identificamos, marcamos, los cubrimos en una envoltura de papel aluminio y aislamos en una funda hermética de plástico con el fin de no alterar las muestras.

### **6.3.3 Análisis de Muestras.**

Concluida la toma de muestra se procedió a trasladar las muestras a los laboratorios de suelos y microbiología de la Universidad Estatal Amazónica para su análisis físico, químico y microbiológico. El análisis de las muestras se los llevó a cabo en base a los métodos propuestos por (Bravo, y otros, 2017).

#### **6.3.3.1 Análisis Físicos**

- Se extrajo cuidadosamente la envoltura de aluminio de los cilindros y los identificamos.
- Con un cuchillo se retiró el exceso de suelo de las muestras para ajustarlas al tamaño del cilindro, teniendo cuidado de no sellar las superficies.
- Cubrimos la parte inferior de los cilindros con un lienzo de tela sujetado con bandas de goma.
- Colocamos las muestras sobre aros hechos de papel aluminio de 1cm de altura para no sellar la superficie inferior.

- Pesamos las muestras y obtuvimos el peso inicial de la muestra fresca.
- Los cilindros preparados pusimos a saturar por capilaridad en una bandeja sobre los aros de aluminio y vertimos agua en la bandeja hasta que alcance una altura de 1 cm por encima del fondo del cilindro. El proceso de saturación duró 24 horas hasta obtener una pequeña película de agua en la superficie superior de la muestra.

### 6.3.3.1.1 Determinación de la Conductividad Hidráulica Saturada con carga Variable.

- Para la prueba de conductividad hidráulica ( $K_{sat}$ ) por carga variable por el método de mesa de tensión se colocó una extensión en la muestra, que comprende un cilindro de 5 cm de altura sujetado con una goma. Se tomó en cuenta el tener cuidado al manipular para evitar el contacto con el fondo de la bandeja y no sellar la superficie inferior.
- Las colocó las muestras saturadas en un embudo que a su vez está colocado sobre un embace de vidrio o cristal transparente.
- Se depositó cuidadosamente 100 ml de agua en la extensión, misma que asciende hasta el tope del cilindro.
- Se midió el tiempo transcurrido de infiltración del agua, desde la primera gota hasta la última tomando en cuenta tiempo inicial y tiempo final en horas del día. También se tomó la medida del agua infiltrada.
- Las muestras que una vez transcurridos 24 horas no infiltraron toda el agua contenida, se procedió a retirarlas midiendo la cantidad exacta de agua infiltrada.
- Se procede a calcular la Conductividad Hidráulica Saturada del suelo mediante el método de carga variable según (Pla I. , 2010).

$$K_{sat} = \left(\frac{H1}{\Delta t}\right) * \ln\left(\frac{H2}{H3}\right) \quad (1)$$

**Donde:**

**$K_{sat}$ :** 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

### 6.3.3.1.1 Determinación de la Porosidad.

- Se colocó las muestras sin las extensiones en un plato poroso de porcelana previamente saturado a raves de una manguera conectada a un recipiente con agua colocado a una altura mayor de 10 cm por encima del plato.
- Se equilibró la humedad del cilindro nuevamente a punto de saturación por un tiempo de 3 a 4 horas y se tomó el peso de las muestras hidratadas.
- Se volvió a colocar las muestras en el plato y se movió el recipiente de agua por debajo del plato a 100 cm provocando una succión de 10 Kpa en el suelo q se encuentra en la parte central de los cilindros.
- Se pesó nuevamente las muestras transcurridas 24 horas y 48 horas, en las que una vez alcanzado el equilibrio se obtuvo el peso constante.
- Se colocó las muestras en una estufa a 105° por 24 h para obtener el peso seco de las muestras y también el peso del lienzo y la banda de goma.
- Se procedió a calcular la Porosidad total y los Poros de radio equivalente mayor a 15 μm con el método propuesto por la Universidad Nacional de La Plata (2019).

$$\mathbf{PT(\%)} = \frac{a-(c+d)}{v} * 100 \quad (2)$$

$$\mathbf{Pa(\%)} = \frac{a-b}{v} * 100 \quad (3)$$

$$\mathbf{Pr(\%)} = It * Da \quad (4)$$

#### Donde:

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

**h:** Altura del cilindro.

**r:** radio del cilindro.

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

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

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

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

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

**d:** Peso del suelo seco.

**It:** Índice de Textura.

**Da:** Densidad Aparente.

**Tabla 4.** Valores de porosidad en porcentaje.

| Porosidad Total (%) | Interpretación |
|---------------------|----------------|
| <30                 | Muy Baja       |
| 30 – 40             | Baja           |
| 40 – 50             | Media          |
| 50 – 60             | Alta           |
| >60                 | Muy Alta       |

Fuentes: (Flores & Alcalá, 2010)

### 6.3.3.1.2 Determinación de la Densidad Aparente.

- Para la determinación de la densidad aparente se tomó las medidas de todos los cilindros y se obtuvo su volumen para aplicar la siguiente fórmula según Universidad Nacional de La Plata (2019).

$$D_a = \frac{d}{V} \quad (5)$$

**Donde:**

**Da:** Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>).

**V:** Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)

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

### 6.3.3.1.3 Determinación de la Textura

La prueba de textura se la 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 añadió 100 ml de solución de Calgón 5% (50 g de hexametáfosfato de sodio y 10 g de carbonato de sodio disueltos en 1 L de agua destilada), y se dejó en reposo por 24 h.
- Pasadas las 24 h se homogenizó la muestra en la malteadora industrial por 10 min.
- Se trasvasó la muestra y se aforó con agua en una probeta de 1000 ml, para el control de exceso de espuma se vertieron gotas de alcohol amílico, para la determinación es necesario previamente verter 100 ml de calgón en una probeta de 1000ml y aforar con agua como blanco.

- Se agitó por 20 seg y se para tomó la primera la primera lectura con el hidrómetro a 40 seg y se tomó la temperatura.
- Se dejó reposar por dos y se repitió el proceso sin agitar para la toma de la segunda lectura y temperatura.
- Se procede a calcular:

$$FC = 19,5^{\circ}C \pm 0,18 \text{ por cada } 0,5^{\circ}C \quad (6)$$

$$LC = (Ltm \pm FC) - (LB \pm FC) \quad (7)$$

$$\% \text{ Arena} = 100 - (Ltm \pm FC_{40\text{seg}} * \frac{100}{gM}) \quad (8)$$

$$\% \text{ Arcilla} = LC_{2h} * \frac{100}{gM} \quad (9)$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla}) \quad (10)$$

**Donde:**

**FC:** Factor de Corrección

**Ltm:** Lectura tomada de la muestra

**LC:** Lectura corregida

**LB:** Lectura del Blanco

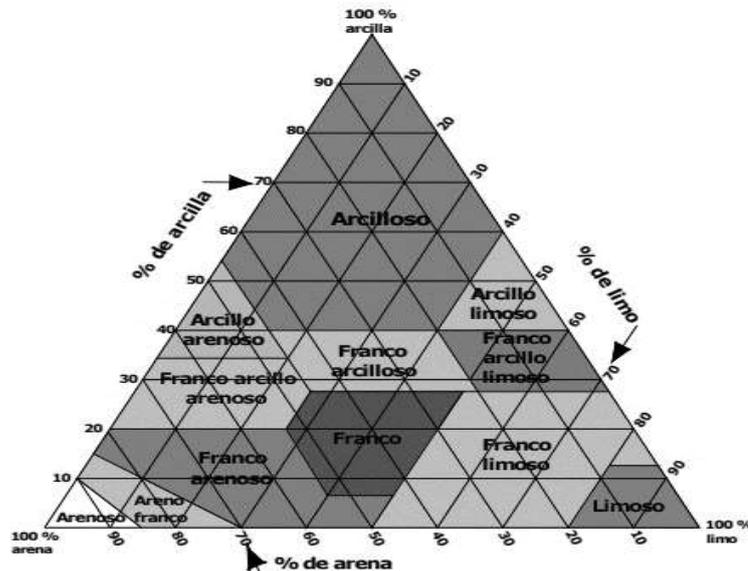


Figura 5. Triángulo Textural de USDA (Ciancaglini, 2018).

### **6.3.3.2 Análisis Químicos.**

El análisis químico del suelo se lo realizó en las muestras tomadas de forma alterada para la cuales se basó en el método propuesto por (Bravo, y otros, 2017).

- Se procedió al secado de las muestras procedimiento que consistió en extraerlas de la funda plástica hermética y colocarlas sobre papel comercio en una bandeja, marcándolas con su etiqueta correspondiente y se las colocó a la intemperie al sol.
- Una vez secas las muestras se extrajo raíces, rocas y materia vegetal que dificulte el próximo paso.
- Las muestras de suelo secas se las trituró usando un cilindro metálico.
- Al suelo triturado se lo vertió en un tamiz de 2mm para volverlo a colocar en una funda hermética, se consideró colocar las muestras en un lugar fresco y seco para mantenerlas deshidratadas.

#### **6.3.3.2.1 Determinación de pH del suelo.**

Para determinar el pH del suelo se empleó el método potenciométrico contemplado en el Manual de Técnicas Analíticas para Análisis de Suelo, Foliar, Abonos Orgánicos y Fertilizantes Químicos (2010).

- 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 reposó por 30 min.
- Se calibró el equipo de medición de pH y se procedió a analizar las muestras. Se tomó en cuenta lavar el electrodo para el análisis de cada muestra. Se apuntaron los valores.

#### **6.3.3.3.2 Determinación de Aluminio Intercambiable del suelo.**

Este parámetro se analizó mediante la metodología de Bremmer y Milyaney 1994, misma citada por Oliva (2009) y Cruz (2019) para lo cual se procedió:

- Se pesó 2,5 g de suelo en un recipiente de 35 ml y se añadió 25 ml de KCl 1N (Cloruro de Potasio) (74,6 g de cloruro de potasio aforar a 1L con agua destilada)
- Se colocó en el agitador por 10 min a 400 rpm.
- En el siguiente paso se filtró la muestra a través de Papel Whatman #1.

- Una vez filtrada la muestra se tomó un alícuota de 10 ml del filtrado.
- Consecutivamente se añadió 10 ml de agua destilada y 3 gotas de rojo de metilo 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 de titración 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 amarillo 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.
- Se determinó mediante el cálculo de:

$$\mathbf{H^+intercambiable} = V2 * N * 100 \quad (11)$$

$$\mathbf{Al^{+3}} = Al^{+3} + H^+ - H^+ \quad (12)$$

**Donde:**

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

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

**Al<sup>+3</sup> + H<sup>+</sup>:** meq/100mol o Cmol/kg

### **6.3.3.3 Determinación de Acidez Intercambiable del suelo.**

Este parámetro se analizó mediante la metodología de Bremmer y Milyaney 1994, misma citada por Oliva (2009) y Cruz (2019) para lo cual se procedió:

- Se pesó 2,5 g de suelo en un recipiente de 35 ml y se añadió 25 ml de KCl (Cloruro de Potasio) 1N (74,6 g de cloruro de potasio aforar a 1L con agua destilada).
- Se colocó en el agitador por 10 min a 400 rpm.
- En el siguiente paso se filtró la muestra a través de Papel Whatman #1.
- Una vez filtrada la muestra se tomó un alícuota de 10 ml del filtrado.
- Consecutivamente se añadió 10 ml de agua destilada y 3 gotas de fenolftaleína 0,05% (0,05 g de fenolftaleína y disolver el 50 ml de alcohol etílico, aforar a 100 ml con agua destilada).
- Con una bureta de titración 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 tenue 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.

$$Al^{+3} + H^{+} = V1 * N * 100 \quad (13)$$

**Donde:**

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

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

**Al<sup>3+</sup> + H<sup>+</sup>:** meq/100mol o Cmol/kg

#### **6.3.3.3.4 Determinación de Materia Orgánica.**

Este parámetro se lo determinó por el método de calcinación (LOI) en base a Schulte y Hopkings (1996).

- Según la metodología 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.
- Para enfriar las muestras fueron colocadas en un desecador y posteriormente fueron pesadas.
- Consiguientemente se las colocó en una mufla durante 360°C durante un lapso de 2 h.
- Posteriormente se las transfirió al desecador para su enfriamiento y se las pesó nuevamente.
- Se procedió a calcular el % de MO por diferencia de pesos a distintas temperaturas.

$$\%MO = \frac{(\text{peso } 105^{\circ}\text{C} - \text{peso } 360^{\circ}\text{C})}{\text{peso } 105^{\circ}\text{C}} \quad (14)$$

#### **6.3.3.3 Análisis Microbiológico.**

Para el análisis microbiológico se tomó 10g de suelo in situ en la toma de muestras alteradas las cuales fueron depositadas en fundas plásticas herméticas y trasladadas al laboratorio de microbiología para su análisis.

##### **6.3.3.3.1 Determinación del número de colonias de Hongos, Levaduras, Actinomicetos y Bacterias.**

- El proceso consistió en pesar un gramo de suelo mismo q será depositado en tubos de ensayo con agua de peptona estéril.
- Se realizó diluciones que comprendieron de 10<sup>-1</sup> a 10<sup>-4</sup>, siendo el tubo de ensayo con el suelo la muestra inicial.

- Para realizar la siembra en cajas Petri se utilizó dos medios de cultivo, Agar Nutritivo-NA (28g/L) para Hongos y Levaduras, y Agar Rosa Bengala-ARB (33,7g/L) para bacterias y Actinomicetos los cuales para su inoculación previamente pasaron por un proceso de autoclavado a 120°C y 200 atm de presión según lo estimado en el manual del fabricante.
- Una vez listo el medio de cultivo se procedió a verter 1 ml de diluciones de 10<sup>-1</sup> y 10<sup>-4</sup> para luego ser incubados a 30°C por 48h para proceder al conteo de colonias.
- Para la estimación de UFC se empleó la siguiente fórmula según (Alvarado, 2017) quien cita a (Camacho, Giles, & Ortegón, 2017):

$$\text{UFC} = \text{Ncp} * \text{FD} * \text{mlM} \quad (15)$$

**Donde:**

**UFC:** Unidades Formadoras de Colonias

**Ncp:** Número de colonias por placa

**FD:** Factor de dilución

**mlM:** ml de muestra sembrada

#### **6.3.3.4 Determinación de la calidad del suelo.**

Para determinar la calidad del suelo en las plantaciones de café (*Coffea arabica* y *Coffea canephora*) del CIPCA se ha analizado sus variables de los parámetros anteriormente mencionados en el programa estadístico SPSS con el fin de reducir el margen de valores a comparar, obteniendo un índice de calidad de suelo utilizando los valores máximos y mínimos según la metodología de Cantú, Becker, Bedano, & Schiavo (2007)(Tabla #).

Se aplicó también las diferencias significativas en las variables evaluadas para (P<0.05) por Tukey HSD (Viana, Ferraz, Neves, Veira, & Pereira, 2014).

**Tabla 5.** Clases de calidad de suelos.

| Índice de calidad de suelos | Abreviatura | Escala      | Clases |
|-----------------------------|-------------|-------------|--------|
| Muy alta calidad            | MAC         | 0,80 - 1,00 | 1      |
| Alta calidad                | AC          | 0,60 - 0,79 | 2      |
| Moderada calidad            | MC          | 0,40 – 0,59 | 3      |
| Baja calidad                | BC          | 0,20 – 0,39 | 4      |
| Muy baja calidad            | MBC         | 0,00 – 0,19 | 5      |

**Fuente.** (Cantú, Becker, Bedano, & Schiavo, 2007)

Se empleó la tabla de clases de calidad de suelos de la metodología de Cantú (**Tabla 5**) en donde para la obtención de un valor único de cada parámetro para la subunidad se realizó un promedio ponderado de acuerdo a la proporción que representa cada manejo en el área total. Posteriormente se normalizan los indicadores utilizando una escala 0-1 que representan la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad, independientemente de los valores absolutos medidos para cada indicador (Cantú, Becker, Bedano, & Schiavo, 2007). Existen dos posibles situaciones:

1. Cuando el valor máximo del indicador ( $I_{max}$ ) corresponde a la mejor situación de calidad de suelo (Valor normalizado del indicador:  $V_n = 1$ ) y el cálculo es  $V_n = I_m - I_{min} / I_{max} - I_{min}$ .
2. Cuando el valor  $I_{max}$  corresponde a la peor situación de calidad de suelo ( $V_n = 0$ ) y se calcula como:  $V_n = 1 - (I_m - I_{min} / I_{max} - I_{min})$ . Donde  $V_n$  = valor normalizado,  $I_m$  = medida del indicador,  $I_{max}$  = valor máximo del indicador,  $I_{min}$  = valor mínimo del indicador.

### ***6.3.3.5 Análisis estadísticos.***

Tanto para las variables físico, químico y microbiológico se realizó análisis estadísticos para comparar internamente la calidad de suelo en los lotes de café. Se analizó mediante un programa estadístico llamado SPSS v.23, según corresponda a datos de valores paramétricos o no paramétricos respectivamente con nivel de significancia  $p < 0.05$  por Tukey HSD.

## CAPITULO IV

### 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En el siguiente capítulo se presentarán los resultados obtenidos en el laboratorio expresados en tablas de valores para demostrar su incidencia en los dos cultivos de café.

#### 7.1 Parámetros físicos.

**Tabla 6.** Comparación de las propiedades físicas de los suelos en los cultivos de sistema tipo chakra y agroforestal.

| 0 a 10 cm         |                         |             |             |            |             |
|-------------------|-------------------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Cultivo           | Da (g/cm <sup>3</sup> ) | Ksat (cm/h) | Pt (%)      | Pa (%)     | Pr (%)      |
| Café Chakra       | 1,24±0,05               | 25,24±29,80 | 74,44±6,14  | 17,12±8,58 | 57,31±7,29  |
| Café Agroforestal | 1,17±0,10               | 38,81±55,48 | 73,54±5,17  | 13,88±6,72 | 59,66±9,71  |
| 20 a 30 cm        |                         |             |             |            |             |
| Café Chakra       | 1,50±0,18               | 0,34±0,16   | 67,65±18,91 | 8,41±2,45  | 59,24±18,85 |
| Café Agroforestal | 1,27±0,09               | 0,5±0,23    | 79,85±6,36  | 8,88±4,94  | 70,97±4,38  |

Fuente: Autores 2020

**Da:** Densidad aparente; **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada; **Pt:** Porosidad total; **Pa:** Porosidad de aireación; **Pr:** Porosidad de retención. Los valores en las columnas son el resultado de tres réplicas por cada tratamiento ± el error estándar del valor promedio de la variable la cual evidencia que no hay desviación típica por lo que no difieren para  $p < 0,05$  por Tukey HSD.

#### 7.1.1 Clase textural.

**Tabla 7.** Clase textural en los cultivos de café.

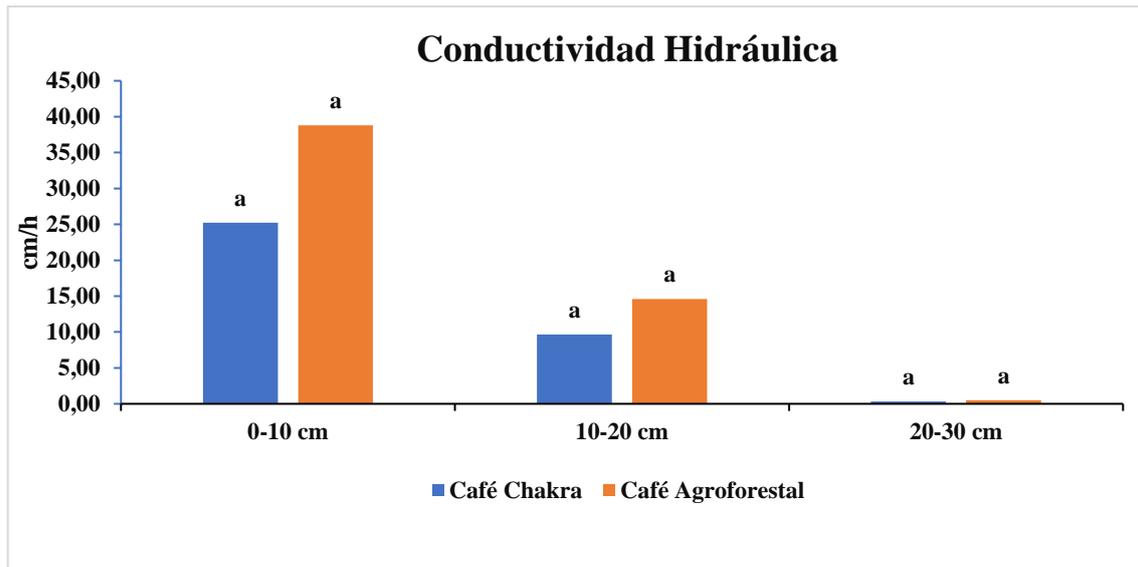
| Cultivo de café | Prof (cm) | Subparcela | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) | Clase Textural   |
|-----------------|-----------|------------|-----------|----------|-------------|------------------|
| Chakra          | 0-20      | 1          | 42        | 33       | 25          | Franco           |
|                 |           | 2          | 37        | 35       | 28          | Franco arcilloso |
|                 |           | 3          | 42        | 25       | 33          | Franco arcilloso |
| Agroforestal    | 0-20      | 1          | 32        | 32       | 36          | Franco arcilloso |
|                 |           | 2          | 51        | 28       | 21          | Franco           |
|                 |           | 3          | 42        | 37       | 21          | Franco           |

Fuente: Autores 2020

Mediante la prueba para la determinación de la textura (7)(8)(9) en los cultivos de café (*Coffea arabica*) y (*Coffea canephora*) en los sistemas de cultivos tipo chakra y agroforestal mediante la prueba del hidrómetro de Bouyoucus, la aplicación de las fórmulas y en base al triángulo textural de USDA (Figura 4) se ha determinado la clase textural presentes en el área de estudio. Como se evidencia en la (Tabla 7) tenemos dos tipos de clases textural franco (F) y franco arcilloso (FA), en el sistema de cultivo tipo chakra la clase textural dominante es (FA) puesto a que existe un equilibrio porcentual entre arena, limo y arcilla, esto representa un equilibrio entre permeabilidad al agua,

retención de agua y nutrientes se considera la textura ideal según (Cruz E. , 2015), y en el sistema tipo agroforestal la clase textural dominante es (F), mediante el estudio realizado por (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2017) menciona que la clase textural apropiadas para el café deben ser de textura franca, franco arenoso o franco arcilloso con lo que damos evidencia que el suelo tiene las condiciones texturales para el crecimiento y desarrollo del café.

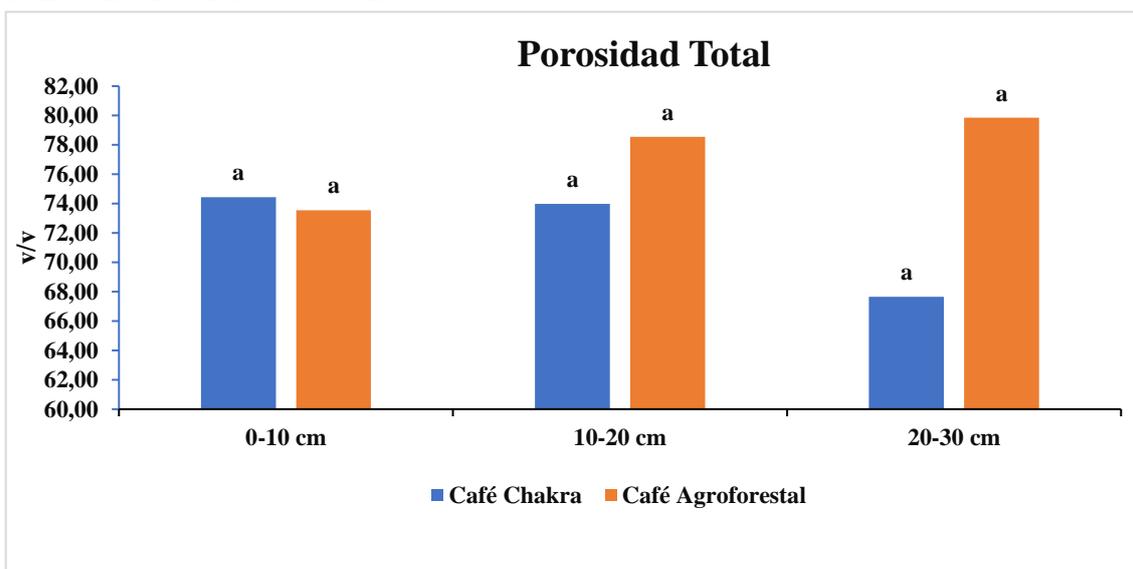
### 7.1.2 Conductividad hidráulica saturada.



**Figura 6. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el parámetro Ksat.**

Los resultados obtenidos mediante la metodología aplicada (5) para la determinación de la conductividad hidráulica saturada con carga variable se puede apreciar en la (Tabla 6) para Ksat, parámetro que nos permite conocer la capacidad de infiltración de agua en el suelo se evidencia que a medida que incrementa la profundidad del suelo disminuye la conductividad hidráulica significativamente, el cultivo de café con sistema tipo agroforestal evidencia una Ksat mayor que el cultivo de café con sistema tipo chakra a tres profundidades (0-10; 10-20; 20-30) cm (Figura 5) debido a la diferencia textural presente entre cultivos, puesto a que el café con sistema agroforestal presenta una textura de suelo franco (Tabla 7) considerados suelos drenados según (Ciancaglini, 2018) son suelos de tipo medio mientras que los franco arcillosos son suelos de tipos pesados (Anexo 1).

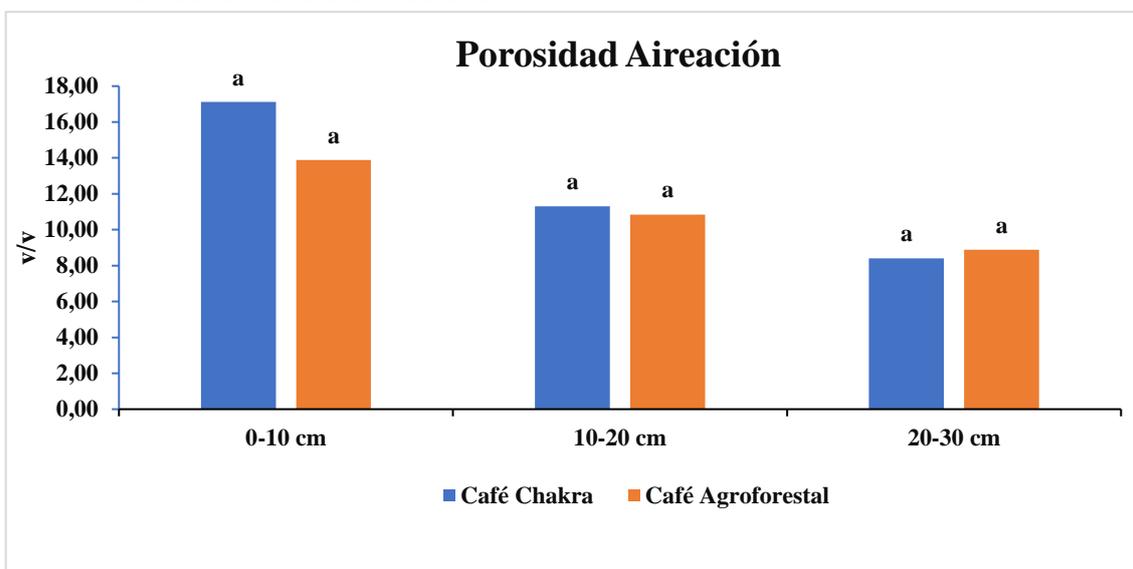
### 7.1.3 Porosidad total.



**Figura 7. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el parámetro Porosidad total.**

Los resultados obtenidos (**Tabla 6**) nos da a conocer que la porosidad total en los cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal es muy alta por cuanto son  $>60\%$  (**Tabla 4**) en las profundidades de (0-10;10-20; 20-30) (**Figura 6**) según el estudio realizado por (Paz & Sánchez, 2007) menciona que mientras mayor sea la porosidad mejor será el almacenamiento de agua y aireación, lo que mejora la calidad del suelo.

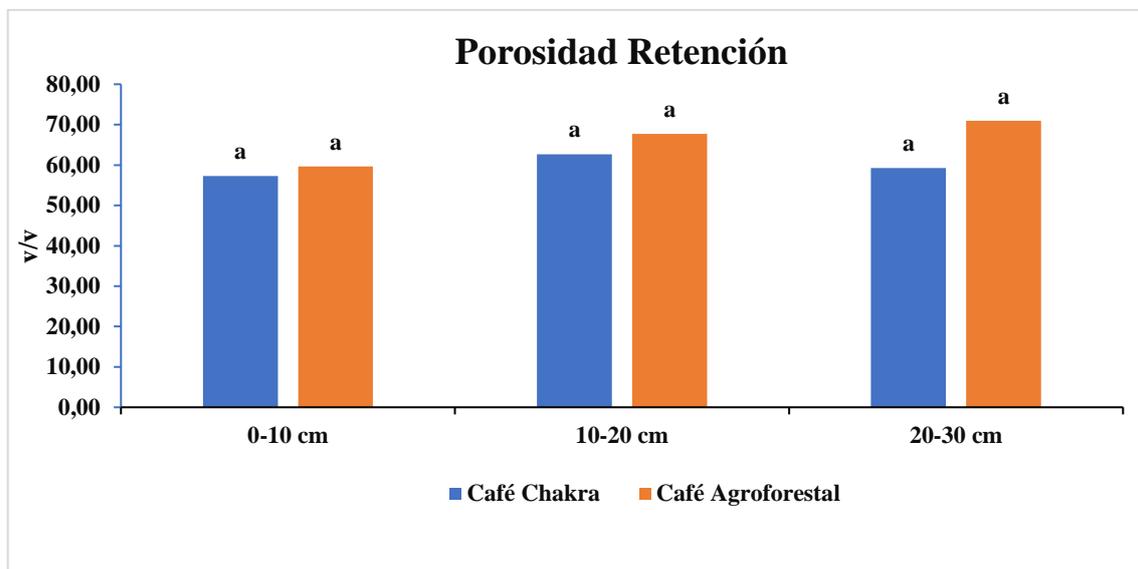
### 7.1.4 Porosidad de aireación.



**Figura 8. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el parámetro Porosidad de aireación.**

Los resultados obtenidos (**Tabla 6**) nos da a conocer que la porosidad de aireación en los cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal va disminuyendo conforme aumenta la profundidad obteniendo así mayor porcentaje de porosidad total en el cultivo de café con sistema tipo chakra (**Figura 7**) sin embargo como lo señala (Bravo, y otros, 2017) desde el punto de vista de manejo aquellos valores de porosidad de aireación (macroporos  $>15\mu\text{m}$ ) inferiores a 10% pueden representar serias limitaciones al flujo de agua, aire, actividad biológica y penetración de raíces, por lo tanto en las profundidades de 20 a 30 cm pueden presentarse problemas de aireación los dos sistemas de cultivos.

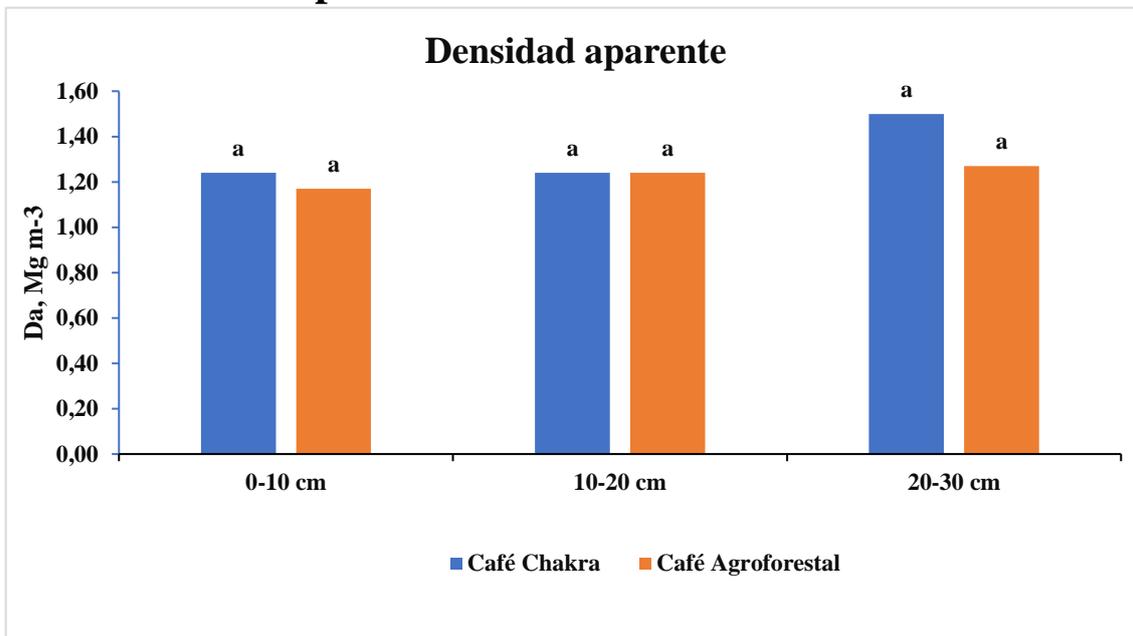
### 7.1.5 Porosidad de retención.



**Figura 9. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el parámetro Porosidad de retención.**

Lo resultados obtenidos de la porosidad de retención (**Tabla 6**) demuestra que el cultivo de café con sistema tipo agroforestal cuenta con mayor porosidad de retención teniendo valores en un rango de entre 59,6% a 71%, además (**Figura 8**) mientras aumenta la profundidad incrementa su valor siendo directamente proporcional a la profundidad, e inversamente proporcional a la porosidad de aireación (**Figura 7**) corroborando el estudio de (Ordaz, 2010). La Pr determinante para la formación de macroporos que facilitan el drenado de agua por percolación (Gayosso, Borges, Villaveva, Estrada, & Garruña, 2018). (Ordaz, 2010)

## 7.1.6 Densidad Aparente.



**Figura 10. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el parámetro Densidad aparente.**

Los valores obtenidos durante la determinación de la densidad aparente (**Tabla 6**) mediante la aplicación de la fórmula (5) según UNLP (2019) revelan que la densidad aparente exhibe comportamientos similares en los tres rangos de profundidad siendo el cultivo de café tipo chakra a una profundidad de 20 a 30 cm (**Figura 9**) quien posee valores excesivos para un suelo franco arcilloso. (Calvache, 2010) en suelos arenosos la densidad aparente puede ser tan alta como 1,6 mg/m<sup>3</sup>, en suelos francos cercana a 1,2 mg/m<sup>3</sup> y suelos arcillosos cercana a 1,0 mg/m<sup>3</sup>, haciendo relación con nuestros resultados hemos tenido en cuenta que también menciona un suelo agrícola promedio cultivado puede tener un valor de (Da) de 1,3-1,35 mg/m<sup>3</sup>.

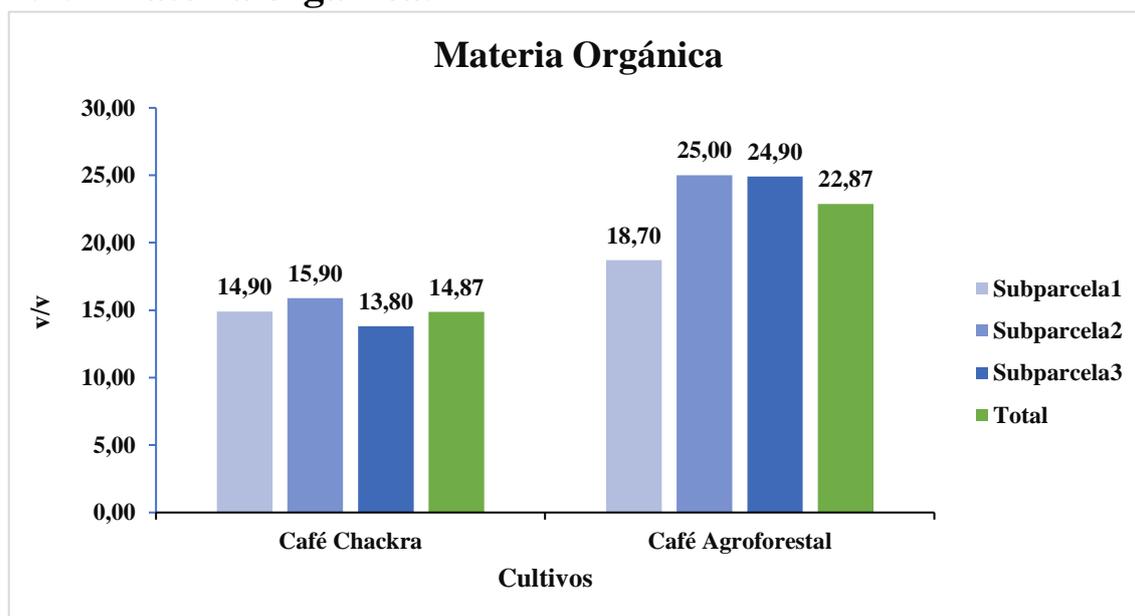
## 7.2 Parámetros químicos.

**Tabla 8.** Comparación de las propiedades químicas de los suelos.

| Cultivo           | MO (%)     | pH        | AIH (Meq/Cmol) | Al+H (Meq/Cmol) |
|-------------------|------------|-----------|----------------|-----------------|
| Café Chakra       | 14,87±0,91 | 5,02±0,03 | 0,53±0,51      | 0,77±0,33       |
| Café Agroforestal | 22,87±3,13 | 5,02±0,09 | 0,37±0,13      | 0,37±0,13       |

MO: Materia orgánica pH: Potencia de hidrógeno; AIH: Acidez intercambiable; Al+H: Aluminio intercambiable. Los valores en las columnas son el resultado de tres réplicas por cada tratamiento ± el error estándar del valor promedio de la variable la cual evidencia que no hay desviación típica por lo que no difieren para  $p < 0,05$  por Tukey HSD.

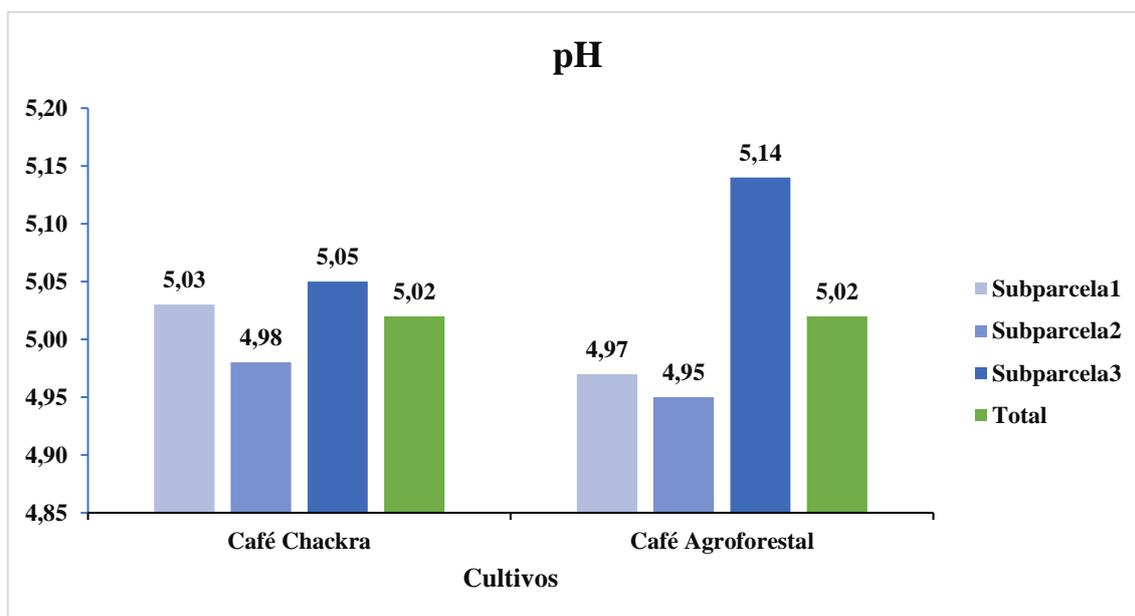
### 7.2.1 Materia orgánica.



**Figura 11.** Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante materia orgánica.

Los valores resultantes de la determinación de materia orgánica (**Tabla 8**) mediante el método de calcinación (LOI) son favorables para los dos tipos de cultivos en base a los niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelos propuestos por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (2014) que se considera alto (**Anexo 2**) a los porcentajes de MO  $> 5$ . En la amazonía predominan altos contenidos de materia orgánica debido a la temperatura y altitud que influye directamente sobre la actividad microbiana del suelo (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016). Teniendo en cuenta que los dos sistemas de cultivo de café tienen excelentes porcentajes de materia orgánica (**Figura 10**) podemos apreciar que el cultivo agroforestal presenta mayores concentraciones.

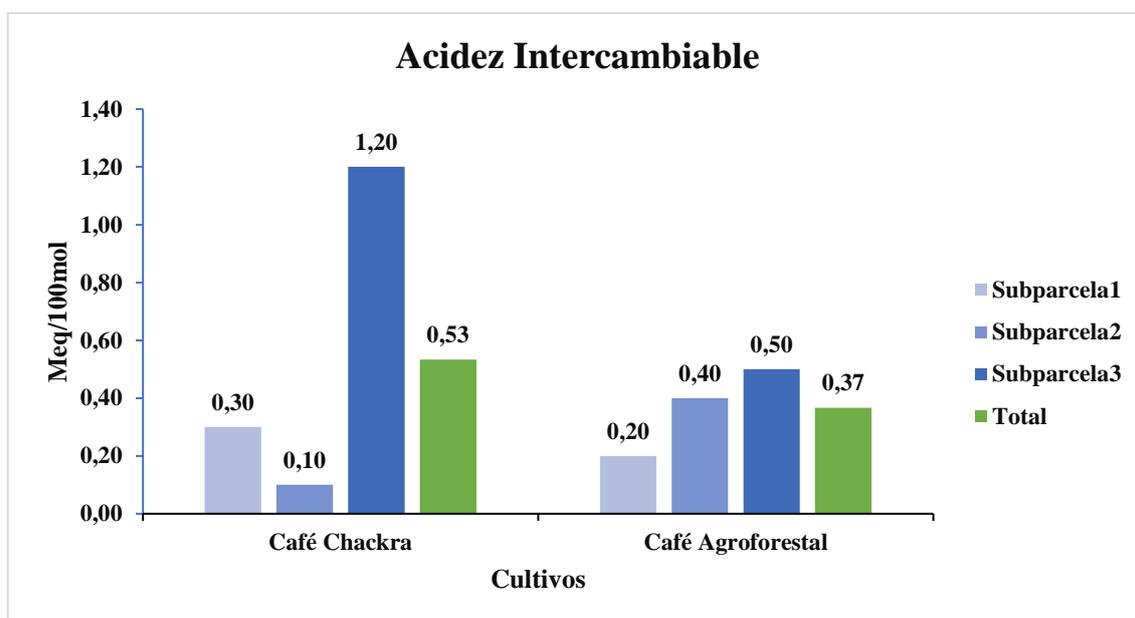
## 7.2.2 Potencial de hidrógeno.



**Figura 12. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el análisis de pH.**

Los valores obtenidos en la determinación del pH del suelo mediante el método del potenciométrico (**Tabla 8**) data que se encuentra dentro del rango asignado a pH ácido, evidencia la presencia de un suelo que oscila entre Ácido (5 – 5,5) y Muy Ácido (< 5) (**Anexo 2**) según los niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelos propuestos por el INIAP (2014). Según (Sadeghian Khalajabadi, 2016) para el café el rango adecuado de pH se encuentra entre 5,0 y 5,5. En la (**Figura 11**) podemos apreciar que la media de pH de los dos sistemas de cultivo es similar y se encuentra dentro del rango adecuado para el café; no obstante el rango de pH propuesto en la normativa ambiental ecuatoriana dentro de los criterios de calidad de suelo y criterios de remediación se estima un rango de pH de 6 a 8 (**Anexo 5**).

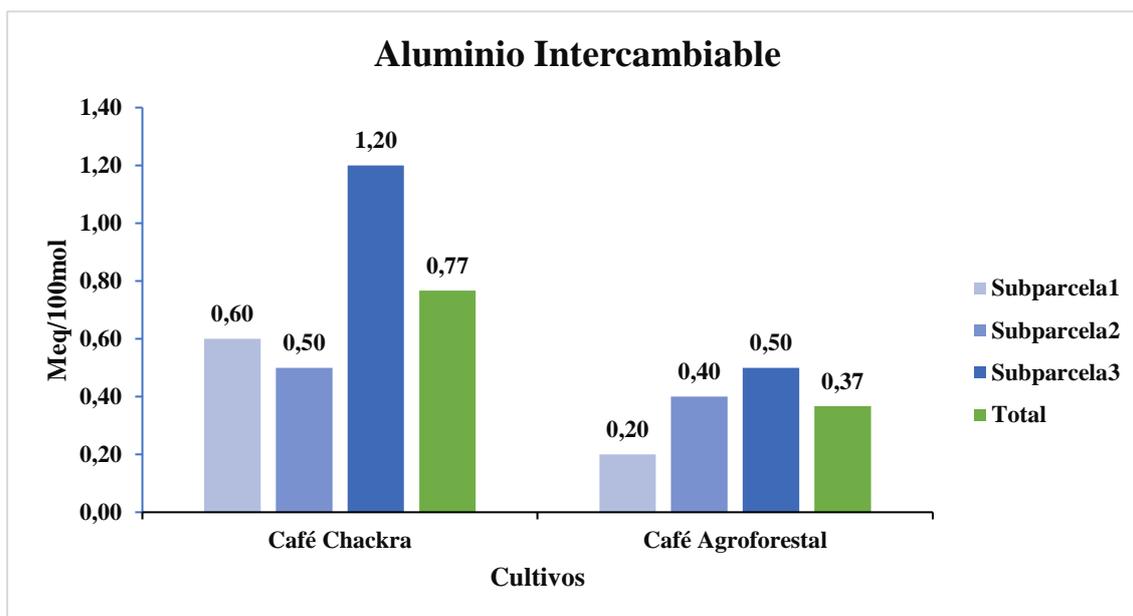
### 7.2.3 Acidez intercambiable.



**Figura 13. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el análisis de Acidez intercambiable.**

En la determinación de Acidez Intercambiable mediante el método titular de Bremmer y Milyaney (11)(12) los valores obtenidos dan a conocer que la acidez intercambiable presente en los sistemas de cultivo de café tipo chakra y agroforestal presentan valores que representan un nivel bajo (**Figura 12**) según los niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelos (**Anexo 2**) (INIAP, 2014), exceptuando el valor de la subparcela 3 del sistema de cultivo de café tipo chakra (**Figura 12**) cuya cantidad de 1,20 meq/100mol representa un nivel medio. Entre más alta sea la concentración de  $H^+$  menor será el pH y mayor la acidez (Sadeghian Khalajabadi, 2016).

## 7.2.4 Aluminio intercambiable.



**Figura 14. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante el análisis de Aluminio intercambiable.**

Una vez determinado el Aluminio Intercambiable mediante el método titular de Bremmer y Milyaney (13) los valores obtenidos (Tabla 8) dan a conocer que la acidez intercambiable presente en los sistemas de cultivo de café tipo chakra y agroforestal (Figura 13) presentan valores que representan un nivel medio según los niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelos (Anexo 2) (INIAP, 2014), no obstante como se observa en la acidez intercambiable (Figura 12) el sistema de cultivo tipo chackra presenta mayor concentración de  $Al^{+3}$ , teniendo la subparcela 3 una cantidad de 1,2 meq/100mol, lo que en este caso representa un nivel tóxico. Es conocido ampliamente que una de las causas de acidez en los suelos es la presencia de aluminio ( $Al^{+3}$ ) (Espinosa & Molina, 1999) y como se evidencia en la (Figura 11) existe suelo ácido en los cultivos de café. Mientras que (Sadeghian Khalajabadi, 2016) afirma que entre mas bajo el pH en el suelo habrá más  $Al^{+3}$  y las altas concentraciones de aluminio intercambiable en el suelo resultan tóxicas para las plantas.

### 7.3 Parámetros microbiológicos.

Para el cumplimiento del segundo objetivo específico “Evaluar la disponibilidad de nutrientes del suelo en los cultivos de café (*Coffea arabica* y *Coffea canephora*) mediante unidades formadoras de colonias de hongos, levaduras, actinomicetos y bacterias” se obtuvo los siguientes resultados.

**Tabla 9.** Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

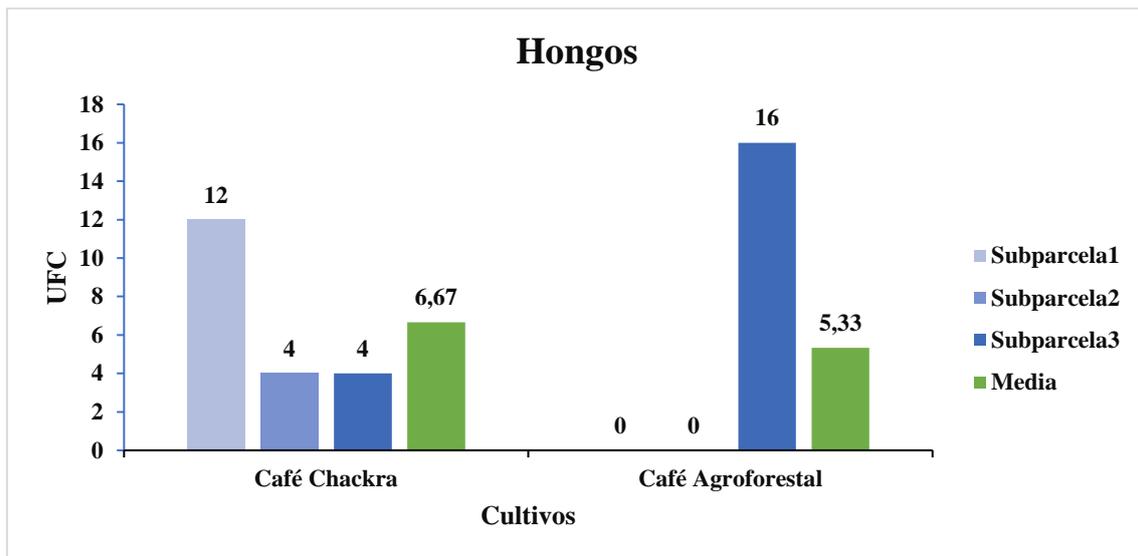
| Sistema de Cultivo | Subparcelas | Dilución | Hongos UFC | Levaduras UFC | Actinomicetos UFC | Bacterias UFC |
|--------------------|-------------|----------|------------|---------------|-------------------|---------------|
| Café Chakra        | 1           | 1        | 12         | 124           | 4                 | 4400          |
|                    |             | 0,001    | 0          | 0,092         | 0                 | 0,48          |
|                    | 2           | 1        | 4          | 48            | 8                 | 1120          |
|                    |             | 0,001    | 0          | 0             | 0,004             | 0,8           |
|                    | 3           | 1        | 4          | 84            | 24                | 4800          |
|                    |             | 0,001    | 0          | 0,016         | 0,004             | 0,8           |
| Media              | 1           | 6,67     | 85,33      | 12,00         | 3440,00           |               |
|                    |             | 0,001    | 0,00       | 0,04          | 0,00              | 0,69          |
| Café Agroforestal  | 1           | 1        | 0          | 188           | 0                 | 5480          |
|                    |             | 0,001    | 0          | 0,076         | 0                 | 2             |
|                    | 2           | 1        | 0          | 312           | 8                 | 2280          |
|                    |             | 0,001    | 0          | 0,056         | 0,004             | 1,56          |
|                    | 3           | 1        | 16         | 60            | 12                | 6800          |
|                    |             | 0,001    | 0,004      | 0,016         | 0,008             | 0,48          |
| Media              | 1           | 5,33     | 186,67     | 6,67          | 4853,33           |               |
|                    |             | 0,001    | 0,00       | 0,05          | 0,00              | 1,35          |

Fuente: Autores 2020.

En la (Tabla 9) se puede apreciar los valores de UFC obtenidos en los dos tipos de cultivos de café a diluciones de  $10^{-1}$  y  $10^{-4}$  y obteniendo valores medios, evidenciando que las bacterias predominan significativamente en los dos cultivos seguido de las levaduras, los actinomicetos y por último hongos. La baja presencia y ausencia de algunos microorganismos limitan el proceso de disponibilidad de nutrientes y su reciclaje, es decir los minerales que están solubles en el suelo y que pueden ser aprovechado por las plantas para cumplir con sus funciones fisiológicas. La mayor actividad de microorganismos se realiza desde la superficie del suelo hasta los 20 cm de profundidad (Delgado, 2019). Una de las causas de la escasez de microorganismos es debido a los niveles bajo de pH (Figura 11) según (Barroso, Álvarez, Huera, Changoluisa, & Bravo, 2017) los suelos ácidos pueden causar problemas al reducir la vida microbiana y la disponibilidad de algunos nutrientes para las plantas. (SMART, s.f.) La mayoría de los nutrientes se encuentran disponibles a un pH de 5,8 a 6,5 (ligeramente ácido) (Anexo 3) por lo que se puede

deducir que la disponibilidad de nutrientes para los cultivos de café es baja puesto a que presenta suelos de  $\text{pH} < 5,2$  (Tabla 8).

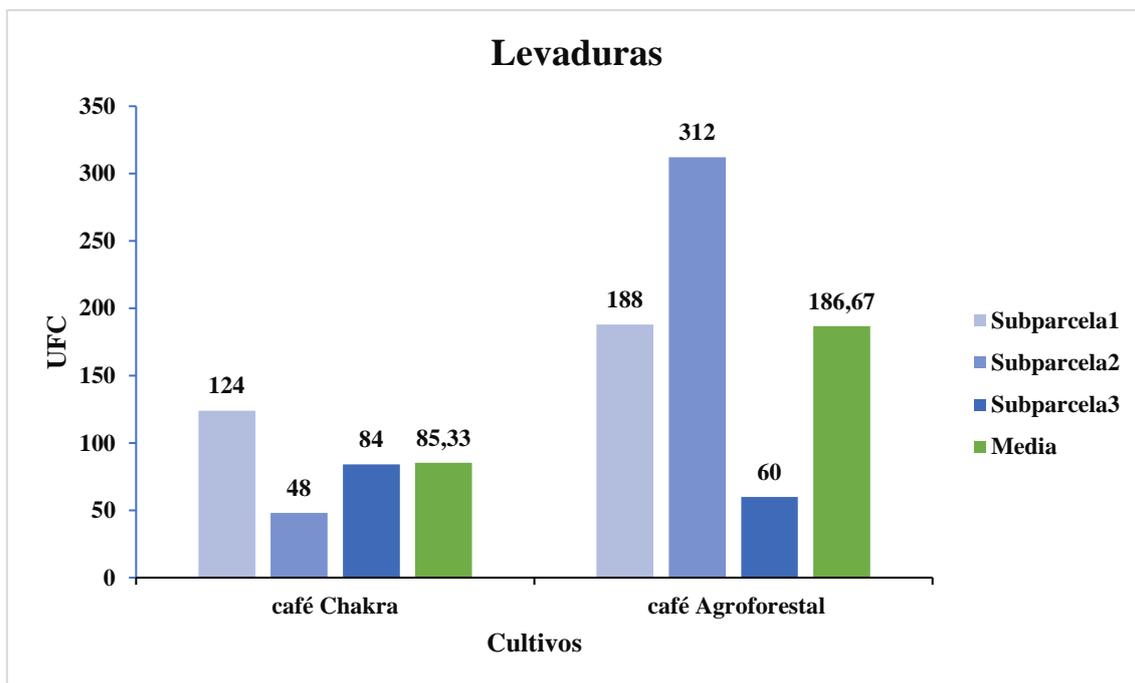
### 7.3.1 Hongos.



**Figura 15. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante la cuantificación de colonias de Hongos.**

En los valores obtenidos mediante la aplicación de la fórmula (15) para determinar la cantidad de UFC de hongos presentes en los sistemas de cultivo tipo Chakra y Agroforestales de café (Tabla 9) se aprecia una ausencia de individuos en el sistema de cultivo agroforestal en las subparcelas 1 y 2 (Figura 14), lo que representa un factor desfavorable para el suelo ya que según (Fray, 2010) los hongos degradan compuestos complejos como quitina y celulosa a niveles de  $\text{pH}$  bajos, se han hallado desde 20000 a 1000000 de unidades fúngicas por unidades de suelo, pueden desarrollarse en un rango de  $\text{pH}$  de 2 a 9 según (Area de Edafología y Química Agrícola, 2006).

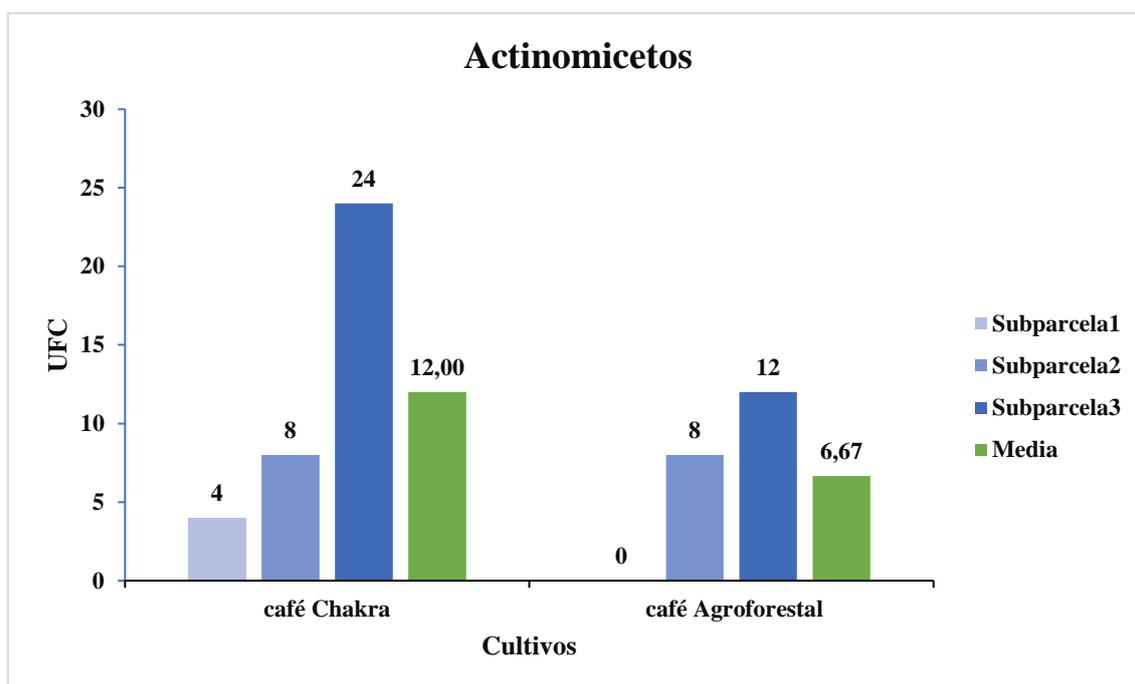
### 7.3.2 Levaduras.



**Figura 16. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante la cuantificación de colonias de Levaduras.**

En los resultados obtenidos para las cantidades de UFC de levaduras (**Tabla 9**) presentes en los cultivos de café con sistema tipo chakra y agroforestal se evidencia mayor cantidad de levaduras en el cultivo de café con sistema agroforestal (**Figura 15**) siendo un factor positivo ya que según (Delgado, 2019) las levaduras son importantes fermentadores de carbohidratos produciendo alcoholes que son utilizados por otros microorganismos como fuentes de energía, por cuanto su presencia es esencial para su desempeño para la disponibilidad de nutrientes. Algunas levaduras cumplen los mismos servicios importantes que los hongos (Fray, 2010). Se ha venido recibiendo poca atención a las levaduras a pesar que se encontraron en la mayor parte de los suelos su número siempre es pequeño, se suelen dar doscientos a veinte mil unidades por gramo de suelo (Area de Edafología y Química Agrícola, 2006).

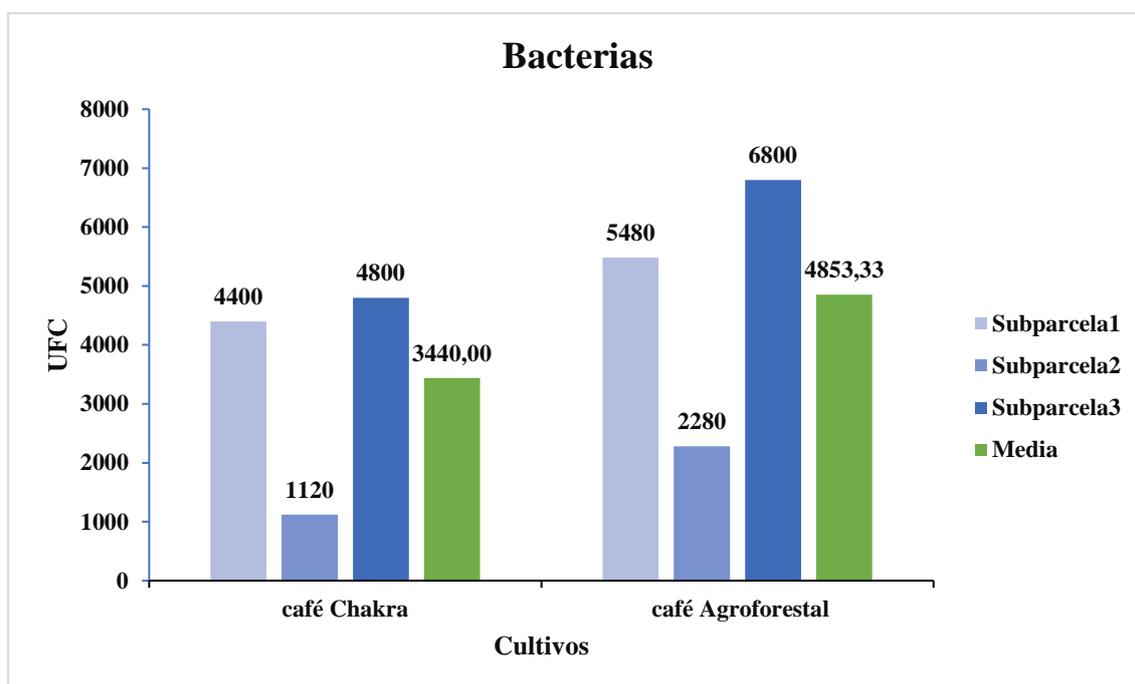
### 7.3.3 Actinomicetos.



**Figura 17. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestral mediante la cuantificación de colonias de Actinomicetos.**

En los resultados obtenidos para las cantidades de UFC de actinomicetos (**Tabla 9**) presentes en los cultivos de café con sistema tipo chakra y agroforestral se aprecia la ausencia de individuos en la subparcela 1 del cultivo de café agroforestral y un equilibrio de UFC en las demás subparcelas (**Figura 16**), la presencia de estos microorganismos son favorables para la calidad del suelo por cuanto son responsables del olor mohoso rancio y el composte, descomponen una amplia variedad de sustratos orgánicos pero más importante aún es que según (Fray, 2010) a niveles altos de pH descomponen compuestos complejos como quitina y celulosa, por cuanto podemos deducir que esta función se ve limitada al encontrarse en suelos con pH bajos (**Figura 11**). En zonas templadas existen cien mil a cien millones por gramo siempre y cuando el pH no baje de 5 (Area de Edafología y Química Agrícola, 2006).

### 7.3.4 Bacterias.



**Figura 18. Comparación de resultados entre cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal mediante la cuantificación de colonias de Bacterias.**

En los resultados obtenidos para las cantidades de UFC de bacterias (**Tabla 9**) presentes en los cultivos de café con sistema tipo chakra y agroforestal evidenciaron que el cultivo de café con sistema agroforestal tiene mayor cantidad de bacterias (**Figura 17**) que el cultivo de café tipo chakra sin embargo se evidencia una buena actividad microbiana ya que se registra la presencia de UFC en todas sus diluciones (**Tabla 9**) de  $10^{-4}$ , las bacterias llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica (aportan nitrógeno y fósforo) y el proceso de nitrificación, según (SMART, s.f.) estos procesos se vuelven significativamente lentos en los suelos ácidos por lo tanto limitan la disponibilidad de nutrientes. Según la distribución bacteriana la profundidad (Millones/g) nos da que de 20 a 25 cm hay un valor de 1,8 para bacterias aerobias y 0,38 para bacterias anaerobias (**Anexo 4**).

## 7.4 Índice de la calidad del suelo.

**Tabla 10.** Índice de calidad de suelo en los cultivos de café (*Coffea arábica* y *Coffea canephora*) del CIPCA.

| Sistema de cultivo tipo Chakra       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                                      | Da   | Ksat | Pt   | Pa   | Pr   | Al+3 | AlH  | MO   | pH   | Vnt  | Clase |
| <b>Vn 1</b>                          | 0,44 | 0,28 | 0,35 | 0,29 | 0,35 | 0,38 | 0,39 | 0,51 | 0,57 | 0,4  | MC    |
| <b>Vn 2</b>                          | 0,56 | 0,72 | 0,65 | 0,71 | 0,65 | 0,62 | 0,61 | 0,49 | 0,43 | 0,59 | MC    |
| Sistema de cultivo tipo Agroforestal |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|                                      | Da   | Ksat | Pt   | Pa   | Pr   | Al+3 | AlH  | MO   | pH   | Vnt  | Clase |
| <b>Vn 1</b>                          | 0,42 | 0,22 | 0,44 | 0,51 | 0,41 | 0,56 | 0,56 | 0,66 | 0,37 | 0,46 | MC    |
| <b>Vn 2</b>                          | 0,58 | 0,78 | 0,56 | 0,49 | 0,59 | 0,44 | 0,44 | 0,34 | 0,63 | 0,54 | MC    |

**MAC:** Muy alta calidad; **AC:** Alta calidad; **MC:** Moderada calidad; **BC:** Baja calidad; **MBC:** Muy baja calidad; **Vn1:** Valor normalizado máximos=1; **Vn2:** Valor normalizado mínimos=0; **Vnt:** Valor normalizado total.

Mediante el índice de calidad de suelos para valores normalizados se tomaron en cuenta tanto máximos y mínimos y se ha determinado mediante el índice de calidad de suelos como un suelo de clase 3 en la escala 0,4-0,59 de moderada calidad (**Tabla5**) para los dos cultivos, puesto a que individualmente existen parámetros como Ksat que con sus valores máximos en los dos cultivos se obtiene una baja calidad (BC) < 0,39 clase 4 y con sus valores mínimos alta calidad (AC) > 0,60 clase 2.

Para el cumplimiento del tercer objetivo específico “Comparar y discutir en base a los resultados obtenidos, la calidad del suelo y proponer una estrategia de mejoramiento, recuperación o remediación del suelo en los cultivos de café del CIPCA” se propuso la siguiente estrategia.

## 7.5 Estrategia para el mejoramiento de la calidad del suelo.

En base a los resultados obtenidos en la determinación de la calidad del suelo mediante el análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los cultivos de café con sistema tipo chakra y agroforestal (*Coffea arabica* y *Coffea canephora*) del Centro de Investigación y Posgrado para la Conservación Amazónica y conociendo que son suelos ácidos, con presencia considerable de aluminio intercambiable y de moderada calidad se ha visto factible elevar los niveles de pH del suelo. Según (MInisterio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca, 2010) dándole una importancia ecológica a los cafetales afirma que como arbusto contribuye a la conservación de los suelos, especialmente de materia orgánica y protector de procesos erosivos que son cultivados

bajo arboles de alto valor ecológico y económico apropiado para muchas especies de flora y fauna nativas, contribuyen a la captura de carbono similarmente a los bosques secundarios, regulan el balance hídrico de los ecosistemas y el manejo tecnificado no requiere de una alta dependencia de agroquímicos; no obstante en los cafetales estudiados en el CIPCA se evidencia un problema de acidez inapropiado en el suelo de estos cultivos negativos tanto para sus parámetros ambientales como para la producción de café u otro tipo de cultivo.

Tanto para la producción de café como para el cambio de uso del suelo ya sea otro sistema de cultivo, recuperación y enmienda de las propiedades del suelo o el cumplimiento de la normativa ambiental ecuatoriana se ha determinado que la metodología más viable para cumplir con este objetivo es la aplicación del encalado de los suelos.

### **7.5.1 Propuesta de Encalado del suelo.**

La acidez o pH del suelo afecta al crecimiento vegetal incidiendo directamente a la disponibilidad de nutrientes especialmente en el fósforo, cuya mayor disponibilidad se da en valores de pH neutral (7), por debajo de 5 tiende a ser fijado por aluminio y hierro (acidez intercambiable y aluminio intercambiable) estando así indisponible para las plantas (Agrobit, s.f.).

Los materiales del encalado son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y magnesio, pueden ser óxido de calcio (CaO), hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ , cal agrícola o calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$ ), óxidos de magnesio (MgO), magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), arcillas calcáreas ( $\text{CaCO}_3$ ) y escorias industriales (Espinosa & Molina, 1999).

Los mecanismos de reacción del encalado permiten la neutralización de los iones  $\text{H}^+$  por medio de iones  $\text{OH}^-$  al entrar en contacto con el agua. Mientras existan iones de  $\text{H}^+$  en el suelo las reacciones de Cal continúan hasta neutralizar el  $\text{H}^+$  o precipitar el  $\text{Al}^+$  (Espinosa & Molina, 1999). Adicionalmente el aluminio se precipita como  $\text{Al(OH)}_3$  forma en la cual no es tóxica para las plantas (Sadeghian Khalajabadi, 2016).

El encalado tiene como beneficio eliminar la toxicidad de aluminio y magnesio proporciona calcio y magnesio incrementa la actividad de microorganismos encargados de la mineralización de la materia orgánica del suelo, aumenta la disponibilidad de nutrientes, incrementa la actividad de las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico y mejora la eficiencia de abonos (Sadeghian Khalajabadi, 2016).

La asociación nacional de cafeteros de Colombia recomienda un suministro de dosis bajas de cal agrícola de 340 kg \* ha /año esto se sobre entiende que son valores para producción agrícola, mientras que para alcanzar niveles de pH deseados (Espinosa & Molina, 1999) propone las siguientes ecuaciones:

$$\text{Saturción de Acidez (\%)} = \frac{\text{acidez } \left(\frac{\text{meq}}{100\text{mol}}\right)}{\text{CICE } \left(\frac{\text{meq}}{100\text{mol}}\right)} * 100$$

$$\text{Saturción de Aluminio (\%)} = \frac{\text{Al Intercambiable } \left(\frac{\text{meq}}{100\text{mol}}\right)}{\text{CICE } \left(\frac{\text{meq}}{100\text{mol}}\right)} * 100$$

**Donde:**

**CICE:** Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (Al+H+Ca+Mg+K)

Con estos valores se pretende estimar el porcentaje de saturación de acidez y aluminio intercambiable que se requiere. Mientras que con la siguiente formula:

$$\text{CaCO}_3 \text{ (t/ha)} = \text{Factor} * \text{A}100\text{mol/Kg de suelo}$$

Se puede obtener la cantidad de material a ser utilizado para neutralizar el Al, el factor puede variar entre 1,5 y 2,0 dependiendo del cultivo y el tipo de suelo (Espinosa & Molina, 1999).

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 5.1 Conclusiones.

- Se aplicó exitosamente las metodologías propuestas para el muestreo, análisis y determinación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los cultivos de café con sistema tipo chakra y agroforestal del CIPCA mediante los cuales se nos permite conocer el estado actual del suelo y su calidad.
- La determinación y análisis del suelo de los cultivos de café en sistema tipo chakra y agroforestal (*Coffea arábica* y *Coffea canephora*) nos dan a conocer que sus propiedades físicas se encuentran en un estado óptimo puesto que posee una textura ideal, una buena conductividad hidráulica gracias a su porosidad y aireación que permite que posea también una densidad aparente aceptable, esto en base al análisis, discusión y comparación de los resultados obtenidos con diversas fuentes de información.
- No obstante las propiedades químicas del suelo en los cultivos de café del CIPCA presentan valores negativos en cuanto a una buena calidad del suelo ya que a pesar de tener un buen porcentaje de materia orgánica presenta niveles ligeramente bajos en acidez intercambiable y niveles medios y altos en aluminio intercambiable, factor que favorece en la presencia de un pH bajo en los suelos por debajo incluso de la acidez óptima para la producción de café y negativo para la pérdida de nutrientes por lixiviación.
- Por la evidente presencia de suelos ligeramente ácidos se nota la escasa presencia de algunos microorganismos (hongos y actinomicetos) que son vitales para cumplir con funciones de reciclaje y disponibilidad de nutrientes esenciales para el desempeño de las funciones fisiológicas de las plantas.
- Mediante el índice de calidad se determinó que los cultivos de café poseen una calidad moderada (MC), siendo el pH en relación con la presencia del aluminio intercambiable los ocasionantes de la acidez del suelo a nivel perjudicial.

## 5.2 Recomendaciones.

- Se recomienda la aplicación de la técnica de encalado del suelo con la finalidad de reducir el aluminio intercambiable a niveles óptimos para la producción de café, cambio de uso de suelo o el cumplimiento de la normativa ambiental ecuatoriana.
- Se estima que esta información debe ser usada para fortalecer el aprendizaje con el fin de que los estudiantes e investigadores de la UEA conozcan el estado del suelo de los cultivos de café del CIPCA para que puedan aplicar y desarrollar sus conocimientos.
- Para estudios posteriores se sugiere adoptar las metodologías y técnicas propuestas por el Dr. Carlos Bravo y el Dr. Roldán Torres, excelentes investigadores en área de suelos de la UEA.

## CAPITULO VI

### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Agrobit. (s.f.). *Agrobit*. Obtenido de Agrobit Web site: [http://www.agrobit.com.ar/Info\\_tecnica/agricultura/alfalfa/AG\\_000007al.htm](http://www.agrobit.com.ar/Info_tecnica/agricultura/alfalfa/AG_000007al.htm)
- Alvarado, M. (2017). *DISEÑO DE UN MÉTODO MPN-PCR PARA MONITOREO DE VIBRIO PARAHAEMOLYTICUS EN LOS SISTEMAS DE LITOPENAEUS VANNAMEI*. Guayaquil, Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
- Andrade, A. (2017). *ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS DE LAS EMPRESAS ECUATORIANAS EXPORTADORAS DE PRODUCTOS INDUSTRIALIZADOS DE CAFÉ*. Quito: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
- Area de Edafología y Química Agrícola. (2006). *Universidad de Extremadura*. Obtenido de UEX web site: <https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo//ECAP/ECAL6MHongos.htm>
- Barroso, R., Álavarez, D., Huera, T., Changoluisa, D., & Bravo, C. (2017). La fertilidad del suelo como servicio ecosistémico en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L), en la provincia del Napo. En R. Alemán, H. Reyes, & C. Bravo, *Simposio internacional sobre Manejo Sostenible de tierras y seguridad alimentaria* (págs. 99-106). Ecuador: Universidad Estatal Amazónica.
- Bernal, G. (2006). *La Microbiología de Suelos en Ecuador: Situación Actual de la Investigación*. Quito, Ecuador: MassGráficos.
- Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Torres, R., & Changoluisa, D. (2017). Factores Asociados a la Fertilidad del Suelo en Diferentes Usos de la Tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(11), 1 - 16.
- Burt, R. (2004). *SOIL SURVEY LABORATORY. METHODS MANUAL*. (R. Burt, Ed.) United States Department of Agriculture: Soil Survey Investigations Report.
- Calvache, M. (2010). *Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo*. Santo Domingo, Ecuador: XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Obtenido de SecSuelo.
- Camacho, A., Giles, M., & Ortegón, A. (2017). *Técnicas para el análisis Microbiológico*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Cuenta-en-placa\\_6527.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Cuenta-en-placa_6527.pdf)
- Cantú, M., Becker, A., Bedano, J., & Schiavo, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del Suelo*, 173 -178.

- Carrera, W., Chamik, G., Huatatoca, H., Guapisaca, J., & Yumbo, H. (2019). *ELABORACIÓN ARTESANAL DE UN BIO INSECTICIDA A BASE DE Capsicum annum*. Puyo: Universidad Estatal Amazónica.
- Carrillo, F., Senén, S., & Sanz, J. (1995). Cómo obtener una buena muestra para el análisis de suelos. *CENICAFE*, 1-3.
- CATIE. (1985). *Conceptos metodológicos sobre investigación y desarrollo de tecnología para sistemas de producción de cultivos*. Torrialba.
- Ciancaglini, N. (2018). *Programa de Servicios Agrícolas Provinciales*. Obtenido de PROSAP:  
[http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20\\_R001\\_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf?fbclid=IwAR2iL2ytGi-JzTyuTm6JWv7EIRb5JS2XcZZBOP9gjjT7s1g3l6UrT8Qa8fI](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf?fbclid=IwAR2iL2ytGi-JzTyuTm6JWv7EIRb5JS2XcZZBOP9gjjT7s1g3l6UrT8Qa8fI)
- Cruz, E. (2015). *Propiedades Físicas del Suelo*. Siguatepeque, Departamento de Comayagua, Honduras.
- Cruz, L. (2019). *Influencia del cultivo intensivo de pitahaya (Hylocereus triangularis) sobre propiedades fisicoquímicas y parámetros microbiológicos de suelos amazónicos*. Puyo, Ecuador: Universidad Estatal Amazónica.
- Cruz, L., & Torres, R. (2019). *Influencia del cultivo intensivo de pitahaya (Hylocereus triangularis) sobre propiedades fisicoquímicas y parámetros microbiológicos de suelos amazónicos*. Puyo: Universidad Estatal Amazónica.
- Delgado, M. (2019). *Orius Biotech USA*. Obtenido de Orius Web site:  
[https://www.oriusbiotech.com/escrito?nom=Los\\_microorganismos\\_del\\_suelo\\_en\\_la\\_nutrici%C3%B3n\\_vegetal](https://www.oriusbiotech.com/escrito?nom=Los_microorganismos_del_suelo_en_la_nutrici%C3%B3n_vegetal).
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y Encalado de los Suelos*. Quito: International Plant Nutrition Institute.
- FAO. (1991). *Manejo del Suelo: producción y uso del comprobante en ambientes tropicales y subtropicales*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (1994). *Ecología y enseñanza rural. Nociones ambientales básicas para profesores*. Roma, Italia: FAO.
- FAO. (2009). *Guía para Descripción de Suelos*. Roma, Italia: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2004). Fertilización de los Cafetales. *CENICAFE*, Capítulo 7, 136-142.
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). *Manual de Procedimiento Analítico*. México: Departamento de Edafologías.

- Fray, P. (2010). *Conservación de los Recursos Naturales para una Agricultura Sostenible*.
- Gayosso, S., Borges, L., Villaveva, E., Estrada, M., & Garruña, R. (2018). Caracterización Física y Química de Materiales Orgánicos para Sstratos Agrícolas. *Agrociencia*, 639-652.
- GRUPO LATINO. (s.f.). *Análisis de Laboratorio de Suelos y Agua* (Primera Edición Tomo I ed.). Colombia: Printer Colombiana.
- INIAP. (2014). *Propuesta de Políticas Públicas para el Manejo y Conservación de los Suelos en Ecuador*. Quito.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2017). *Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo del cultivo de* (Vol. VIII). Orellana. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4788/7/iniapeecaga008.pdf>
- Jiménez , A., & Massa, P. (2016). *Producción de café y variables climáticas:El caso de Espíndola, Ecuador*. Mérida: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.
- Jordán López, A. (2006). *Manual de Edafología*. Sevilla, ESPAÑA: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla.
- León, Z. (2012). *Descripción de los principales sistemas agroforestales amazónicos del Ecuador y los servicios ecosistémicos que ofrecen*. Cuenca: Universidad de Cuenca .
- Lopez Pérez, M. (2016). *DETERMINACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MÉTODOS DE OLLAS ISOBÁRICAS Y CENTRÍFUGA PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE*. Quito, Ecuador.
- Lorenzo , R. (2013). FÍSICA DE SUELOS, UN ENFOQUE MODERNO EN LA AGRICULTURA ACTUAL. EL CASO DE LA DEGRADACIÓN FÍSICA POR EFECTOS DE LA MECANIZACIÓN. En G. Romero, D. Aristizábal, & C. Jaramillo, *Encuentro Nacional de Labranza de Conservación Memorias* (pág. 39). Villavicencio: Guadalupe.
- Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca. (2010). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Obtenido de MAG web site: <https://www.agricultura.gob.ec/magap-ejecuta-proyecto-de-reactivacion-de-la-caficultura-ecuatoriana/>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. (2016). *La Política Agropecuaria Ecuatoriana: Hacia el desarrollo territorial rural sostenible 2015-2025. I Parte*. Quito, Ecuador .
- Miralles, I. (2006). *CALIDAD DE SUELOS EN AMBIENTES CALIZOS MEDITERRÁNEOS: PARQUE NACIONAL DE SIERRA MARÍA-LOS VÉLEZ*. Granada, España: Universidad de Granada.

- Molina, D., Ramirez, V., & Cortina, H. (2016). COMPORTAMIENTO DE ACCESIONES DE *Coffea arabica* SOMETIDAS A DÉFICIT DE HUMEDAD DEL SUELO. *Cenicafé*, 42.
- Molina, E. (2007). *ANÁLISIS DE SUELOS Y SU INTERPRETACIÓN*. San José, Costa Rica: Amino Grow Internacional.
- Montalvo Sola, K. (2013). *EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO EN LA PRODUCTIVIDAD DE CINCO SECTORES AGRÍCOLAS DE LA PARROQUIA DE TUMBACO*. Quito, Ecuador.
- 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.
- Ordaz, V. (2010). Caracterización Físicas de Sustratos. *Primer Curso Nacional de Sustratos*. Texcoco, México: Colegio de Postgraduados.
- Orellana, T. (2010). *VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA EN SUELOS*. Cuenca, Ecuador.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1994). *Ecología y enseñanza rural. Nociones ambientales básicas para profesores*. Roma, Italia: FAO.
- Paz, I. E., & Sánchez, M. (2007). RELACIÓN ENTRE DOS SISTEMAS DE SOMBRÍO DE CAFÉ Y ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN LA MESETA DE POPAYÁN. *Revista de Biotecnología, II*, 41.
- Peneque, V., Calaña, J., Calderón, M., Borges, Y., Hernández, T., & Caruncho, M. (2010). *MANUAL DE TÉCNICAS ANALÍTICAS ANALÍTICAS PARA ANÁLISIS DE SUELO, FOLIAR, ABONOS ORGÁNICOS Y FERTILIZANTES DE SUELOS* (María Pérez ed.). La Habana, Cuba: INCA.
- Pérez, V., & Villacís, D. (2015). *ANÁLISIS DEL PROYECTO DE REACTIVACIÓN DE LA CAFICULTURA ECUATORIANA EN LA ZONA DE MANABÍ*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica Santiago de Guayaquil.
- Pla, I. (2010). MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS DIFICULTADES Y ERRORES MAS FRECUENTES. II-PROPIEDADES HIDROLÓGICAS. *Suelos Ecuatoriales 40* (2), 94 - 127.
- Pla, I. (2010). MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS: DIFICULTADES Y ERRORES MÁS FRECUENTES. I-PROPIEDADES MECANICAS. *Suelos Ecuatoriales 40* (2), 75 - 93.
- Proyecto Universidad en el Campo. (2011). *Edafología 1*. Caldas, COLOMBIA: Espacio Gráfico Comunicaciones S.A.

- Rivera, Y., Moreno, L., Herrera, M., & Romero, H. (2016). La toxicidad por aluminio (Al<sup>3+</sup>) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. *Palmas*, 11.
- Rojo, E. (2014). Café I (G. Coffea). *Reduca*, 128.
- Romero, G., Aristizabal, D., & Jaramillo, C. (1998). *ENCUENTRO NACIONAL DE LABRANZA DE CONSERVACIÓN Memorias*. Villavicencio: Guadalupe Ltda.
- Rubio, A. (2010). *La Densidad Aparente en Suelos Forestales del Parque Natural los Alcornocales. (Tesis de grado)*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Sadeghian Khalajabadi, S. (2016). La Acidéz del Suelo, Una Limitante Común para la Producción de Café. *CENICAFE*, 2.
- Sáez, C. (2012). *Efecto de la densidad aparente sobre la capacidad de contracción de agregados de distintos tamaños en un Andisol*. Valdivia: Facultad de Ciencias Agrarias, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.
- Schulte, E., & Hopkings, B. (1996). *Estimation of organic matter by weight loss-on-ignition*. (Special ed.). (Magdoff, F. R., Ed.) Madison: Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation.
- SMART. (s.f.). *SMART Fertilizer Management*. Obtenido de SMART Fertilizer web site : <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/soil-acidity/>
- UEA. (2016). *Informe de Actividades 2016*. Puyo, Ecuador: Universidad Estatal Amazónica.
- Universidad Nacional de La Plata. (2019). *Porosidad y Aireación, Densidad Real y Aparente*. La Plata: UNLP.
- Viana, R., Ferraz, J., Neves, A., Veira, G., & Pereira, B. (2014). Soil Quality Indicators for Different Restoration Stages on Amazon Rainforest. *Elsevier*, 1-7.
- Yáñez, J. (2019). *Caracterización físico-química y espectral de suelos con actividad agropecuaria en la microcuenca del Río Blanco – Cayambe*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

## CAPITULO VII

### 7. ANEXOS

#### Anexo 1: Tipos de suelo y texturas de acuerdo a la clasificación americana

| Tipos de suelo | Textura                  | Relación arena-limo-arcilla (%) | Símbolo |
|----------------|--------------------------|---------------------------------|---------|
| Livianos       | Arenoso                  | 90-5-5                          | a       |
|                | Arenoso franco           | 80-15-5                         | aF      |
| Medios         | Franco arenoso           | 65-25-10                        | Fa      |
|                | Franco                   | 40-40-20                        | F       |
|                | Franco limoso            | 20-65-15                        | FL      |
|                | Franco arcilloso arenoso | 35-35-30                        | FAa     |
| Pesados        | Franco arcilloso         | 35-30-35                        | FA      |
|                | Franco arcillo limoso    | 10-35-55                        | FAL     |
|                | Limoso                   | 10-85-5                         | L       |
|                | Arcillo arenoso          | 55-5-40                         | Aa      |
|                | Arcillo limoso           | 5-50-45                         | AL      |
|                | Arcilloso                | 10-20-60                        | A       |

Fuente: (Ciancaglini, 2018)

#### Anexo 2: Niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelos.

| pH               | Muy Acido     | Ácido       | Mediana. Ácido | Ligerame. Ácido | Prácticam. Neutro | Ligeram. Alcalino | Medianam. Alcalino | Alcalino | Alcalino |
|------------------|---------------|-------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|----------|----------|
|                  | <5.00         | 5-5.5       | >5.5-6         | >6-6.5          | >6.5-7.5          | >7.5-8            | >8-8.5             | >8.5     | 7.00     |
| Nutriente        | Unidad        | Bajo        | Medio          | Alto            | Toxico            |                   |                    |          |          |
| NH <sub>4</sub>  | ppm           | <30.00      | 30-60          | >60.00          |                   |                   |                    |          |          |
| P                | ppm           | <10         | 10-20          | >20             |                   |                   |                    |          |          |
| S                | ppm           | >12         | 12-24          | >24             |                   |                   |                    |          |          |
| K                | meq/100ml     | <0.2        | 0.2 - 0.38     | >0.38           |                   |                   |                    |          |          |
| Ca               | meq/100ml     | <2          | 2-5            | >5              |                   |                   |                    |          |          |
| Mg               | meq/100ml     | <0.5        | 0.5 - 1.5      | >1.5            |                   |                   |                    |          |          |
| Cu               | ppm           | >1          | 1.0 - 4.0      | >4              |                   |                   |                    |          |          |
| Fe               | ppm           | >20         | 20.0 - 40.0    | >40             |                   |                   |                    |          |          |
| Mn               | Ppm           | >5          |                |                 |                   |                   |                    |          |          |
| Zn               | ppm           | <3          | 3.0 - 7.0      | >7.0            |                   |                   |                    |          |          |
| M.O              | %             | <3.         | 3-5            | >5              |                   |                   |                    |          |          |
| <b>Nutriente</b> | <b>Unidad</b> | <b>Bajo</b> | <b>Medio</b>   | <b>Toxico</b>   |                   |                   |                    |          |          |
| Al+H             | meq/100ml     | <0.50       | 0.5-1.5        | >1.5            |                   |                   |                    |          |          |
| Al               | meq/100ml     | <0.30       | 0.3-1.00       | >1.00           |                   |                   |                    |          |          |

Fuente: (INIAP, 2014).

**Anexo 3:** Disponibilidad de nutrientes en pH de 4 a 10.



**Fuente:** Agroalimentado ciencia y tecnología aplicadas a la agricultura y a la alimentación.

**Anexo 4:** Distribución de bacterias según la profundidad.

| Distribución bacteriana según la profundidad. (Millones/g) |          |          |            |
|--|----------|----------|------------|
| Horizonte  | Prof. cm | Aerobias | Anaerobias |
| Ah1  | 3-8      | 7.8      | 1.95       |
| E  | 20-25    | 1.8      | 0.38       |
| EB   | 35-40    | 0.47     | 0.10       |
| Bt1  | 65-75    | 0.01     | 0.001      |
| Bt2  | 135-145  | 0.001    | 0.001      |

**Fuente:** Universidad de Extremadura área de edafología y química agrícola.

**Anexo 5:** Criterios de la normativa ambiental ecuatoriana para suelos.

| pH  |               |             |           |            |
|---|---------------|-------------|-----------|------------|
| Criterios de calidad del suelo                    | 6,8           |             |           |            |
| Criterios de remediación o restauración del suelo | Uso del suelo |             |           |            |
|   | Arícola       | Residencial | Comercial | Industrial |
|   | 6,8           | 6,8         | 6,8       | 6,8        |

**Fuente:** Acuerdo Ministerial 097 A Anexo 2 Libro VI del TULSMA: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos Contaminados.

**Anexo 6:** *Coffea canephora*.



**Anexo7:** *Coffea arabica*.



**Anexo 8:** Sistema de cultivo tipo Chakra.



**Anexo 9:** Delimitación del área de estudio en el sistema de cultivo tipo Agroforestal.



**Anexo 10:** Pala para muestras alteradas.



**Anexo 11:** Toma de muestras alteradas de 0 a 20 cm.



**Anexo 12:** Uhland para muestras no alteradas.



**Anexo 13:** Toma de muestras no alteradas.



**Anexo 14:** Protección de muestras no alteradas.



**Anexo 15:** Preparado de muestras para determinación de parámetros físicos.



**Anexo 16:** Técnica de mesa de tensión.



**Anexo 17:** Preparando muestras alteradas.



**Anexo 18:** Filtrado de dilución de suelo.



**Anexo 19:** Titulación para Acidez y Aluminio intercambiables.



**Anexo 20:** Determinación de Textura.



**Anexo 21:** Determinación de pH.



**Anexo 22:** Muestras de microorganismos.



**Anexo 23:** Identificación de UFC.



**Anexo 24:** Microorganismos.



**Anexo 25:** Conteo de UFC.



**Anexo 26:** Valores y cálculo de parámetros físicos del sistema de cultivo tipo Chakra.

| Sistema de Cultivo Chakra |        |         |            |            |        |        |         |          |          |           |           |         |      |     |        |        |         |             |          |       |            |
|---------------------------|--------|---------|------------|------------|--------|--------|---------|----------|----------|-----------|-----------|---------|------|-----|--------|--------|---------|-------------|----------|-------|------------|
| Muestra                   | Código | PSH (g) | TI (h:min) | TF (h:min) | Δt (h) | VolRec | P4h (g) | P24h (g) | P48h (g) | Pseco (g) | P.Lie (g) | lt (cm) | H2   | H3  | Q (cm) | Area   | volumen | Ksat (cm/h) | PT (%)   | Pa(%) | Da (g/cm3) |
| CF L1 C1 #1 (0 - 10)      | 145    | 167,5   | 18:14      | 20:28      | 2,23   | 99     | 179,82  | 169,14   | 168,72   | 113,47    | 72,1      | 5,1     | 10,1 | 5,5 | 4,8    | 18,095 | 92,2845 | 1,40        | 17780,92 | 12,03 | 1,23       |
| CF L1 C1 #1 (10 - 20)     | 146    | 165,27  | 18:12      | 18:19      | 0,12   | 100    | 179,24  | 166,3    | 165,15   | 113,85    | 72,26     | 5       | 10,0 | 5,5 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 25,42       | 17718,30 | 15,57 | 1,26       |
| CF L1 C1 #1 (20 - 30)     | 147    | 180,53  | 20:09      | 20:09      | 24,00  | 21     | 187,22  | 181,18   | 180,85   | 120,27    | 70,84     | 4,9     | 9,9  | 1,2 | 4,8    | 18,095 | 88,6655 | 0,44        | 18506,46 | 7,18  | 1,36       |
| CF L1 C1 #2 (0 - 10)      | 148    | 174,96  | 0:00       | 18:22      | 18,37  | 95     | 182,7   | 175,73   | 174,77   | 119,78    | 69,59     | 5       | 10,0 | 5,3 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,18        | 18060,69 | 8,76  | 1,32       |
| CF L1 C1 #2 (10 - 20)     | 149    | 191,69  | 18:28      | 18:28      | 24,00  | 63     | 199,1   | 191,81   | 191,31   | 134,37    | 70,34     | 5       | 10,0 | 3,5 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,22        | 19683,74 | 8,61  | 1,49       |
| CF L1 C1 #2 (20 - 30)     | 150    | 183,33  | 18:23      | 23:42      | 5,32   | 99     | 198,19  | 185,95   | 184,99   | 132,22    | 71,99     | 5       | 10,0 | 5,5 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,57        | 19593,29 | 14,59 | 1,46       |
| CF L1 C1 #3 (0 - 10)      | 151    | 155,8   | 18:17      | 18:22      | 0,08   | 100    | 172,09  | 156,99   | 156,03   | 106,98    | 71,68     | 5       | 10,0 | 5,5 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 35,58       | 17011,53 | 17,75 | 1,18       |
| CF L1 C1 #3 (10 - 20)     | 152    | 175,02  | 18:42      | 18:42      | 24,00  | 58     | 182,52  | 176,05   | 175,71   | 122,48    | 71,23     | 5       | 10,0 | 3,2 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,24        | 18037,90 | 7,53  | 1,35       |
| CF L1 C1 #3 (20 - 30)     | 153    | 185,52  | 18:48      | 18:48      | 24,00  | 50     | 193,81  | 186,16   | 185,78   | 125,9     | 70,28     | 5       | 10,0 | 2,8 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,27        | 19164,17 | 8,88  | 1,39       |
| CF L1 C2 #1 (0 - 10)      | 154    | 164,2   | 18:17      | 18:26      | 0,15   | 100    | 178,44  | 165,65   | 164,68   | 110,67    | 72        | 5       | 10,0 | 5,5 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 19,77       | 17642,10 | 15,21 | 1,22       |
| CF L1 C2 #1 (10 - 20)     | 155    | 178,32  | 18:15      | 23:51      | 5,60   | 98     | 190,17  | 180,05   | 178,7    | 118,77    | 71,92     | 5       | 10,0 | 5,4 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,55        | 18806,23 | 12,68 | 1,31       |
| CF L1 C2 #1 (20 - 30)     | 156    | 196,44  | 18:16      | 18:16      | 24,00  | 62     | 203,29  | 196,7    | 196,3    | 138,42    | 70,85     | 5       | 10,0 | 3,4 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,22        | 20097,70 | 7,73  | 1,53       |
| CF L1 C2 #2 (0 - 10)      | 157    | 166,47  | 18:18      | 18:22      | 0,07   | 100    | 180,7   | 168,59   | 168,04   | 119,09    | 71,44     | 5       | 10,0 | 5,5 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 44,48       | 17859,41 | 13,99 | 1,32       |
| CF L1 C2 #2 (10 - 20)     | 158    | 183,53  | 18:13      | 8:29       | 14,27  | 89     | 192,67  | 184,27   | 183,43   | 127,54    | 70,33     | 4,9     | 9,9  | 4,9 | 4,8    | 18,095 | 88,6655 | 0,24        | 19043,84 | 10,42 | 1,44       |
| CF L1 C2 #2 (20 - 30)     | 159    | 195,01  | 18:52      | 18:52      | 24,00  | 80     | 200,86  | 194,82   | 194,05   | 131,49    | 70,29     | 5       | 10,0 | 4,4 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,17        | 19862,98 | 7,53  | 1,45       |
| CF L1 C2 #3 (0 - 10)      | 160    | 179,48  | 19:27      | 19:27      | 24,00  | 69     | 187,69  | 179,31   | 179,02   | 112,56    | 70,78     | 5       | 10,0 | 3,8 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,20        | 18566,36 | 9,58  | 1,24       |
| CF L1 C2 #3 (10 - 20)     | 161    | 179,4   | 18:20      | 13:47      | 19,45  | 94     | 189,01  | 178,54   | 177,71   | 118,76    | 73,36     | 5,1     | 10,1 | 5,2 | 4,8    | 18,095 | 92,2845 | 0,17        | 18692,82 | 12,24 | 1,29       |
| CF L1 C2 #3 (20 - 30)     | 162    | 186,73  | 18:21      | 6:20       | 11,98  | 99     | 193,27  | 187,63   | 186,26   | 177,53    | 70,73     | 5       | 10,0 | 5,5 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,25        | 19052,60 | 7,75  | 1,96       |
| CF L1 C3 #1 (0 - 10)      | 163    | 152,85  | 15:08      | 0:02       | 8,90   | 93     | 188,31  | 155,44   | 154,64   | 110,51    | 71,06     | 5       | 10,0 | 5,1 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,37        | 18630,31 | 37,21 | 1,22       |
| CF L1 C3 #1 (10 - 20)     | 164    | 182,48  | 14:45      | 14:45      | 24,00  | 14     | 190,57  | 183,86   | 183,37   | 121,63    | 70,49     | 5       | 10,0 | 0,8 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,53        | 18844,65 | 7,96  | 1,34       |
| CF L1 C3 #1 (20 - 30)     | 165    | 198,67  | 9:42       | 16:25      | 6,72   | 87     | 205,53  | 199,92   | 198,76   | 137,31    | 72,57     | 5,1     | 10,1 | 4,8 | 4,8    | 18,095 | 92,2845 | 0,56        | 20325,57 | 7,34  | 1,49       |
| CF L1 C3 #2 (0 - 10)      | 166    | 158,09  | 15:24      | 15:29      | 0,08   | 99     | 173,72  | 157,87   | 157,15   | 110,07    | 70,63     | 5       | 10,0 | 5,5 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 36,19       | 17172,28 | 18,31 | 1,22       |
| CF L1 C3 #2 (10 - 20)     | 167    | 183,3   | 16:12      | 16:01      | 23,82  | 89     | 191,7   | 184,22   | 183,51   | 125,18    | 70,74     | 5       | 10,0 | 4,9 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,15        | 18953,45 | 9,05  | 1,38       |
| CF L1 C3 #2 (20 - 30)     | 168    | 185,86  | 9:37       | 9:37       | 24,00  | 78     | 193,72  | 186,82   | 185,95   | 127,36    | 70,07     | 5       | 10,0 | 4,3 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,18        | 19153,79 | 8,59  | 1,41       |
| CF L1 C3 #3 (0 - 10)      | 169    | 157,07  | 14:50      | 14:52      | 0,03   | 100    | 178,16  | 158,9    | 158,92   | 111,08    | 70,96     | 5       | 10,0 | 5,5 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 88,96       | 17614,80 | 21,27 | 1,23       |
| CF L1 C3 #3 (10 - 20)     | 170    | 167,85  | 15:44      | 15:47      | 0,05   | 100    | 184,28  | 168,79   | 168,25   | 114,22    | 70,63     | 5       | 10,0 | 5,5 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 59,31       | 18223,69 | 17,72 | 1,26       |
| CF L1 C3 #3 (20 - 30)     | 171    | 190,47  | 9:54       | 9:54       | 24,00  | 29     | 196,17  | 191,56   | 190,62   | 130,75    | 70,22     | 5       | 10,0 | 1,6 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,38        | 19394,87 | 6,13  | 1,45       |

**Anexo 27:** Valores y cálculo de parámetros físicos del sistema de cultivo tipo Agroforestal.

| Sistema de Cultivo Agroforestal |        |         |            |            |        |           |         |          |          |           |           |         |      |      |        |        |         |             |       |       |            |
|---------------------------------|--------|---------|------------|------------|--------|-----------|---------|----------|----------|-----------|-----------|---------|------|------|--------|--------|---------|-------------|-------|-------|------------|
| Muestra                         | Código | PSH (g) | TI (h:min) | TF (h:min) | Δt (h) | PlRec (m) | P4h (g) | P24h (g) | P48h (g) | Pseco (g) | P.Lie (g) | lt (cm) | H2   | H3   | Q (cm) | Área   | Volúmen | Ksat (cm/h) | PT(%) | Pa(%) | Da (g/cm3) |
| CF L2 C1 #1 (0 - 10)            | 181    | 141,94  | 14:52      | 14:58      | 0,10   | 97        | 156,77  | 142,1    | 141,6    | 95,94     | 71,76     | 5       | 10   | 5,36 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 31,18       | 67,23 | 16,77 | 1,06       |
| CF L2 C1 #1 (10 - 20)           | 182    | 171,03  | 15:44      | 19:50      | 4,10   | 96        | 180,82  | 170,78   | 170,27   | 105,66    | 71,31     | 5       | 10   | 5,31 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,77        | 83,07 | 11,66 | 1,17       |
| CF L2 C1 #1 (20 - 30)           | 183    | 173,5   | 15:24      | 20:00      | 4,60   | 97        | 182,5   | 174,2    | 173,74   | 110,14    | 70,85     | 5       | 10   | 5,36 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,68        | 79,98 | 9,68  | 1,22       |
| CF L2 C1 #2 (0 - 10)            | 184    | 163,88  | 15:19      | 15:29      | 0,17   | 98        | 175,32  | 163,68   | 163,12   | 108,18    | 71,53     | 5       | 10   | 5,42 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 18,40       | 74,21 | 13,48 | 1,20       |
| CF L2 C1 #2 (10 - 20)           | 185    | 190,57  | 16:09      | 23:59      | 7,83   | 92        | 188,26  | 181      | 180,32   | 114,98    | 72,21     | 5       | 10   | 5,08 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,43        | 80,99 | 8,78  | 1,27       |
| CF L2 C1 #2 (20 - 30)           | 186    | 183,16  | 11:34      | 11:34      | 24,00  | 11        | 190,23  | 184,31   | 183,7    | 115,32    | 70,26     | 5       | 10   | 0,61 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,58        | 82,80 | 7,22  | 1,27       |
| CF L2 C1 #3 (0 - 10)            | 187    | 142,63  | 14:47      | 14:48      | 0,02   | 100       | 162,22  | 142,53   | 141,86   | 95,91     | 71,02     | 5       | 10   | 5,53 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 177,92      | 73,29 | 22,50 | 1,06       |
| CF L2 C1 #3 (10 - 20)           | 188    | 147,89  | 14:51      | 14:53      | 0,03   | 99        | 162,89  | 147,76   | 146,57   | 96,7      | 70,38     | 5       | 10   | 5,47 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 90,47       | 73,16 | 18,04 | 1,07       |
| CF L2 C1 #3 (20 - 30)           | 189    | 167,08  | 9:41       | 16:37      | 6,93   | 94        | 187,06  | 168,17   | 167,83   | 104,67    | 69,48     | 4,9     | 9,9  | 5,19 | 4,8    | 18,095 | 88,6655 | 0,46        | 92,92 | 21,69 | 1,18       |
| CF L2 C2 #1 (0 - 10)            | 190    | 146,02  | 15:09      | 15:13      | 0,07   | 96        | 162,65  | 146,58   | 145,72   | 96,42     | 71,54     | 5       | 10   | 5,31 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 47,54       | 73,20 | 18,71 | 1,07       |
| CF L2 C2 #1 (10 - 20)           | 191    | 176,01  | 14:53      | 14:53      | 24,00  | 40        | 181,15  | 175,66   | 174,85   | 106,69    | 70,24     | 5       | 10   | 2,21 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,31        | 82,30 | 6,96  | 1,18       |
| CF L2 C2 #1 (20 - 30)           | 192    | 171,45  | 9:38       | 9:38       | 24,00  | 81        | 177,38  | 172,61   | 172,18   | 102,98    | 70,45     | 5       | 10   | 4,48 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,17        | 82,23 | 5,75  | 1,14       |
| CF L2 C2 #2 (0 - 10)            | 193    | 168     | 14:57      | 15:06      | 0,15   | 100       | 171,1   | 166,48   | 165,68   | 109,64    | 72,23     | 5,1     | 10,1 | 5,53 | 4,8    | 18,095 | 92,2845 | 20,50       | 66,60 | 5,87  | 1,19       |
| CF L2 C2 #2 (10 - 20)           | 194    | 178,54  | 16:12      | 0:02       | 7,83   | 83        | 186,63  | 178,74   | 178,08   | 117,62    | 70,41     | 5       | 10   | 4,59 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,50        | 76,28 | 9,45  | 1,30       |
| CF L2 C2 #2 (20 - 30)           | 195    | 183,83  | 16:08      | 16:08      | 24,00  | 15        | 190,36  | 185,03   | 184,48   | 120,24    | 70,49     | 5       | 10   | 0,83 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,52        | 77,50 | 6,50  | 1,33       |
| CF L2 C2 #3 (0 - 10)            | 196    | 175,03  | 15:39      | 0:00       | 8,35   | 92        | 182,89  | 175,33   | 175,03   | 108,33    | 70,18     | 5       | 10   | 5,08 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,41        | 82,41 | 8,69  | 1,20       |
| CF L2 C2 #3 (10 - 20)           | 197    | 175,62  | 15:33      | 0:01       | 8,47   | 96        | 190,12  | 181,92   | 180,82   | 116,18    | 72,87     | 5,1     | 10,1 | 5,31 | 4,8    | 18,095 | 92,2845 | 0,39        | 80,12 | 10,08 | 1,26       |
| CF L2 C2 #3 (20 - 30)           | 198    | 183,1   | 14:45      | 14:45      | 24,00  | 87        | 181,64  | 175,23   | 174,79   | 113,67    | 70,91     | 5       | 10   | 4,81 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,15        | 75,13 | 7,57  | 1,26       |
| CF L2 C1 #1 (0 - 10)            | 172    | 171,42  | 15:05      | 16:16      | 1,18   | 99        | 181,72  | 172,02   | 171,43   | 115,15    | 71,13     | 5       | 10   | 5,47 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 2,56        | 73,58 | 11,37 | 1,27       |
| CF L2 C1 #1 (10 - 20)           | 173    | 191,12  | 11:32      | 11:32      | 24,00  | 20        | 197,43  | 191,72   | 190,97   | 127,01    | 71,95     | 5       | 10   | 1,11 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,46        | 77,83 | 7,14  | 1,40       |
| CF L2 C1 #1 (20 - 30)           | 174    | 185,75  | 16:24      | 20:00      | 3,60   | 95        | 193,37  | 186,87   | 186,66   | 130,6     | 70,62     | 5       | 10   | 5,25 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,89        | 69,38 | 7,42  | 1,44       |
| CF L2 C1 #2 (0 - 10)            | 175    | 186,13  | 9:44       | 16:26      | 6,70   | 90        | 192,33  | 188,4    | 187,92   | 119,97    | 70,28     | 5       | 10   | 4,97 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,52        | 79,98 | 4,87  | 1,33       |
| CF L2 C1 #2 (10 - 20)           | 176    | 171,49  | 15:55      | 16:01      | 0,10   | 100       | 183,13  | 171,39   | 170,77   | 113,03    | 71,72     | 5,1     | 10,1 | 5,53 | 4,8    | 18,095 | 92,2845 | 30,75       | 75,96 | 13,39 | 1,22       |
| CF L2 C1 #2 (20 - 30)           | 177    | 187,34  | 11:33      | 11:33      | 24,00  | 14        | 194,04  | 188,57   | 186,81   | 122,77    | 70,6      | 5       | 10   | 0,77 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,53        | 78,77 | 7,99  | 1,36       |
| CF L2 C1 #3 (0 - 10)            | 178    | 151,83  | 15:00      | 15:04      | 0,06   | 99        | 172,28  | 152,65   | 151,81   | 107,72    | 72,4      | 5       | 10   | 5,47 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 50,26       | 71,36 | 22,63 | 1,19       |
| CF L2 C1 #3 (10 - 20)           | 179    | 174,09  | 15:49      | 16:14      | 0,41   | 99        | 184,97  | 174,99   | 173,97   | 115,18    | 70,15     | 5       | 10   | 5,47 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 7,35        | 77,14 | 12,16 | 1,27       |
| CF L2 C1 #3 (20 - 30)           | 180    | 180,65  | 9:43       | 16:08      | 6,41   | 96        | 186,92  | 182,33   | 181,4    | 114,56    | 70,44     | 5       | 10   | 5,31 | 4,8    | 18,095 | 90,475  | 0,49        | 79,98 | 6,10  | 1,27       |



