



1859



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café en el sector Guanga perteneciente al Cantón Olmedo**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónomo**

**AUTORA:**

Karina Mercedes Lima Yupanqui

**DIRECTOR:**

Ing. Miguel Ángel Villamagua M. Sc.

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 23 de marzo de 2023

Ing. Miguel Ángel Villamagua M.Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café en el sector Guanga perteneciente al Cantón Olmedo**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrónomo**, de la autoría de la estudiante **Karina Mercedes Lima Yupanqui**, con **cédula de identidad Nro. 1150015103**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:  
**MIGUEL ANGEL  
VILLAMAGUA .**

Ing. Miguel Ángel Villamagua M.Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Karina Mercedes Lima Yupanqui**, declaro ser el autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual

**Firma:**



**Cédula:** 1150015103

**Fecha:** 16/10/2023

**Correo electrónico:** [karina.lima@unl.edu.ec](mailto:karina.lima@unl.edu.ec)

**Celular:** 0969492752

**Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Karina Mercedes Lima Yupanqui**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café en el sector Guanga perteneciente al Cantón Olmedo**, como requisito para obtener el título de **Ingeniera Agrónomo**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los dieciséis días del mes de octubre de dos mil veintitrés.

**Firma:** 

**Autora:** Karina Mercedes Lima Yupanqui

**Cédula:** 1150015103

**Dirección:** Maiquetía y Tagua - Loja

**Correo electrónico:** [karina.lima@unl.edu.ec](mailto:karina.lima@unl.edu.ec)

**Celular:** 0969492752

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Miguel Ángel Villamagua M.Sc.

## **Dedicatoria**

Mi Trabajo de Titulación está dedicado primeramente a Dios por ser mi guía y fortaleza para poder alcanzar mis metas, a la Virgen María en quien confío plenamente y ha sido mi fuerte, a mis amados padres Gloria Mercedes y Kleber Segundo quienes han dedicado su vida entera en mi formación, quienes me han sabido guiar para enfocarme en seguir adelante y en las cosas verdaderamente importantes, a quienes amo con toda mi alma y deseo recompensar todo su esfuerzo y sacrificio. Joel Alexander y Klever Alejandro mis hermanos, quienes de una u otra manera me han motivado y no han permitido mi desmayo en el transcurso del tiempo, los amo.

A mis amigos y familiares quienes me han brindado un consejo, palabras de aliento, me han demostrado cariño y empatía, los llevo conmigo siempre, gracias por extenderme su mano amiga en tiempos difíciles y por ser autores de grandes experiencias y anécdotas a lo largo de mi vida.

***Karina Mercedes Lima Yupanqui***

## **Agradecimiento**

Mi gratitud inmensa a Dios, por ser mi guía espiritual a lo largo de mi vida.

Agradezco a mis padres por todo su sacrificio y esfuerzo, agradezco su disposición y haber confiado en mí, agradezco y valoro mucho su apoyo ya que en momentos difíciles siempre me han estado conmigo y para mi Dios les pague y que la vida me permita recompensarles todo lo que han hecho por mí.

Mi más sincero agradecimiento al Ing. Miguel Villamagua, por su disposición, palabras de ánimo y enseñanzas durante el transcurso del tiempo como director del Trabajo de Titulación.

A mis amigos y familiares quienes formaron parte de este proceso universitario brindándome su apoyo y amistad quedo eternamente agradecida.

***Karina Mercedes Lima Yupanqui***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de tablas:</b> .....	<b>x</b>
<b>Índice de figuras:</b> .....	<b>xii</b>
<b>Índice de anexos:</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>6</b>
<b>4.1. Propiedades físicas del suelo</b> .....	<b>6</b>
4.1.1. Densidad real.....	6
4.1.2. Densidad aparente .....	7
4.1.3. Porosidad.....	7
4.1.4. Curva característica de humedad del suelo .....	8
4.1.5. Capacidad de campo .....	9
4.1.6. Punto de marchitez permanente .....	10
4.1.7. Capacidad de aireación .....	10
4.1.8. Agua aprovechable (AA) .....	11
4.1.9. Volumen de poros físicamente inerte.....	11
<b>4.2. Condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador</b> .....	<b>12</b>
<b>4.3. Características químicas del suelo</b> .....	<b>12</b>
4.3.1. Reacción del suelo.....	12
4.3.2. Acidez intercambiable.....	12
4.3.3. Bases intercambiables .....	13
4.3.4. Saturación de bases .....	13
4.3.5. Relación entre cationes .....	13
4.3.6. Capacidad de intercambio catiónico efectiva.....	14

4.3.7. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	14
<b>4.4. Métodos directos para el análisis químico de la fertilidad de los suelos. ....</b>	<b>15</b>
A. Solución extractora Mehlich I.....	15
B. Solución extractora Mehlich III. ....	15
C. Morgan modificado.....	16
D. Solución extractora Olsen Modificada.....	16
E. Solución extractora Bray I. ....	16
F. Solución extractora Bray II.....	16
<b>4.5. Utilización de la solución Olsen Modificado en el Ecuador .....</b>	<b>16</b>
<b>4.6. Requerimientos de nutrimentos.....</b>	<b>17</b>
Nitrógeno.....	17
Fósforo .....	18
Potasio.....	18
Magnesio.....	18
Calcio .....	19
Hierro .....	19
Boro.....	19
Zinc .....	19
<b>4.7. Características biológicas para evaluar la fertilidad del suelo .....</b>	<b>20</b>
<b>5. Metodología .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1. Características del sitio.....</b>	<b>22</b>
<b>5.2. Diseño experimental.....</b>	<b>23</b>
<b>5.3. Localización del ensayo de evaluación biológica .....</b>	<b>24</b>
5.3.1. Enfoque metodológico .....	25
<b>5.4. Metodología del primer objetivo: “Realizar la caracterización física y química en el suelo del cantón Olmedo” .....</b>	<b>25</b>
<b>5.5. Metodología para el segundo objetivo: “Establecer la correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad actual del suelo” .....</b>	<b>26</b>
5.5.1. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo .....	26
5.5.2. Preparación de soluciones nutritivas.....	26
5.5.3. Preparación de las muestras de suelo .....	29
5.5.4. Preparación de los recipientes.....	29

5.5.5. Instalación del experimento .....	29
<b>5.6. Metodología para el tercer objetivo: Proponer un plan de fertilidad para el cultivo de café en el cantón Olmedo. ....</b>	<b>30</b>
<b>6. Resultados .....</b>	<b>31</b>
<b>6.1. Características morfológicas, físicas, químicas y fertilidad del suelo en el sistema agroforestal con café en Olmedo. ....</b>	<b>31</b>
6.1.1. Perfil 1 de suelo del sistema agroforestal con café var. Caturra .....	31
6.1.2. Perfil 2 de suelo del sistema agroforestal con café var. Caturra .....	34
<b>6.2. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo. ....</b>	<b>36</b>
6.2.1. Biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café en Guanga. ....	36
6.2.2. Correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica.....	38
<b>6.3. Fertilización para los cafetales.....</b>	<b>41</b>
<b>7. Discusión .....</b>	<b>44</b>
<b>7.1. Condiciones físicas, químicas del suelo en el sistema agroforestal con café en Olmedo. ....</b>	<b>44</b>
<b>7.2. Biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café en Guanga. ....</b>	<b>45</b>
<b>7.3. Correspondencia entre evaluación biológica y análisis químico.....</b>	<b>47</b>
<b>7.4. Plan de fertilización.....</b>	<b>48</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>50</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>51</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>52</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>61</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b>	Relación entre cationes intercambiables adecuados para el café. ....	14
<b>Tabla 2.</b>	Requerimientos de macro y micro nutrientes de cafetales en producción. ....	20
<b>Tabla 3.</b>	Interpretación de formaciones geológicas del sector Guanga perteneciente al cantón Olmedo .....	23
<b>Tabla 4.</b>	Descripción de factores y niveles de estudio dentro del diseño factorial. ....	24
<b>Tabla 5.</b>	Características del diseño experimental. ....	24
<b>Tabla 6.</b>	Tipos de sales y cantidades para preparar las soluciones madres 1N de los macro nutrientes. ....	26
<b>Tabla 7.</b>	Concentración de la solución nutritiva y cantidades de sales para la preparación de un litro de la solución nutritiva de micronutrientes. ....	27
<b>Tabla 8.</b>	Volúmenes de las soluciones nutritiva en ml para preparar 1L de soluciones nutritivas.....	28
<b>Tabla 9.</b>	Condiciones físicas del suelo correspondiente al perfil 1G. ....	32
<b>Tabla 10.</b>	Condiciones químicas del suelo correspondiente al perfil 1G .....	33
<b>Tabla 11.</b>	Condiciones físicas del suelo correspondiente al perfil 2G. ....	35
<b>Tabla 12.</b>	Condiciones químicas del suelo correspondiente al perfil 2G .....	35
<b>Tabla 13.</b>	Cuadro de interpretación de valores de porcentaje para la biomasa de la planta indicadora. ....	39
<b>Tabla 14.</b>	Confrontación de los rangos entre la evaluación biológica (biomasa seca) y el análisis químico en sistemas agroforestales en el Sector Guanga.....	39
<b>Tabla 15.</b>	Requerimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de cafetales en producción para el suelo del SAF de Guanga.....	41
<b>Tabla 16.</b>	Cálculo de la CICE del suelo con café en Guanga Olmedo. ....	42
<b>Tabla 17.</b>	Enmienda y relación de cationes para el suelo del SAF en el sector Guanga Olmedo. ....	42
<b>Tabla 18.</b>	Fertilizantes recomendados para el cultivo de café en producción para el suelo del SAF en Guanga. ....	42
<b>Tabla 19.</b>	Plan de fertilización en $\text{kg ha}^{-1}$ para cafetales en producción para el SAF de Guanga. ....	43
<b>Tabla 20.</b>	Resumen del análisis de varianza para los valores de biomasa seca de la planta de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) a los 60 DDS en el predio de Guanga. ....	86

<b>Tabla 21.</b>	Análisis de varianza entre las soluciones nutritivas y el peso de la biomasa seca de la planta aplicando el test Tuckey con diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).....	86
<b>Tabla 22.</b>	Análisis de varianza entre las 3 pendientes y peso seco de la planta, aplicando el test Tukey con diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).....	86

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b>	Curva de contenido de humedad.....	9
<b>Figura 2.</b>	Ubicación del sitio de estudio en el sector Guanga, perteneciente al cantón Olmedo.....	22
<b>Figura 3.</b>	Mapa geológico del sector Guanga perteneciente al cantón Olmedo. ....	23
<b>Figura 4.</b>	Biomasa seca de planta indicadora del suelo del SAF con café de Guanga con pendiente del 11 %.....	36
<b>Figura 5.</b>	Biomasa seca de planta indicadora del suelo del SAF con café de Guanga con pendiente del 15 %.....	37
<b>Figura 6.</b>	Biomasa seca de planta indicadora del suelo del SAF con café de Guanga con pendiente del 28 %.....	37
<b>Figura 7.</b>	Promedio de biomasa de la planta indicadora y prueba de Tukey al 5 % a los 60 DDS, para el factor soluciones. ....	38
<b>Figura 8.</b>	Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico del suelo del SAF con café en el sector Guanga, tomando en cuenta la presencia de las 3 pendientes.....	40

## Índice de anexos:

<b>Anexo 1.</b>	Recolección de los 7 kg de suelo, a 25 cm de profundidad.....	61
<b>Anexo 2.</b>	Resultados de los análisis químicos del suelo. ....	61
<b>Anexo 3.</b>	Instalación del ensayo para la evaluación biológica, con las muestras recolectadas del sector de estudio, en el invernadero ubicado en la cerca del laboratorio de suelos de la Universidad Nacional. ....	62
<b>Anexo 4.</b>	Resultados de los análisis de capacidad de campo a una presión de 1/10 y 1/3 de atmosfera, punto de marchitez permanente y la densidad aparente de los dos primeros horizontes de los distintos perfiles de suelo.....	63
<b>Anexo 5.</b>	Elaboración de las soluciones madre.....	65
<b>Anexo 6.</b>	Vegetación del sistema agroforestal del sector Guanga. ....	66
<b>Anexo 7.</b>	Identificación del material geológico del sector guanga en el laboratorio de rocas de la Universidad Nacional de Loja.....	67
<b>Anexo 8.</b>	Descripción del perfil del suelo en el SAF con café variedad caturra (Perfil 1).....	67
<b>Anexo 9.</b>	Descripción del perfil del suelo en el SAF con café variedad caturra (Perfil 2).....	70
<b>Anexo 10.</b>	Tabla de valores promedio de biomasa seca de la planta de tomate en gr de las 3 distintas pendientes de 11 %, 15 % y 28 %, .....	72
<b>Anexo 11.</b>	Cálculos para determinar la cantidad de concentración de nutrientes en cada solución. ....	73
<b>Anexo 12.</b>	Registro de consumo en ml de soluciones nutritivas. ....	83
<b>Anexo 13.</b>	Porcentaje de peso de la biomasa seca de la planta indicadora (%) a los 60 días después de la germinación, en las diferentes pendientes del terreno. ....	84
<b>Anexo 14.</b>	Análisis químicos del suelo en el SAF con café en Guanga – Olmedo, en las 3 pendientes estudiadas. ....	85
<b>Anexo 15.</b>	Composición química de los fertilizantes utilizados para el plan de fertilización.....	85
<b>Anexo 16.</b>	Análisis estadístico ANOVA .....	86
<b>Anexo 17.</b>	Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo (Valarezo, et al., 1998).....	86
<b>Anexo 18.</b>	Certificado de traducción Abstract .....	88

## **1. Título**

**Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café en el sector Guanga perteneciente al Cantón Olmedo.**

## 2. Resumen

El 21,37 % de la superficie del suelo del cantón Olmedo está dedicado a la agricultura con cultivos como el café, maíz, maní, árboles forestales como el eucalipto, cedro, laurel, arrayán y otros árboles frutales como el guabo principalmente, en donde forman sistemas agroforestales en la zona. Debido a la baja fertilidad del suelo el rendimiento del cultivo de café es de 1,35 t ha<sup>-1</sup>, afectando la economía de los habitantes del cantón. Para reponer los nutrientes en el suelo, los productores aplican fertilizantes sin ningún tipo de análisis químico previo y requerimientos del cultivo. Para establecer un plan de fertilización es necesario conocer los requerimientos del cultivo y los nutrientes disponibles en el suelo, para la determinación de estos últimos no existe correspondencia entre el análisis químico utilizando la solución de Olsen modificado y la evaluación de los nutrientes disponibles por el método del elemento faltante. En estudios realizados en la Universidad Nacional de Loja, sobre la correlación entre los análisis químicos y la evaluación biológica de la fertilidad del suelo han determinado que no concurre correlación en varios elementos como el N, P, S, K, Mg y Zn, mientras que existe correlación entre Cu y Mg. Con la finalidad de disponer información acorde a los nutrientes disponibles se realizó el presente trabajo de investigación que permitió disponer de datos sobre la fertilidad actual del suelo en donde las soluciones -Mg, -S, -Zn, -Mn, y -Fe presentaron correspondencia, los nutrientes que no presentaron correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico fueron el P, N, K, Cu, y B, para realizar un análisis comparativo a fin de generar un plan de fertilización para el sistema agroforestal con café en el cantón Olmedo.

**Palabras clave:** baja fertilidad, análisis químico, plan de fertilización, requerimiento del cultivo, nutrientes disponibles en el suelo, café.

## **2.1. Abstract**

In Olmedo County, 21.37% of the land surface is dedicated to agriculture with crops such as coffee, corn, peanuts, forest trees such as eucalyptus, cedar, laurel, myrtle, and other fruit trees, mainly guabo, which form agroforestry systems in the area. Due to low soil fertility, coffee yields are 1.35 t ha<sup>-1</sup>, affecting the economy of the canton's habitants. To replenish the nutrients in the soil, producers apply fertilizers without any prior chemical analysis and crop requirements. To establish a fertilization plan, it is necessary to know the crop requirements and the nutrients available in the soil, for the determination of the latter there is no correspondence between the chemical analysis using the modified Olsen's solution and the evaluation of the available nutrients by the missing element method. Studies carried out at the Universidad Nacional de Loja on the correlation between chemical analysis and biological evaluation of soil fertility have determined that there is no correlation in several elements such as N, P, S, K, Mg and Zn, while there is a correlation between Cu and Mg. In order to have information according to the available nutrients, the present investigation allowed us to have data on the current fertility of the soil where the solutions -Mg, -S, -Zn, -Mn, and -Fe presented correspondence. The nutrients that did not present correspondence between the biological evaluation and the chemical analysis were P, N, K, Cu, and B, to make a comparative analysis in order to generate a fertilization plan for the agroforestry system with coffee in the Olmedo canton.

**Key words:** low fertility, chemical analysis, fertilization plan, crop requirement, available nutrients in the soil, coffee.

### 3. Introducción

El café constituye una de las actividades agrícolas de mayor importancia global debido a los aportes económicos, sociales y a la sostenibilidad de los recursos naturales renovables (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2019). La mayor producción a nivel mundial del cultivo de café lo tiene Brasil con 3,700,231 toneladas producidas para el año 2022, seguido de Vietnam con 1,763.476 tn y Colombia con 833,400 tn; totalizando a nivel mundial una producción de 10,050 millones de t (Orús, 2021; Axayacatl, 2022), con esto Brasil obtiene una producción 3,732 millones de kg, seguido de Vietnam con 1,813.2 millones de kg y Colombia con 756 millones de kg (Orúz, 2023).

Ecuador posee una gran capacidad geográfica como productor de café, siendo así que en el 2021 ha alcanzado una producción de 1,35 tn ha<sup>-1</sup> entre las principales provincias productoras como Manabí, Loja, Morona Santiago, Zamora Chinchipe y Pichincha (AgroEcuador, 2018). Loja posee una gran diversidad de cultivos entre los que se destaca el café, rubro reconocido por su sabor, textura, olor y color, que lo ubica entre los mejores del país, con un rendimiento de 0,25 t ha<sup>-1</sup> (MAGAP, 2022). Un total de 2,851 caficultores han sido capacitados en temas del cultivo de café en los cantones Chaguarpamba, Olmedo, Paltas, Calvas, Espíndola, Sozoranga, Gonzanamá, Quilanga, Loja, Catamayo, Macará, Puyango, Saraguro, Celica y Pindal, en la provincia de Loja (MAGAP, 2022).

El deterioro de la capacidad productiva de los suelos y la consecuente disminución en los rendimientos afectan la economía de los caficultores quienes en su afán de revertir esta situación buscan restituir la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Garrido, 2006). La baja fertilidad de los suelos debido a la falta de restitución de los nutrientes y la erosión hídrica producto del manejo inadecuado del agua, han generado bajos rendimientos de los cultivos (Villamagua, et al., 2021). En el cantón Olmedo de la provincia de Loja, se practica la agricultura de cultivos de ciclo corto (maíz, maní, y fréjol) y perenne (café, caña de azúcar, guineo, plátano, frutales, árboles maderables) (GAD, 2019). El suelo se degrada consecuentemente y eso contribuye una baja fertilidad, el agricultor con la finalidad de reponer la fertilidad aplica fertilizantes en base a recomendaciones por casas comerciales, sin tomar en cuenta la disponibilidad de nutrientes, y los requerimientos del cultivo mediante el uso de fertilizantes (Guerrero, 2017). Para dar solución al problema de establecer un plan de fertilización es necesario conocer los nutrientes disponibles en el suelo y los requerimientos del cultivo, para la determinación de los nutrientes disponibles no existe una correspondencia entre el análisis químico utilizando la solución de

Olsen modificado y la evaluación de los nutrientes disponibles por el método del elemento faltante.

En el presente trabajo de investigación se evaluó la fertilidad actual de los suelos en contenido de nutriente de N, P, K, S, Mg, Zn, Cu, Mn, Fe, B utilizando la técnica del elementos faltante, para generar un plan de fertilización de acuerdo a los requerimientos del cultivo de café y considerando la no correlación entre el desarrollo de una evaluación química, frente a una biológica del suelo en condiciones neutras, ya que Olsen tiene mayor veracidad en condiciones de salinidad (Burneo, et al., 2012; Alemán, 2013; Loaiza, 2013; Mendoza, 2013; Castillo & Salinas, 2014; Aguirre, 2017; Tandazo, 2019; Velasquez, 2019; Rogel, 2021; Villamagua, et al., 2021).

### **Objetivo general**

Evaluar química y biológicamente la disponibilidad de los nutrientes a fin de generar un plan de fertilización para el sistema agroforestal con café en el sector Guanga, Cantón Olmedo.

### **Objetivos específicos**

Caracterizar física y químicamente el suelo del sector Guanga perteneciente al Cantón Olmedo.

Establecer la correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad actual del suelo.

Proponer un plan de fertilidad para el cultivo de café en el sector Guanga del cantón Olmedo.

## 4. Marco teórico

### 4.1. Propiedades físicas del suelo

Un suelo con buenas características físicas debe contener suficientes espacios porosos entre las partículas minerales y orgánicas y entre los agregados del suelo, con el fin de garantizar el adecuado suministro de agua, aire y nutrientes a las raíces de las plantas (Luna, 2006). A continuación se describen las propiedades físicas más importantes del suelo.

#### 4.1.1. Densidad real

Se la denomina densidad de los sólidos o densidad de las partículas del suelo, se refiere a la relación entre la masa total de las partículas sólidas y su volumen, excluyendo el espacio poroso existente entre ellas (Vásquez, et al., 2017).

$$Dr = \frac{Ms}{Vs}$$

Donde:

Dr = Densidad real (g cm<sup>-3</sup>)

Ms= Masa de sólidos (g)

Vs= Volumen de los sólidos (cm<sup>3</sup>)

En la determinación de la densidad de las partículas del suelo, solamente se considera las partículas de los sólidos; consecuentemente la densidad de las partículas de cualquier suelo es una constante, puesto que no varía con el volumen entre las partículas (Vásquez, et al., 2017).

En la mayoría de los suelos minerales, la densidad media de las partículas esta entre 2,60 y 2,70 g cm<sup>-3</sup>, consecuencia cercana a la densidad del cuarzo, el cual a menudo predomina en los suelos arenosos; no obstante, las arcillas silíceas tienen una densidad similar al cuarzo (Valarezo, 2017).

$$Dr = \frac{Ms}{Vs}$$

Donde:

Dr = Densidad real (g cm<sup>-3</sup>)

Ms= Masa de sólidos (g)

Vs= Volumen de los sólidos (cm<sup>3</sup>)

#### **4.1.2. Densidad aparente**

La densidad aparente describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller & Hakansson, 2010). También determina un ambiente adecuado para el desarrollo de las raíces vegetales, además del ingreso y almacenamiento óptimo del agua necesaria para el crecimiento de las plantas (Toboada, 2007).

Corresponde a la relación entre la masa o peso del suelo seco (peso de la fase sólida) y el volumen total, incluyendo al espacio poroso (FAO, 2019).

El valor de la densidad aparente es menor a la densidad real ( $D_r$ ). Si los poros constituyen la mitad del volumen total del suelo, el valor de la densidad aparente estará entre 1,30 y 1,35  $g\ cm^{-3}$ . En suelos no cultivados varía generalmente entre 1,00 y 1,60  $g\ cm^{-3}$ , para suelos arenosos puede llegar a 1,60  $g\ cm^{-3}$ , mientras que, en los suelos francos y arcillosos se encuentra en 1,10  $g\ cm^{-3}$  (Valarezo, 2017) La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen ( $g\ cm^{-3}$  o  $t\ m^{-3}$ ).

$$da = \frac{Ms}{Vt} = \frac{Ms}{(Vs + Va + Vw)}$$

Donde:

da = Densidad aparente ( $g\ cm^{-3}$ )

Ms= Masa de sólidos (g)

Vt= Volumen total ( $cm^3$ )

Vs= Volumen del sólido ( $cm^3$ )

Va= Volumen de aire ( $cm^3$ )

Vw= Volumen de agua ( $cm^3$ )

#### **4.1.3. Porosidad**

La porosidad total del suelo es el volumen que no está ocupado por sólidos; es el volumen que hay disponible en el suelo para los líquidos y los gases (Jaramillo, 2002).

La porosidad total de una muestra de suelo se define como el cociente entre el volumen del espacio poroso ( $V_i$ ) y el volumen total de la muestra (VT) (FAO, 2019). Las partículas constituyentes del suelo varían en tamaño, forma, regularidad, entre otras características, los poros difieren considerablemente unos de otros en forma, dimensiones laterales, longitudinales,

etc. Se pueden evaluar dos parámetros: la porosidad total y la distribución del tamaño de poros; en donde el primero corresponde al índice del volumen relativo de poros, es decir, la relación entre el espacio poroso y el volumen total de una muestra inalterada (Valarezo, 2017).

$$P = \frac{Vp}{Vt} = \frac{(Va + Vw)}{(Vs + Va + Vw)}$$

Donde:

P = Porosidad total

Vt= Volumen total de poros (cm<sup>3</sup>)

Vp= Volumen de poros (cm<sup>3</sup>)

La porosidad total se la obtiene mediante los valores Dr y da, mediante la siguiente ecuación:

$$P = 1 - \frac{da}{Dr}$$

La porosidad del suelo varía según el grado de desarrollo y el tipo de estructura que posee. Normalmente, los suelos mejor estructurados, con un contenido apreciable de arcilla y materia orgánica poseen una porosidad en torno al 60 %. Los suelos compactados por presión o cementados poseen valores muy bajos de porosidad. Además, está relacionada íntimamente con otras propiedades del suelo: textura, estructura, humedad entre otras (López, 2007).

#### **4.1.4. Curva característica de humedad del suelo**

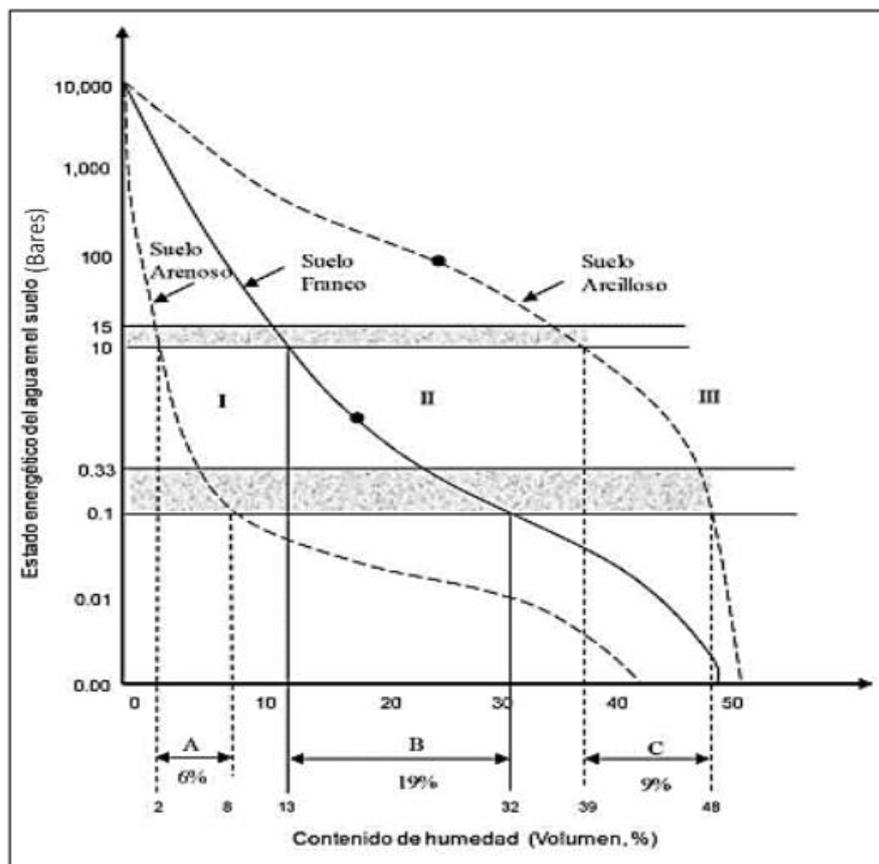
Representa la relación existente entre el potencial total del agua del suelo y el contenido de humedad del mismo, en un amplio rango de tensiones, esta relación tiene una dependencia muy grande de la textura del suelo. Es una herramienta indispensable en el manejo de riegos y sirve para establecer controles en el campo, utilizando generalmente los tensiómetros (Jaramillo, 2002).

En la curva se ve que suelos de diferente textura presentan diferentes curvas de retención de humedad. Así, por ejemplo, al aplicar 1 bar de succión (100cb), el porcentaje de agua extraída es de 25 % en el suelo arcilloso y alrededor del 82 % en un suelo franco arenoso, y a la inversa, para extraer un 50 % de agua se requiere una energía de 2,20 bares en el suelo arcilloso y 0,22 bares en suelo franco arenoso, lo que quiere decir que, a igualdad de contenido de humedad, los diferentes suelos retienen el agua con distinta energía (Cadena, 2016).

Además, muestra la evolución que tiene el contenido en Agua con la succión del suelo. Su morfología depende de la textura, estructura del suelo y contenido en materia orgánica (FAO, 2019).

Según Vásquez et al., (2017), la curva de retención tiene dos límites bien definidos:

- El límite húmedo que está determinado por el nivel freático. En esta condición, todos los poros se encuentran llenos de agua; y el potencial del agua estará definido, básicamente, por el potencial osmótico; ya que los otros potenciales son iguales a cero.
- El límite seco que está definido por el punto correspondiente de tierra seca; es decir, por el nivel de humedad correspondiente a un estado energético de 104 bares (Figura 1).



**Figura 1.** Curva de contenido de humedad.

Fuente: Vásquez et al., 2017.

#### 4.1.5. Capacidad de campo

Se denomina capacidad de campo (CC) a la cantidad de agua en el suelo que es capaz de retener, luego de ser saturado y dejado drenar libremente evitando evapotranspiración y hasta que el potencial hídrico se estabilice (tras 24 a 48 horas de la lluvia o riego) (FAO, 2019).

La capacidad de campo corresponde a un estado energético del agua en el suelo entre 0,10 y 0,30 bares, dependiendo del tipo de suelo y cultivo (Vásquez, et al., 2017).

Es el contenido de agua de un suelo, después que ha sido mojado abundantemente y se ha dejado drenar libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración. Corresponde aproximadamente al contenido de agua del suelo a una tensión o potencial mátrico del agua de - 0,33 bares. Normalmente este contenido de agua se toma alrededor de 24 a 48 horas después de un riego o lluvia abundante, teniendo la precaución de cubrir el suelo con un plástico para evitar la evaporación (Reinoso, 2011).

El suelo con un contenido de humedad a capacidad de campo presenta las mejores condiciones para el crecimiento de los cultivos, por las siguientes razones:

- El suelo retiene al agua con una pequeña fuerza, de manera que las plantas pueden tomarla fácilmente.
- El suelo contiene aire, que las plantas utilizan para respirar (Reinoso, 2011).

#### ***4.1.6. Punto de marchitez permanente***

Se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua. Al contacto manual, el suelo se siente casi seco o muy ligeramente húmedo (FAO, 2019).

Es el contenido de humedad del suelo en el cual la planta manifiesta síntomas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo o fructificación, debido a un flujo muy lento de agua del suelo hacia la planta; y que, en promedio, corresponde a un estado energético de 15 bares cercano a este valor dependiendo del tipo de cultivo (Vásquez, et al., 2017).

#### ***4.1.7. Capacidad de aireación***

Se refiere a la medida del volumen de espacio poroso en un sustrato ocupado por el aire después de que se satura y se le permite drenar (FAO, 2019).

La composición del aire del suelo depende en gran manera de la cantidad de espacio poroso aprovechable, junto con las tasas de reacciones bioquímicas y del intercambio gaseoso. Cuando un suelo tiene menos del 10 % de espacio poroso, la renovación del oxígeno es extremadamente lenta y la mayoría de las plantas se ven afectadas, pero si la capacidad de aireación es mayor a 10 – 15 %, la aireación es satisfactoria para el crecimiento de las plantas (Valarezo, et al., 1998).

#### **4.1.8. Agua aprovechable (AA)**

El AA en el suelo para las plantas se ubica entre dos límites de contenido de humedad: el primero y superior denominado capacidad de y el segundo o inferior, llamado punto de marchitamiento permanente (FAO, 2019).

Se define como el contenido de humedad que el suelo es capaz de retener entre los límites conocidos como “capacidad de campo” y “punto de marchitez permanente”.

Es decir, entre valores de tensión de 0,30 y 15 atmósferas, lo que nos indica que el esfuerzo que hace una planta para disponer de agua a capacidad de campo es mucho menor que a punto de marchitez.

Cuando la humedad de un suelo se sitúa cerca al valor del punto de marchitez dependiendo de la especie y la etapa fisiológica del cultivo se tendrá disminución de la producción.

La dificultad de la planta para aprovechar esta agua aumenta a medida que su contenido se aproxima al punto de marchitez, por lo que conviene únicamente dejar extraer una parte de la reserva útil antes de volver a regar (Cadena, 2016).

#### **4.1.9. Volumen de poros físicamente inerte**

La porosidad es un índice del volumen relativo de poros en el suelo. Este valor se encuentra por lo general en el rango de 30 - 60 % (Valarezo & Valarezo, 2021). Los poros son las vías por los cuales el agua penetra y circula en el suelo. Muchos de ellos se encuentran conectados entre sí formando verdaderos canales. El aire que contiene el oxígeno necesario para las raíces de las plantas se encuentra llenando parcialmente dichos espacios junto al agua (Navarro & Navarro, 2013).

La porosidad total es el volumen de suelo que ocupan normalmente el agua y el aire del mismo. Se define como la relación entre el volumen de poros y el volumen total del suelo. Se expresa habitualmente en porcentaje y se calcula mediante la siguiente fórmula (Hillel, 2004):

$$P (\%) = VP/VT \times 100$$

De donde:

P = Porosidad (%)

VP = Volumen de poros (cm<sup>3</sup>)

VT = Volumen total del suelo (cm<sup>3</sup>)

## **4.2. Condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador**

La clase textural franco arcilloso (FoAc), los valores del rango de las características físicas de los suelos de la Región Sur de Ecuador en los dos horizontes superiores < 180 cm son: densidad aparente  $\text{g cm}^{-3}$  (da) de 0,63 – 1,83; capacidad de campo de 35,77 – 67,37 %; punto de marchitez permanente (PMP) de 9,87 – 36,21 %; capacidad de aireación (CA) de 0,93 – 8,27 %; agua aprovechable de 11,44 – 38,57 %; zona muy pobre a media. Los valores del rango de las características físicas de los suelos que reporta la bibliografía internacional para la misma clase textural son: densidad aparente  $\text{g cm}^{-3}$  (da) de 1,30 – 1,40; capacidad de campo de 31,00 – 41,00 %; punto de marchitez permanente (PMP) de 15,00 – 20,00 %; capacidad de aireación (CA) 13 %; agua aprovechable de 16,00 – 22,00 % (Valarezo, et al., 1998).

## **4.3. Características químicas del suelo.**

Dentro de los parámetros químicos del suelo a evaluar para la implementación de cafetales, se debe tomar en cuenta el pH, Aluminio intercambiable por diferencia de titulación de la acidez e hidrógeno intercambiable, materia orgánica (MO), Nitrógeno (N) total por K, P.

### ***4.3.1. Reacción del suelo***

La reacción del suelo es aquella propiedad que establece el grado de acidez o de alcalinidad que él presenta y tiene una gran influencia en muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Por esta razón, es una de sus propiedades más importantes (Jaramillo, 2002).

El pH, según Fassbender (1982), es una relación entre los contenidos de protones y de iones  $\text{OH}^-$ , por lo cual se cumple que en agua pura  $\text{pH} + \text{pOH} = 14$ ; la relación anterior implica entonces que una solución tendrá una condición neutra ( $\text{pH} = \text{pOH}$ ) cuando su pH sea igual a 7,0.

El pH en el suelo se mide en una suspensión de suelo en agua o en soluciones salinas y puede llevarse a cabo esta determinación en forma colorimétrica o potenciométrica (Jaramillo, 2002). En términos generales puede considerarse que, desde el punto de vista del pH los suelos se pueden agrupar en tres grandes categorías: Suelos ácidos los que presentan  $\text{pH} < 6,5$ ; Suelos neutros los que tienen pH entre 6,5 y 7,3 y Suelos básicos aquellos que exhiben valores de  $\text{pH} > 7,3$ . Más adelante se ampliará esta concepción (Jaramillo, 2002).

### ***4.3.2. Acidez intercambiable***

Los valores de acidez intercambiable reflejan la cantidad de protones fijados al complejo de cambio y que no están disociados pero que pueden hacerlo a medida que se neutralicen los

existentes en la disolución del suelo. Este valor nos indica la tendencia a la acidificación de un suelo (FAO, 2019).

Es la acidez que está asociada a  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  y  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  y se establece determinando la cantidad de aluminio intercambiable que tiene el suelo al lavarlo con solución de KCl 1N; el método para realizar esta determinación puede verse en (Motta, 1990); este tipo de acidez es la más importante en suelos que tienen  $\text{pH} < 5,5$ , ya que a partir de este valor empieza a aumentar la solubilidad del aluminio, en forma exponencial (Jaramillo, 2002).

#### **4.3.3. Bases intercambiables**

Los cationes más importantes en los procesos de intercambio catiónico, por las cantidades de ellos que participan en dichos procesos, son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  (las bases del suelo) y  $\text{NH}_4^+$ ; en suelos ácidos, a partir de ciertos valores de pH, como se verá más adelante, el  $\text{Al}^{3+}$  juega un papel muy importante en el complejo de intercambio catiónico del suelo constituyendo, junto con el  $\text{H}^+$ , la acidez intercambiable del mismo (Jaramillo, 2002).

#### **4.3.4. Saturación de bases**

La saturación de bases es la suma de los cationes básicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , y  $\text{Na}^+$ ) presentes en los sitios de intercambio del suelo dividido por el total de CIC y expresado en porcentaje (Gaspar, 2023).

Molina, et al., (2019) menciona que la saturación de bases es la cantidad de iones cargados positivamente, con exclusión de iones de hidrógeno y aluminio, que son absorbidos en la superficie de las partículas del suelo, se mide y es expresada como un porcentaje.

#### **4.3.5. Relación entre cationes**

- Relaciones entre cationes intercambiables adecuados para el café

Con los resultados de los análisis químicos, se calcula la relación de cationes intercambiables:  $\text{Ca}/\text{Mg}$ ,  $\text{Mg}/\text{K}$ ,  $(\text{Ca} + \text{Mg}) / \text{K}$  (Tabla 1). Partiendo de esta información se evalúa el balance de cationes y se toman decisiones pertinentes referidas a la adición de los fertilizantes que se encuentran en desequilibrio (Enríquez & Duicela, 2014).

**Tabla 1.** *Relación entre cationes intercambiables adecuados para el café.*

<b>Relaciones entre cationes</b>	<b>Rasgos óptimos</b>	<b>Nivel crítico</b>	<b>Recomendación</b>
<i>Ca/Mg</i>	2,6 – 8,0	Si < 2,6	Agregar calcio
		Si > 8,0	Agregar magnesio
<i>Mg/K</i>	7,5 – 15,0	Si < 7,5	Agregar magnesio
		Si > 15,0	Agregar potasio
<i>(Ca + Mg)/K</i>	27,5 – 55,0	Si < 27,5	Agregar calcio y magnesio
		Si > 55,0	Agregar potasio

**Fuente:** (Enríquez & Duicela, 2014)

#### **4.3.6. Capacidad de intercambio catiónico efectiva**

Es llamada capacidad de intercambio catiónico (CIC) permanente del suelo por Sánchez (1981) y CIC real o efectiva (CICE) por varios autores citados por Galiano (1991). Se puede medir desarrollando el método del NH<sub>4</sub>OAc 1N, pero ajustando el pH de la solución al valor del pH del suelo.

El procedimiento anterior implica una gran limitación para su uso, pues impone la necesidad de preparar una gran cantidad de soluciones con diversos valores de pH, situación que no es práctica sobre todo si se piensa en la gran cantidad de análisis que puede llevar a cabo un laboratorio comercial.

Debido a dicho inconveniente, la capacidad de intercambio catiónico se hace igual a la suma de las bases extraídas con NH<sub>4</sub>OAc 1N a pH 7 (BT), más la acidez intercambiable (AI) extraída con KCl 1N. Los métodos analíticos para hacer estas determinaciones se encuentran descritos en Motta et al (1990). La siguiente relación recoge lo dicho antes:

$$CICE = BT + AL = (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+) + (Al^{3+} + H^+)$$

Éste es el método más recomendable para determinar la CIC en suelos que tengan carga variable.

La CICE se mide con KCl 1N e indica con mayor exactitud las condiciones del suelo para raíces y microorganismos (Perdomo, 2022).

#### **4.3.7. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).**

Es la medida de la capacidad que posee un suelo de absorber cationes y es equivalente a la carga negativa del suelo. Esta propiedad es la que define la cantidad de sitios disponibles para

almacenar los cationes en el suelo. Los cationes que son sometidos a esta retención quedan protegidos contra los procesos que tratan de evacuarlos del suelo, como la lixiviación, evitando así que se pierdan nutrientes para las plantas. Además, como la retención se hace superficialmente obedeciendo a diferencias de carga electrostática, los cationes adsorbidos pueden ser intercambiados por otros de la solución del suelo, convirtiéndose en cationes intercambiables, necesarios en los procesos de nutrición de la planta (Jaramillo, 2002).

Se define como la cantidad total de carga negativa por unidad de masa de suelo o como la suma total de los cationes intercambiables. Esto es expresado en unidades de centimoles de la carga del catión por kilogramo ( $\text{cmol kg}^{-1}$ ) o mili-equivalentes de carga por 100 gramos de suelo ( $\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$ ) (Jaramillo, 2002).

Se considera que los suelos con alta CIC  $> 20 \text{ cmol kg}^{-1}$ , son categorizados como más fértiles, ya que pueden retener más nutrientes que fueron absorbidos por las plantas o lixiviados fuera de la zona radicular (Zambrano, 2019).

#### **4.4. Métodos directos para el análisis químico de la fertilidad de los suelos.**

Principios generales. Los laboratorios de análisis de suelos utilizan soluciones de compuestos químicos conocidos como extractantes que tratan de emular la cuantía que la planta extrae del suelo de los elementos disponibles (Peech, 1947). La diversidad de tipos de suelos y sus diferentes características físicas y químicas ha hecho que se desarrolle diferentes soluciones extractantes, por lo general se encuentran constituidas por diferentes compuestos químicos en los que se incluye: sales, ácidos, bases, compuestos a complejantes, etc., que se regulan a un pH específico (Aucatoma, 2018).

A. **Solución extractora Mehlich I.** La solución extractora está compuesta por: ácido clorhídrico 0,05 N, ácido sulfúrico 0,0125 N. Esta solución fue propuesta por Nelson et. al en 1953, también conocida como Carolina del Norte. Extrae la mayoría de los nutrientes necesarios para evaluar el estado de la fertilidad de un suelo, esta no fue efectiva en suelos alcalinos; por lo que se modificó (Pantzay, et al., 2000).

B. **Solución extractora Mehlich III.** La solución está compuesta de 0,2 N de ácido acético ( $\text{HOAc}$ ); 0,25 N de nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ); 0,015 de fluoruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{F}$ ); 0,013 N de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y 0,001 M de EDTA regulada al pH de 2,5. Se utiliza para la extracción simultánea de macronutrientes como: Ca, Mg, K, P, S y micronutrientes como: Cu, Zn y Mn (Cabalceta & Molina, 2006).

- C. **Morgan modificado.** La solución está compuesta de acetato de sodio (NaOAc) 1 N, ácido acético (HOAc), DPTA 0,00013 M y pH de 4,8; se utiliza para la extracción simultánea de macronutrientes como: Ca, Mg, P y micronutrientes como: Cu, Zn y Mn (Molina & Cabalceta, 1990).
- D. **Solución extractora Olsen Modificada.** La solución está compuesta de 0,5 N de bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>), 0,01M EDTA con 0,5 g de *superfloc* 127 para preparar 10 litros de solución, es apropiado para suelos de origen volcánico; se utiliza para extracción de macronutrientes como: P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes como: Zn, Cu, Fe y Mn (Qian, et al., 1994). La determinación de los elementos metálicos se los realiza haciendo las lecturas directamente del filtrado original en el espectrofotómetro de absorción atómica con la lámpara correspondiente al elemento (Molina, 2007; Qian, et al., 1994).
- E. **Solución extractora Bray I.** La solución está formada por fluoruro de amonio 1M y ácido clorhídrico 0,5 M. Para suelos ácidos, el fluoruro incrementa la liberación del fósforo y decrece la liberación de aluminio por la formación del complejo de aluminio y fluoruro (Schulz & Bray, 1987). Es una solución extractora no recomendada para suelos calcáreos debido a la neutralización de los carbonatos de calcio lo cual disuelve el complejo de fósforo calcio (Salinas & García, 1985).
- F. **Solución extractora Bray II.** La solución extractora está compuesta de HCl 0,1 N y NH<sub>4</sub>F 0,03 N, se agita, se filtra y se cuantifica colorimétricamente el fósforo disponible por reacción con ácido cloro molibdico y cloruro de estaño (Galvis & Ballesteros, 2006).

#### **4.5.Utilización de la solución Olsen Modificado en el Ecuador**

La mayoría de laboratorios pertenecientes a la Red de Laboratorios de Análisis Químico de Suelos del Ecuador (RELASE, 2016), utilizan la solución extractante Olsen Modificado, dado que las investigaciones realizadas con otras soluciones extractantes han sido limitadas y se plantea la necesidad de estudiar la extracción con otras soluciones. En cuanto a las técnicas de análisis para macronutrientes y micronutrientes catiónicos la absorción atómica (Bouajila & Sanaa, 2011) constituye la base de los análisis (Chávez, 2011).

El extractante para suelos de uso generalizado en la Costa y Sierra ecuatoriana es Olsen Modificado con el que se extrae previo a su cuantificación el contenido disponible de los macro elementos P, K, Ca y Mg y microelementos Zn, Cu, Fe y Mn, lo cual ha dado como resultado que no sea atractivo comercialmente preparar materiales de referencia certificados debido a que esta solución funciona correctamente para suelos de pH neutro a alcalino (Aucatoma, 2018).

Las metodologías utilizadas por la RELASE para análisis de suelos y plantas, a través del método de Olsen Modificado cuantía elementos disponibles como: P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn (Carrera, 2008).

RELASE (2016) manifiesta que se evalúan nuevas propuestas con métodos normalizados y calibrados, para la extracción de macro y micronutrientes asimilables en suelos, como es el caso de la solución Mehlich 3 y Bray 2, ya que en los laboratorios del Ecuador se realiza la extracción por el método de Olsen modificado para todos los tipos de suelos.

#### **4.6.Requerimientos de nutrimentos.**

De la Cruz (2015) indica que los tres principales elementos para el crecimiento y desarrollo de la planta de café son el carbono, hidrógeno y oxígeno, los cuales se obtienen del agua y atmósfera, representando cerca del 95 % del peso de la planta. Los demás elementos se encuentran principalmente en el suelo y según su demanda, para el cultivo del café, son considerados como macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes (hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, cloro, molibdeno, y níquel) (Franca, et al., 2005).

Durante la etapa vegetativa de la planta de café, su crecimiento es relativamente lento extrayendo bajas cantidades de nutrientes del suelo, pero en la etapa reproductiva, su crecimiento es mucho mayor al igual que sus necesidades de nutrientes, momento en el cual deben estar disponibles pues gran parte de ellos, se van para el llenado de los frutos (Ortíz, 2022).

Ortiz (2022) señala que la porción de nutrientes requerida para el cultivo del café cambia según la variedad, el clima, el suelo y el manejo, pero para ir a la fija, debemos hacer el análisis de suelos, el cual nos permite conocer el estado de fertilidad, aplicar lo que realmente se necesita y en algunas ocasiones puede tener un importante impacto ambiental y de costos. En otro campo la producción orgánica aumenta los ingresos de los agricultores cuando la agricultura orgánica de baja intensidad es una alternativa a la agricultura convencional de baja intensidad (Valkila, 2009).

#### ***Nitrógeno***

El nitrógeno es el elemento más limitante en la producción de café, y es el único que no se puede excluir en una planificación de fertilización. Su principal reserva tiene que ver con los suelos ricos en materia orgánica, por tanto, las dosis a aplicar se ajustan en base a esta característica del suelo (Aranguren, et al., 1982; Fahl, et al., 1994). Cuando los niveles de MO

son bajos (contenidos iguales o menores a 8 %), se deben aplicar las máximas dosis de N (desde 7,0 g/planta en el mes 1 o 2, hasta 16 g/planta en el mes) (Van der Vossen, 2005). A medida que aumenta los niveles de MO (mayores a 8 %), se reduce la aplicación de fertilizante (de 5 a 14 g/planta), siendo la urea la fuente más utilizada por su alta concentración (46 % de N), pero no la única fuente ya que existe otras como: nitrato de amonio (26 %) y el sulfato de amonio (21 % de N y 26 % de S) (Sadeghian, 2017).

Además, Meneses & Urrutia (2021) recomiendan una aplicación de 300 Kg N/ha/Año para el aumento en la cosecha de 39 % con respecto los rendimientos promedios, además mencionan que en Brasil la aplicación de nitrógeno varía entre 64 y 200 gramos/año.

### ***Fósforo***

Para el suministro de fósforo debe tener en cuenta los niveles del elemento en el suelo, cuando se encuentran por debajo de su nivel crítico en la etapa de crecimiento vegetativo (30mg kg<sup>-1</sup>), se recomienda aplicar P a los 2, 10 y 18 meses después del trasplante (Vinecky, et al., 2017).

### ***Potasio***

Rojo & Pérez (2015) manifiesta que este elemento ayuda a la formación del fruto y la semilla de café. En la época de producción los niveles de K comprendidos entre 0,2 y 0,4 cmol kg<sup>-1</sup>, presentan una reducción entre 10 y 30 % en producción. Cuando los contenidos son superiores a 0,4 cmol kg<sup>-1</sup> se recomienda suministrar una dosis de sostenimiento, con el fin de evitar un agotamiento del nutriente en el suelo (Kouadio, et al., 2018).

Para nivel de K entre 0,6 y 0,8 se recomienda aplicar la cantidad correspondiente (120 a 140 kg/ha/año de K<sub>2</sub>O), no aplicada en el primer año sino en el segundo duplicando la cantidad (200 kg/ha/año de K<sub>2</sub>O), la cual se podrá fraccionar en dos aplicaciones (Rojo & Pérez, 2015).

### ***Magnesio***

Comúnmente se lo utiliza en forma de Óxido de Magnesio 88 % de MgO para suplir los requerimientos de fósforo, además de suplementar con nitrógeno a las plantas de café (Ramirez, et al., 2013). Además, tiene varias funciones clave en las plantas, entre ellos, fotofosforilación (Formación de ATP en los cloroplastos, adenosín trifosfato, principal reserva de energía en las plantas), fijación de Bióxido de Carbono CO<sub>2</sub> durante la fotosíntesis, síntesis de proteínas, formación de clorofila, transporte del floema (savia elaborada), particionamiento y utilización de fotoasimilados y foto-oxidación en las hojas (Toro, et al., 1995).

### ***Calcio***

El calcio es un nutriente de naturaleza estructural pues forma parte de las paredes y membranas celulares, razón por la cual es fundamental para la formación de nuevas células de plantas y es fundamental para el crecimiento de las raíces, su aplicación por sí solo no tiene un efecto significativo en el desarrollo de las plántulas de café en el vivero. La aplicación conjunta compuesta por NPK interacción entre el fertilizante convencional y el calcio a una dosis de 79 mg/planta mejoran notablemente el desarrollo (Galicia, 2018).

### ***Hierro***

El hierro es esencial porque forma parte de algunas enzimas y numerosas proteínas, que trasladan electrones durante la fotosíntesis y la respiración (Salisbury & Ross, 2000).

El hierro puede ser absorbido como  $Fe^{3+}$  (Fe III) y más fácilmente dado su mayor solubilidad como  $Fe^{2+}$  o ion ferroso (Fe II), teniendo registros de que café en almendra extrae un total de 61,2 g, y el fruto entero de 112 g, por 1000 kg de café almendra, a esto se debe suplir los requerimientos nutricionales dependiendo del análisis del suelo (Azcón & Talón, 2008).

### ***Boro***

El boro tiene una función que aún no se ha determinado con exactitud, pero que resulta esencial en la elongación de los tubos del polen (Salisbury & Ross, 2000) lo cual coincide con (Dechen, 2006) cuando manifiestan que el boro actúa en el desarrollo del tubo polínico, por otra parte los autores concluyen que el Boro es integrante de compuestos que constituyen la hemicelulosa en el transporte de azúcares a través de las membranas y en la formación de nucleótidos (Naranjo, 2017).

El boro se absorbe desde el suelo casi siempre en forma de ácido bórico sin disociar ( $H_3BO_3$ ), se debe realizar una incorporación del nutriente al suelo, dependiendo al requerimiento del miso, teniendo en cuenta que el café en almendra extrae un total de 16 g de B y un total de 51g por fruto entero (Naranjo, 2017).

### ***Zinc***

El zinc (Zn) desempeña diferentes papeles siendo importante para mantener la integridad de las membranas, síntesis de proteínas, síntesis del triptófano, aminoácido precursor del AIA, desintoxicación de radicales superóxidos, integridad estructural de ribosomas y producción de semillas (Naranjo, 2017).

El zinc se absorbe en forma de  $Zn^{2+}$  divalente, y probablemente a menudo a partir de quelatos de zinc (Salisbury & Ross, 2000). Su disponibilidad es mayor a un pH bajo (ácido), y la extracción de Zn corresponde a 12,2 g de café almendra, y un total de 84 g por el fruto entero (Naranjo, 2017).

La cantidad de fertilizantes y las fuentes de macro y micronutrientes a ser aplicados en lo cafetales se determinan en función de los análisis del suelo, en cafetales en crecimiento, hasta los 18 meses de edad el campo, se aplica la mitad de la dosis recomendada para cafetales en producción, en la Tabla 2, se indican los requerimientos de macronutrientes y micronutrientes, de acuerdo a la interpretación del análisis químico del suelo alto, medio y bajo (Enríquez & Duicela, 2014).

**Tabla 2.** *Requerimientos de macro y micro nutrientes de cafetales en producción.*

<b>Autores</b>	<b>I</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>S</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>
Enríquez y Duicela, 2014		200	60	150	150	340	15	3	3	3	1,5	10
COFENAC y Dublinsa, 2012		300	60	150	150	340	15	3	-	3	1,5	3
Iñiguez, 2007	<b>B</b>	286	74	291	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		100	17	74,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		100	60	100	5	-	80	-	-	-	-	-
Enríquez y Duicela, 2014		100	40	50	50	150	10	1,5	1,5	1,5	0,75	5
COFENAC y Dublinsa, 2012		200	40	220	50	150	10	1,5	-	1,5	0,8	1,5
Iñiguez, 2007	<b>M</b>	208	57	10	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		50	9	37	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		50	30	50	3	-	60	-	-	-	-	-
Enríquez y Duicela, 2014		50	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0
COFENAC y Dublinsa, 2012		100	20	20	0	0	0	0	-	0	0	0
Iñiguez, 2007	<b>A</b>	130	40	140	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (Enríquez & Duicela, 2014).

#### **4.7. Características biológicas para evaluar la fertilidad del suelo**

La técnica del elemento faltante es un procedimiento rápido para detectar carencias de nutrientes en el suelo, el cual incluye el uso de plantas indicadoras bajo condiciones de invernadero o campo (Sanchez & Camacho, 1981; Tandazo, 2019).

Esta técnica se fundamenta en eliminar de la fórmula nutritiva completa, un elemento de manera que permita el análisis de esta ausencia en la planta indicadora. El objetivo principal de esta práctica es establecer la capacidad de un suelo de proveer los elementos nutritivos para un adecuado desarrollo (Briceño & Pacheco, 1984). Esta técnica, conocida como método

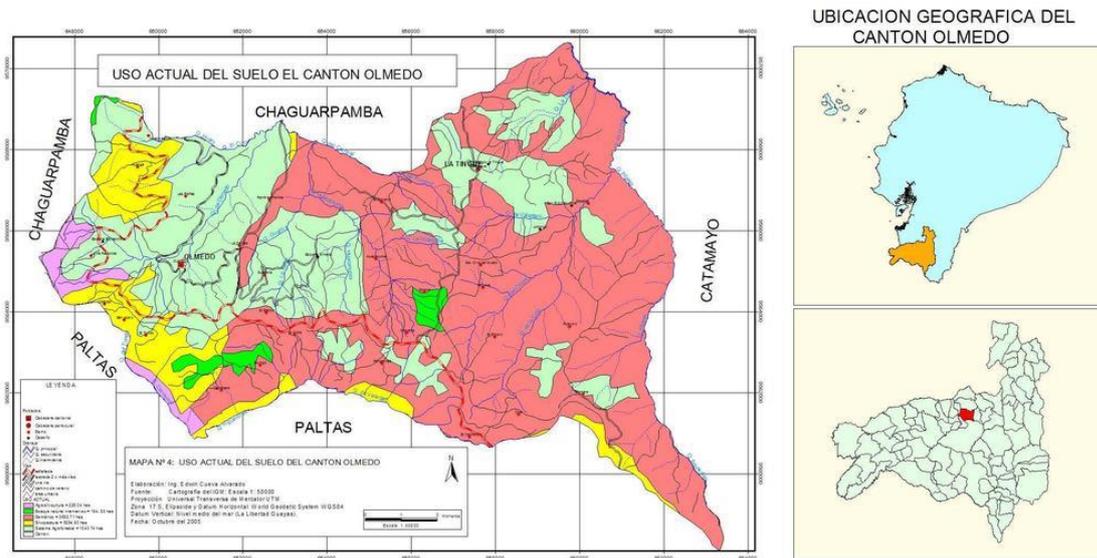
biológico en el cual se usan plantas para la evaluación del comportamiento a la variabilidad nutritiva de los suelos (Bouajila & Sanaa, 2011; Henriquez, et al., 1995).

Sus ventajas, el control relativo que existe bajo condiciones de invernadero de los factores ambientales tales como: temperatura, luz, disponibilidad de agua, plagas, hongos, y otros, aislando de esta forma el efecto de fertilidad del suelo (Avelino, et al., 2004; Peech, 1947). Su desventaja, no está al alcance de la mayoría de los agricultores, debido a que se requieren condiciones especiales para su realización y las soluciones de concentración conocida que se usan sólo pueden ser preparadas en un laboratorio. Además, debido a que se controlan las condiciones externas, sus resultados no son extrapolables al campo en forma inmediata (Bertsch, 1982) citado por (Quisbert, 2019).

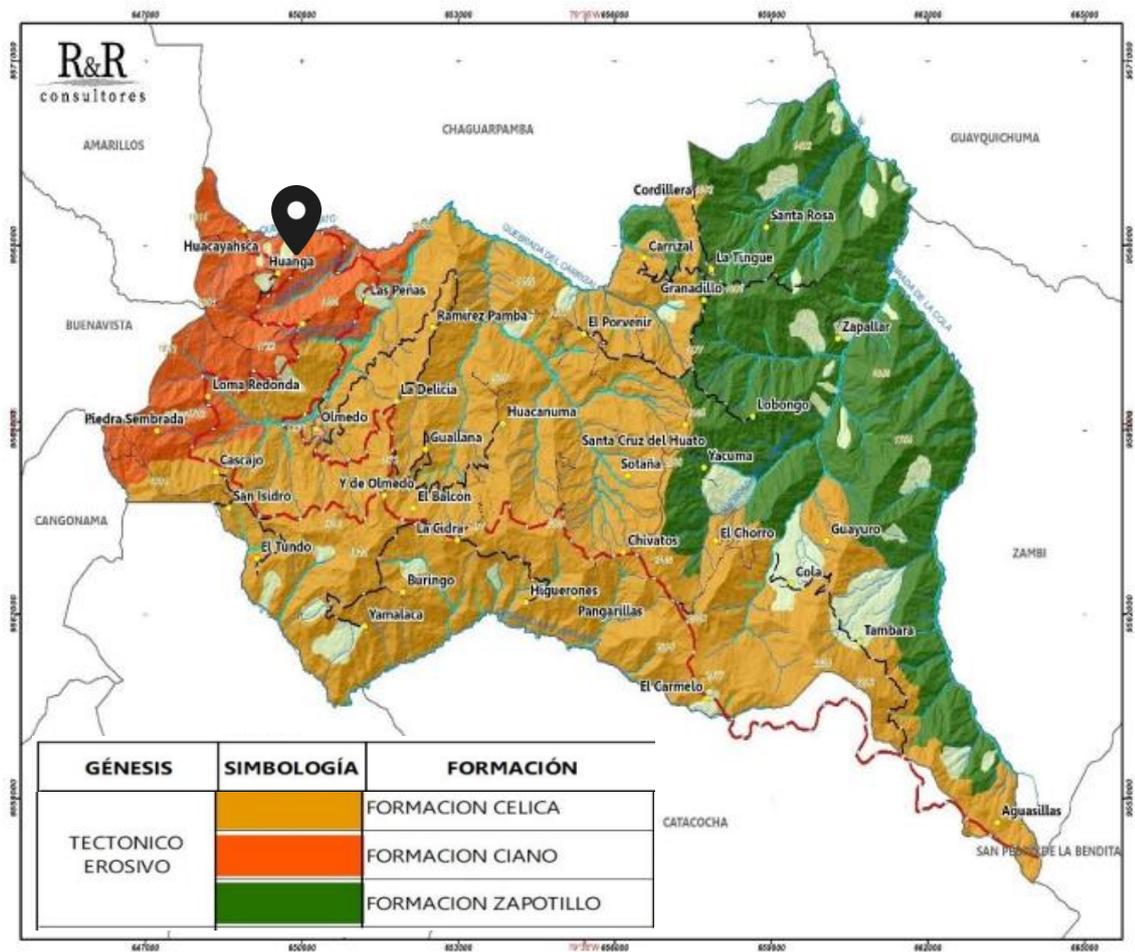
## 5. Metodología

### 5.1. Características del sitio

El ensayo de campo se ubicó en la parroquia “Guanga” a 5 km al norte del cantón Olmedo (Sánchez, 2019). El campo experimental se encuentra localizado a  $3^{\circ}55'39''$  S y  $79^{\circ}35'02''$  O y una altitud de 1780 m.s.n.m (Figura 2). En el suelo de la localidad se distingue la tipología marcada, suelos francos. En la zona de estudio se identificó de entre 10 a 30 % en pendientes por toda el área a estudiar (Figura 3) (Tabla 3) (Sánchez, 2019).



**Figura 2.** Ubicación del sitio de estudio en el sector Guanga, perteneciente al cantón Olmedo.



**Figura 3.** Mapa geológico del sector Guanga perteneciente al cantón Olmedo.

**Tabla 3.** Interpretación de formaciones geológicas del sector Guanga perteneciente al cantón Olmedo

Génesis	Formación	Litología	Área (ha)	%
Tectónico erosivo	Formación Ciano	Lutitas y limolitas multicolor con intercalaciones de roca volcánica y pizarras con presencia de sulfuros	1106,15	9,72

Fuente: IGM, 2019

Elaborado: Equipo técnico, PDYOT 2020

### 5.2. Diseño experimental

Para el diseño experimental se utilizó diseño bifactorial completamente al azar (Tabla 4), con 1 recolecta de muestra de suelo tomando en cuentas las 3 pendientes del terreno y tres repeticiones en las plantas indicadoras en este caso se trabajará con tomate (*Solanum*

*lycopersicum*), además de la elaboración de 12 soluciones nutritivas. En la tabla 5 se puede observar las características del diseño.

**Tabla 4.** Descripción de factores y niveles de estudio dentro del diseño factorial.

Factor	Niveles	
a). Soluciones nutritivas	Solución nutritiva completa	SC
	Solución nutritiva menos nitrógeno	-N
	Solución nutritiva menos fósforo	-P
	Solución nutritiva menos potasio	-K
	Solución nutritiva menos magnesio	-Mg
	Solución nutritiva menos azufre	-S
	Solución nutritiva menos zinc	-Zn
	Solución nutritiva menos cobre	-Cu
	Solución nutritiva menos manganeso	-Mn
	Solución nutritiva menos boro	-B
b). Pendientes del terreno	Solución nutritiva menos hierro	-Fe
	Testigo	T
	Pendiente 11 %	
	Pendiente 15 %	
	Pendiente 28 %	

**Tabla 5.** Características del diseño experimental.

N.º de tratamiento	Dimensiones
Número de tratamientos (soluciones nutritivas)	12
Repeticiones	3
Número de unidades experimentales	36
Número de plantas en el experimento	108

### 5.3. Localización del ensayo de evaluación biológica

Después de realizar las 3 calicatas en el suelo con las distintas pendientes del sistema agroforestal en el sector Guanga para determinar sus condiciones físicas, se recolectó 3 muestras de suelo de 7 kg aproximadamente cada uno (Ver anexo 1), para el posterior análisis químico (Ver anexo 2), y proceder con la evaluación biológica con las muestras recolectadas del sector de estudio, y se las llevó a cabo en el invernadero cerca del laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja cuyas coordenadas corresponden a una latitud entre 4° 21' 34"

- 4° 22' 39" sur y un intervalo de longitud 79° 55' 4" - 79° 56' 24" Oeste y cuenta con una altitud de 2139 msnm (Ver anexo 3).

### 5.3.1. Enfoque metodológico

- Modelo aditivo lineal

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho k + \varepsilon_{ijk}$$

$y_{ijk}$  = Una observación cualquiera bajo el efecto del tipo de pendiente del terreno, soluciones nutritivas.

$\mu$  = Medida general del experimento.

$\alpha_i$  = Efecto de i-ésimo nivel del factor soluciones nutritivas.

$\beta_j$  = Efecto de j-ésimo nivel del factor pendientes del terreno.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = es la interacción, o efecto conjunto, del i-ésimo nivel del factor de la solución nutritiva y el j-ésimo nivel del factor pendientes del terreno.

$\rho k$  = es el efecto del error experimental.

$\varepsilon_{ijk}$  = efecto de error experimental para el componente interacción.

- Variable evaluada

Peso de biomasa seca (g).

- Análisis estadístico

Todos los resultados obtenidos en el proyecto serán procesados por un análisis de varianza ANOVA y una prueba de Tukey al 5 % para verificar los resultados de la investigación.

### 5.4. Metodología del primer objetivo: “Realizar la caracterización física y química en el suelo del cantón Olmedo”

En cada unidad de suelo reconocida se realizó una calicata de 1,20 m de profundidad, en la que se describe cada uno de los perfiles del suelo. Fueron usadas las normas contenidas en la “Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de Suelos” de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura 2009. La designación de los horizontes y capas se realizó siguiendo la nomenclatura contenida en el USDA de la *Soil Taxonomy* (2014). En cada perfil del suelo se recolectó muestras inalteradas por duplicado de los dos horizontes superiores, con los anillos Kopecky, para determinar capacidad de campo a una presión de 1/10 y 1/3 de atmósfera, punto de marchitez permanente, la densidad aparente, saturación (0 atmósferas).

Con esta información se determinó agua aprovechable (AA), capacidad de aireación (CA) y volumen de poros físicamente inertes (VPFI), el cual se llevó al triángulo de para evaluar físicamente este suelo (Anexo 14).

También se recolectó muestras alteradas, hasta una profundidad de 25 cm, para el análisis químico, donde se determinó:  $pH_{H_2O}$ , elementos disponibles (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe, B, Zn), capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica en el Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de INIAP (Ver anexo 2).

### **5.5. Metodología para el segundo objetivo: “Establecer la correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad actual del suelo”**

#### **5.5.1. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo**

Se recolectó 3 muestras en cada uso del suelo del sistema agroforestal con café, por cada uso de suelo se tomó 8 kg de suelo, de los cuales se dividirá: 1 kg para realizar análisis químico y 7 kg para la evaluación biológica (12 soluciones nutritivas con 3 repeticiones, número total de plantas 108), cada muestra fue tomada hasta una profundidad de 25 cm (Anexo 1).

Los tratamientos son las soluciones nutritivas (SC, -N, -P, -K, -Mg, -S, -Fe, -Mn, -Zn, B y - Cu, Testigo) (Ver anexo 5) y el uso del suelo con base a variedad de café: var. caturra.

#### **5.5.2. Preparación de soluciones nutritivas**

En la tabla 6 y 7 se indican los tipos de sales y las cantidades para la preparación de las soluciones madres (1N) de los macro y microelementos.

**Tabla 6.** *Tipos de sales y cantidades para preparar las soluciones madres 1N de los macro nutrientes.*

<b>Sales utilizadas</b>	<b>Peso molecular (g)</b>	<b>Cantidad de 1L Sol 1N (<math>g L^{-1}</math>)</b>
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	236,0	118,0
$KNO_3$	101,0	101,0
$KH_2PO_4$	136,0	136,0
$NaH_2PO_4$	120,0	120,0
$K_2SO_4$	174,0	87,0
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	246,0	123,0
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	202,0	101,0
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	218,0	109,0
$NaCl$	58,0	58,0

**Tabla 7.** Concentración de la solución nutritiva y cantidades de sales para la preparación de un litro de la solución nutritiva de micronutrientes.

Sales	$g L^{-1}$	Ppm solución madre	$ml L^{-1}$	Ppm solución nutritiva
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	1,81	500,0	1,0	0,50
$H_4BO_3$	2,86	500,0	1,0	0,50
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0,22	50,0	1,0	0,05
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0,16	40,0	1,0	0,04
$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	0,04	20,0	1,0	0,02
$NaFe - EDTA$	32,75	5000,0	1,0	5,00

Después de la preparación de las soluciones madre, en la Tabla 8 se presenta los volúmenes de soluciones nutritivas en ml para preparar 1L de soluciones nutritivas.

**Tabla 8.** Volúmenes de las soluciones nutritiva en ml para preparar 1L de soluciones nutritivas.

Solución stock	ml										
	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe
<i>Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O</i>	6,0	-	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
<i>KNO<sub>3</sub></i>	2,0	-	2,0	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
<i>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></i>	2,0	2,0	-	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
<i>NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></i>	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-
<i>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	-	2,0	2,0	-	1,0	-	-	-	-	-	-
<i>MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</i>	1,5	1,5	1,5	1,5	-	-	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
<i>MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O</i>	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-
<i>CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O</i>	-	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>NaCl</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>NaFe – EDTA</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-
<i>MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0
<i>H<sub>4</sub>BO<sub>3</sub></i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0
<i>ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0
<i>(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo7O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

### **5.5.3. Preparación de las muestras de suelo**

Se dejó secar sin contacto directo al sol, bajo un ambiente cubierto para evitar impurezas.

### **5.5.4. Preparación de los recipientes**

En los vasos plásticos de 250 ml, se recortó la base y se sustituyó un pedazo de tejido nylon sujetado con cinta y liga delgada, con la finalidad de soportar los 200 g de suelo y para que las raíces de las plantas puedan atravesar hacia la solución nutritiva.

En las tapas de las tarrinas (700 ml), se hizo un recorte en forma circular del tamaño del diámetro de los vasos que contienen el suelo, el fondo del vaso debe estar en contacto con la solución nutritiva de la tarrina.

### **5.5.5. Instalación del experimento**

Se etiquetó la tarrina, cada una es la unidad básica. En las tarrinas se añadió 600 ml de cada solución nutritiva como: solución nutritiva completa, la misma que contiene todos los macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B y Cu); solución nutritiva menos nitrógeno, contiene macros y micro elementos (P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos fósforo, contiene macros y micro elementos (N, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos potasio, contiene macros y microelementos (N, P, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos el elemento faltante será relacionado como los ejemplo anteriores (Anexo 3).

Luego se registra el peso de la biomasa de todas las plantas a los 60 días DDS.

Para la correcta interpretación de los resultados obtenidos en la evaluación biológica, se ha utilizado el cuadro de interpretación de valores de porcentaje para la biomasa de la planta indicadora (Tabla 13), en donde se ha utilizado una regla de 3 simple, utilizando el peso de la solución completa como el 100 % del valor total (Anexo 11).

A su vez se ha realizado una hoja de cálculos en donde se ha tomado en cuenta el registro el peso de la biomasa de todas las plantas a los 60 días DDS, el registro del consumo total de solución nutritiva y el equivalente químico de cada solución utilizada para la elaboración de las soluciones nutritivas. Con la finalidad de determinar la cantidad de nutrientes en la biomasa del cultivo, se desarrollaron las siguientes actividades.

1. Determinar la cantidad de agua consumida (L) en el ciclo del cultivo en cada uno de los tratamientos, con el registro diario de solución nutritiva a cada unidad experimental (Anexo 19).
2. Transformar el requerimiento del cultivo de tomate expresado de los macro nutrientes en  $\text{meq L}^{-1}$  a ppm.
  - Se consideraron las sales minerales utilizadas en las investigaciones (Tabla 6), la cantidad de  $\text{meq L}^{-1}$  de las sales para preparar las soluciones nutritivas o *stock* (Tabla 7), el equivalente químico y la concentración de cada sal (Anexo 11).
  - Mediante relaciones se calculó la cantidad de nutrientes o requerimiento del cultivo de tomate para el periodo de 60 días, para cada una de las 11 soluciones nutritivas. Teniendo en cuenta que para macronutrientes se calculaba en  $\text{meq}$  mientras que para micronutrientes se tomaba en cuenta  $\text{mg L}^{-1}$ .
3. Se suma el aporte de nutrientes de cada una de las sales para definir el contenido total de nutrientes de la solución completa por ejemplo del N.
4. En función del volumen de la solución nutritiva consumida en cada tratamiento se determinó la concentración de nutrientes contenidos en cada uno (mg) (Tabla 8.)

Para el cálculo correspondiente se utilizó el volumen de agua consumida (L) (Anexo 12) y la cantidad de nutrientes de cada sal ( $\text{mg L}^{-1}$ ), mediante una regla de tres simple se determinó la concentración de cada elemento en mg de cada compuesto.

#### **5.6. Metodología para el tercer objetivo: Proponer un plan de fertilidad para el cultivo de café en el cantón Olmedo.**

En base a la correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo se definió las cantidades y tipos de fertilizantes a aplicar, satisfaciendo así los requerimientos del cultivo, eficiencia de los fertilizantes y la relación de cationes determinados por el análisis químico, para el cultivo de café la relación de cationes ideal corresponde a  $\text{Ca/Mg: } 2,5-8$ ,  $\text{Mg/K: } 7,5-15$  y  $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K: } 27,5-55 \text{ cmol kg}^{-1}$ . Teniendo en cuenta que cationes Ca, Mg y K, se determinará por relación de cationes y N, P y microelementos por oferta y demanda.

## **6. Resultados**

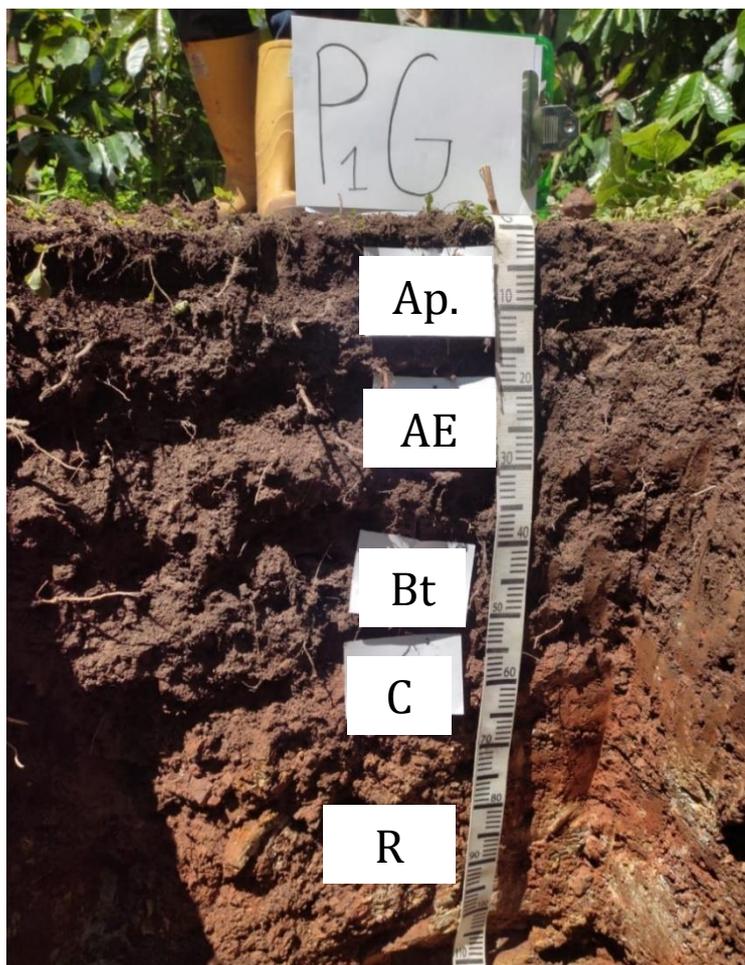
### **6.1. Características morfológicas, físicas, químicas y fertilidad del suelo en el sistema agroforestal con café en Olmedo.**

La vegetación del sistema agroforestal del sector Guanga perteneciente a Olmedo está compuesta por especies frutales como: banano (*Musa paradisiaca* L.), guaba (*Inga edulis*), cítricos, además de especies arbóreas como achiote (*Bixa orellana*) y un 95 % de café (*Coffea arabica* L.) (Anexo 6).

En base a la investigación realizada se determinó que el sector guanga presenta génesis tectónico erosivo (Figura 2), de formación Ciano específicamente Lutita (Tabla 3), esto se corroboró en el laboratorio de rocas de la Universidad Nacional de Loja (Anexo 7).

#### **6.1.1. Perfil 1 de suelo del sistema agroforestal con café var. Caturra**

Condiciones morfológicas: suelo profundo formado por 4 horizontes genéticos. Un horizonte Ap de 15 cm de espesor, un AE de 15 cm, un Bt de 30 cm, un horizonte C de 10 cm, y la roca en proceso de meteorización. Las raíces se distribuyen uniformemente hasta 30 cm, siendo más abundantes en Ap, el suelo tiene buen drenaje y los colores son uniformes y continuos (Anexo 8).



Condiciones físicas: En el SAF con café en el perfil 1 cuya profundidad corresponde de entre (00 – 15 cm) para el horizonte Ap y (15 – 30 cm) para el horizonte AE, se registró un valor Alto para el contenido de AA, un valor Muy Bajo para CA, ubicando al suelo en una clasificación correspondiente a un suelo pobre I (Tabla 9), de acuerdo al diagrama triangular correspondiente para la evaluación de las condiciones físicas del suelo (Anexo 17).

**Tabla 9.** *Condiciones físicas del suelo correspondiente al perfil 1G.*

Uso de suelo	Ap	AE
<b>Prof (cm)</b>	15	30
<b>Da (g cm<sup>-3</sup>)</b>	1,47	1,60
<b>SS (%)</b>	50	50
<b>CC (%)</b>	51,45	52,80
<b>PMP (%)</b>	34,40	34,08
<b>AA (%)</b>	17,1	18,7

<b>VS (%)</b>	50	50
<b>CA (%)</b>	1,45	2,80
<b>VPFI (%)</b>	84	84,08
<b>AA</b>	Alto	Alto
<b>CA</b>	Muy bajo	Muy bajo
<b>Zona</b>	I	I
<b>Clase</b>	Muy pobre	Muy pobre

Condiciones químicas: Dentro de las condiciones químicas el valor de  $pH_{H_2O}$  de 6,6 categorizado con ligeramente ácido. El contenido de materia orgánica corresponde a 5,35 para el horizonte Ap y 3,62 para el horizonte AE. La suma de bases es alta ya que presenta un valor de 15,33  $cmol\ kg^{-1}$ , además se observó con suelo rico en el horizonte Ap ya que para CIC se registró un valor medio alto y un valor medio para el horizonte AE, observado que corresponde a un suelo medio según (Garrido, 2006)(Tabla 10).

**Tabla 10.** Condiciones químicas del suelo correspondiente al perfil 1G

<b>SAF P1G</b>				
<b>Uso de suelo</b>	<b>Unidades</b>	<b>ApP1G</b>	<b>AEP1G</b>	
<b>Prof.</b>	cm	00-15	15-30	
<b>pH</b>		6,6	6,1	
<b>M.O.</b>	%	5,35	3,62	
<b>Al<sup>3+</sup> + H<sup>+1</sup></b>	$cmol\ kg^{-1}$	0	0	
<b>Al<sup>3+</sup></b>		0	0	
<b>CIC</b>	(meq 100g suelo)	32,6	24	
<b>Cationes cambiables</b>	$cmol\ kg^{-1}$	<b>K</b>	0,13	0,13
		<b>Ca</b>	12	11
		<b>Mg</b>	3,2	3
		<b>Na</b>	0	0
<b>SB</b>		15,33	14,13	
<b>Saturación de bases</b>	%	<b>Ca</b>	78	78
		<b>Mg</b>	21	21
		<b>K</b>	0,85	0,92

Fertilidad actual: Los resultados del análisis químico, mostraron alto contenido de disponibilidad a elementos como Ca, Mg, Cu, Fe y Mn, a elementos como N, S, y Zn su contenido de disponibilidad fue medio, y a elementos como P, K, y B mostraron baja

disponibilidad. Además se registró un valor de 4,3 % de materia orgánica considerando en un rango medio bajo para el cultivo de café (Anexo 2).

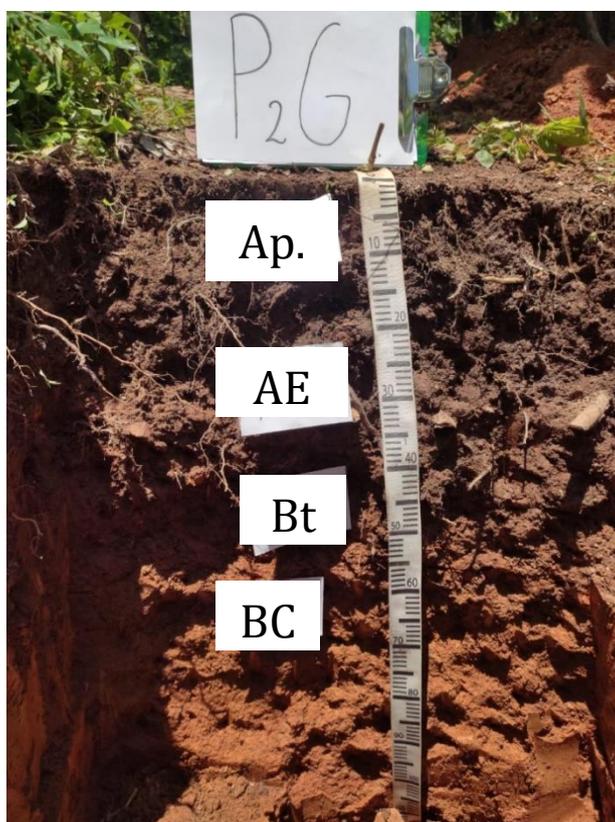
### **6.1.2. Perfil 2 de suelo del sistema agroforestal con café var. Caturra**

Condiciones morfológicas: suelo muy profundo formado por 4 horizontes genéticos.

Un horizonte Ap de 20 cm de espesor con presencia de raíces finas, medias, abundantes; un AE de 15 cm, un Bt de 20 cm, un horizonte BC que se extiende un poco más.

El suelo está bien drenado, presencia de raíces finas y pocas se extienden hasta los 60 cm de profundidad, las raíces son comunes en el horizonte AE.

La denominación de horizonte AE por que se observa poca cantidad de piedras de 4 a 5 cm (Anexo 9).



Condiciones físicas: En el SAF con café en el perfil 2 cuya profundidad corresponde de entre (00 – 20 cm) para el horizonte Ap y (20 – 35 cm) para el horizonte AE, se registró un valor Bajo para el contenido de AA, un valor Muy Alto para CA, ubicando al suelo en una clasificación II correspondiente a un suelo pobre (Tabla 11), de

acuerdo al diagrama triangular correspondiente para la evaluación de las condiciones físicas del suelo (Anexo 17).

**Tabla 11.** *Condiciones físicas del suelo correspondiente al perfil 2G.*

Uso de suelo	Ap	AE
<b>Prof (cm)</b>	20	35
<b>Da (g cm<sup>-3</sup>)</b>	0,78	0,57
<b>SS (%)</b>	50	50
<b>CC (%)</b>	28,08	19,55
<b>PMP (%)</b>	18,41	12,77
<b>AA (%)</b>	9,7	6,8
<b>VS (%)</b>	50	50
<b>CA (%)</b>	21,92	30,45
<b>VPI (%)</b>	68,41	62,77
<b>AA</b>	Bajo	Bajo
<b>CA</b>	Muy alto	Muy alto
<b>Zona</b>	II	II
<b>Clase</b>	Pobre	Pobre

Condiciones químicas: Dentro de las condiciones químicas el valor de  $pH_{H_2O}$  de 6,4 categorizado con ligeramente ácido. El contenido de materia orgánica corresponde a 5,73 para el horizonte Ap y 4,41 para el horizonte AE. La suma de bases es alta, y se observó con suelo rico en el horizonte Ap ya que para CIC se registró un valor medio y un valor medio alto para el horizonte AE, según (Garrido, 2006) (Tabla 12).

**Tabla 12.** *Condiciones químicas del suelo correspondiente al perfil 2G*

SAF P2G			
Uso de suelo	Unidades	ApP2G	AEP2G
<b>Prof.</b>	cm	00-20	20-35
<b>pH</b>		6,4	6,2
<b>M.O.</b>	%	5,73	4,41
<b>Al<sup>3+</sup> + H<sup>+</sup></b>		0	0
<b>Al<sup>3+</sup></b>	cmol/kg	0	0
<b>CIC</b>	(meq/100g suelo)	28,6	30,2
<b>Cationes cambiables</b>	cmol/kg	<b>K</b> 0,11 <b>Ca</b> 13	0,1 12

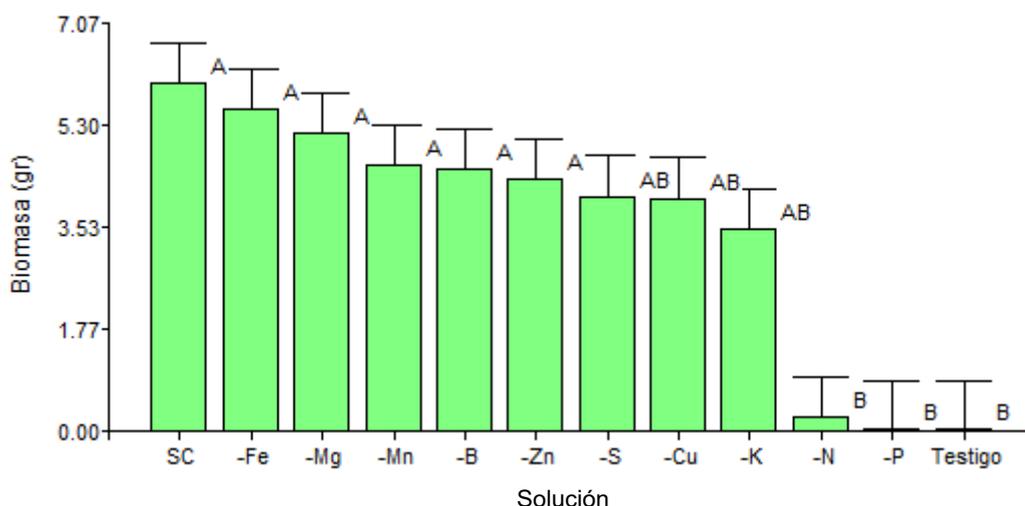
		<b>Mg</b>	3,4	3,2
		<b>Na</b>	0	0
<b>SB</b>			16,51	15,3
<b>Saturación de bases</b>	<b>%</b>	<b>Ca</b>	78,74	78,43
		<b>Mg</b>	20,59	20,91
		<b>K</b>	0,66	0,65

Fertilidad actual: Los resultados del análisis químico, mostraron alto contenido de disponibilidad a elementos como Ca, Mg, Cu, Fe y Mn, a elementos como N, S, y Zn su contenido de disponibilidad fue medio, y a elementos como P, K, y B mostraron baja disponibilidad. Además, se registró un valor de 4,5 % de materia orgánica considerando en un rango medio bajo para el cultivo de café (Anexo 2).

## 6.2. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo.

### 6.2.1. Biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café en Guanga.

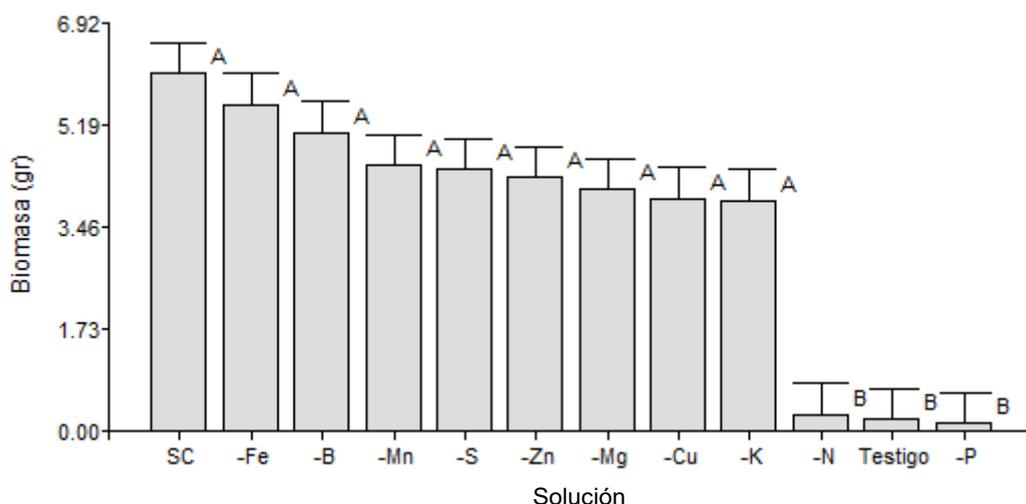
Biomasa seca. En el Anexo 10 se muestra los valores promedio de biomasa seca de la planta de tomate de las 3 distintas pendientes de 11 %, 15 % y 28 %, donde se observa diferencias altamente significativas ( $p$ -valor  $< 0,0001$ ) en -N, -P y T con respecto a los demás tratamientos. Ya que se registró valores promedio que fluctúan entre 0,02 g para el testigo y 6,47 g para SC.



**Figura 4.** Biomasa seca de planta indicadora del suelo del SAF con café de Guanga con pendiente del 11 %.

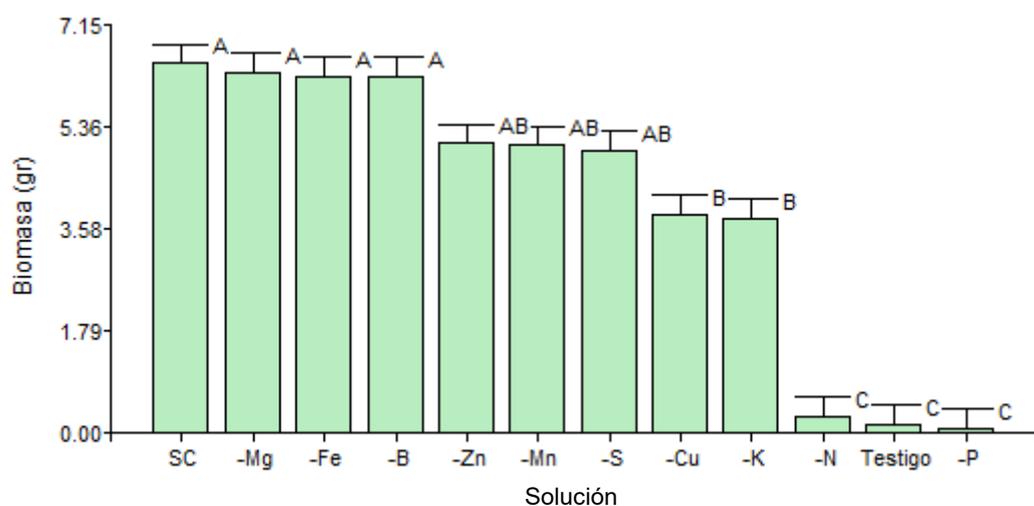
Las líneas sobre las barras representan el error estándar de la biomasa de la planta: En la (Figura 4) se muestra el resultado de la evaluación biológica a través de la biomasa seca de la planta indicadora en gr después de 60 días DDS, donde se observa diferencias

altamente significativas ( $p$ -valor  $< 0,0001$ ) en las soluciones -N, -P y T con respecto a los demás tratamientos. Ya que se registró valores que oscila entre 0,02 g para el testigo y 6,03 gr para SC en el suelo recolectado de la pendiente de 11 % en el SAF de Guanga.



**Figura 5.** Biomasa seca de planta indicadora del suelo del SAF con café de Guanga con pendiente del 15 %.

Las líneas sobre las barras representan el error estándar de la biomasa de la planta: En la (Figura 5) se muestra el resultado de la evaluación biológica a través de la biomasa seca de la planta indicadora en gr después de 60 días DDS, donde se observa diferencias altamente significativas ( $p$ -valor  $< 0,0001$ ) en las soluciones -N, -P y T con respecto a los demás tratamientos. Ya que se registró valores que oscila entre 0,13 g para el testigo y 6,07 gr para SC en el suelo recolectado de la pendiente de 15 % en el SAF de Guanga.



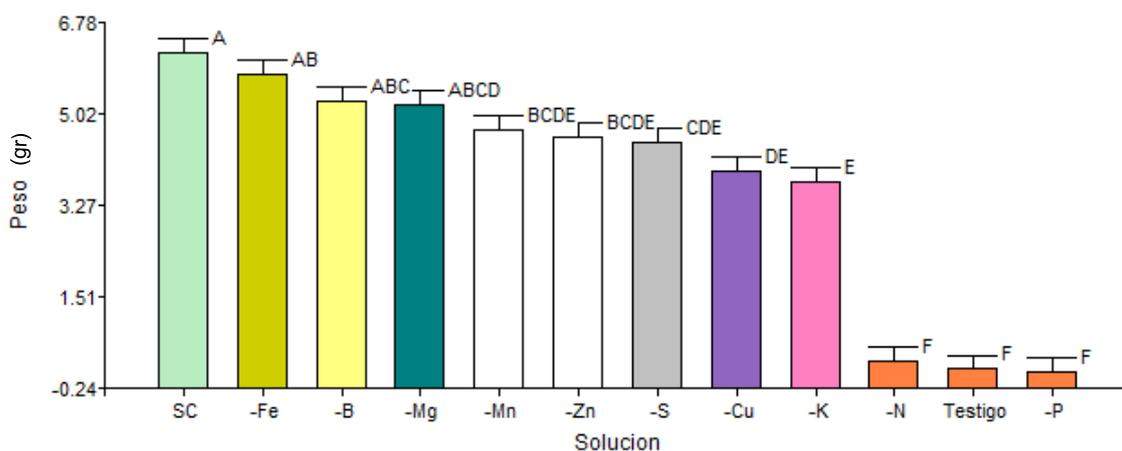
**Figura 6.** Biomasa seca de planta indicadora del suelo del SAF con café de Guanga con pendiente del 28 %.

Las líneas sobre las barras representan el error estándar de la biomasa de la planta: En la (Figura 6) se muestra el resultado de la evaluación biológica a través de la biomasa seca de la planta indicadora en gr después de 60 días DDS, donde se observa diferencias altamente significativas ( $p$ -valor  $< 0,0001$ ) en las soluciones -N, -P y T con respecto a los demás tratamientos. Ya que se registró valores que oscila entre 0,08 g para el testigo y 6,47 gr para SC en el suelo recolectado de la pendiente de 28 % en el SAF de Guanga.

- Biomasa seca de la planta indicadora por tratamiento.

En el Anexo 13 se presenta el resumen del ANOVA de los valores de la biomasa seca de la planta indicadora a los 60 DDS. En este se evidenció diferencias significativas en ( $p < 0,0001$ ) para el factor A (soluciones), Factor B (pendientes) con un ( $p = 0,0119$ ); con un coeficiente de variación de 22,09 %.

Para el factor de soluciones nutritivas, LA Figura 7 indica que los valores de peso de la biomasa seca de la planta indicadora en la SC aumentaron significativamente, en relación a algunas de las demás soluciones nutritivas en las que se suprimió uno de los elementos esenciales. Registrando el valor más alto de 6,19 g para SC y el mínimo de 0,08 g para la solución -P.



**Figura 7.** Promedio de biomasa de la planta indicadora y prueba de Tukey al 5 % a los 60 DDS, para el factor soluciones.

### 6.2.2. Correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica

Para la correcta interpretación de los resultados obtenidos en la evaluación biológica, se ha utilizado el cuadro de interpretación de valores de porcentaje para la biomasa de la planta indicadora (Tabla 13), en donde se ha utilizado la metodología

descrita anteriormente con la finalidad de determinar la cantidad de nutrientes en la biomasa del cultivo, además, se sustentó la información al realizar una regla de 3 simple, utilizando el peso de la solución completa como el 100 % del valor total.

**Tabla 13.** Cuadro de interpretación de valores de porcentaje para la biomasa de la planta indicadora.

Valor	Significado	
>75%	Alto	(A)
50 – 75%	Medio	(M)
25 – 50%	Bajo	(B)
<25%	Muy bajo	(MB)

Fuente: (Valarezo, 2016)

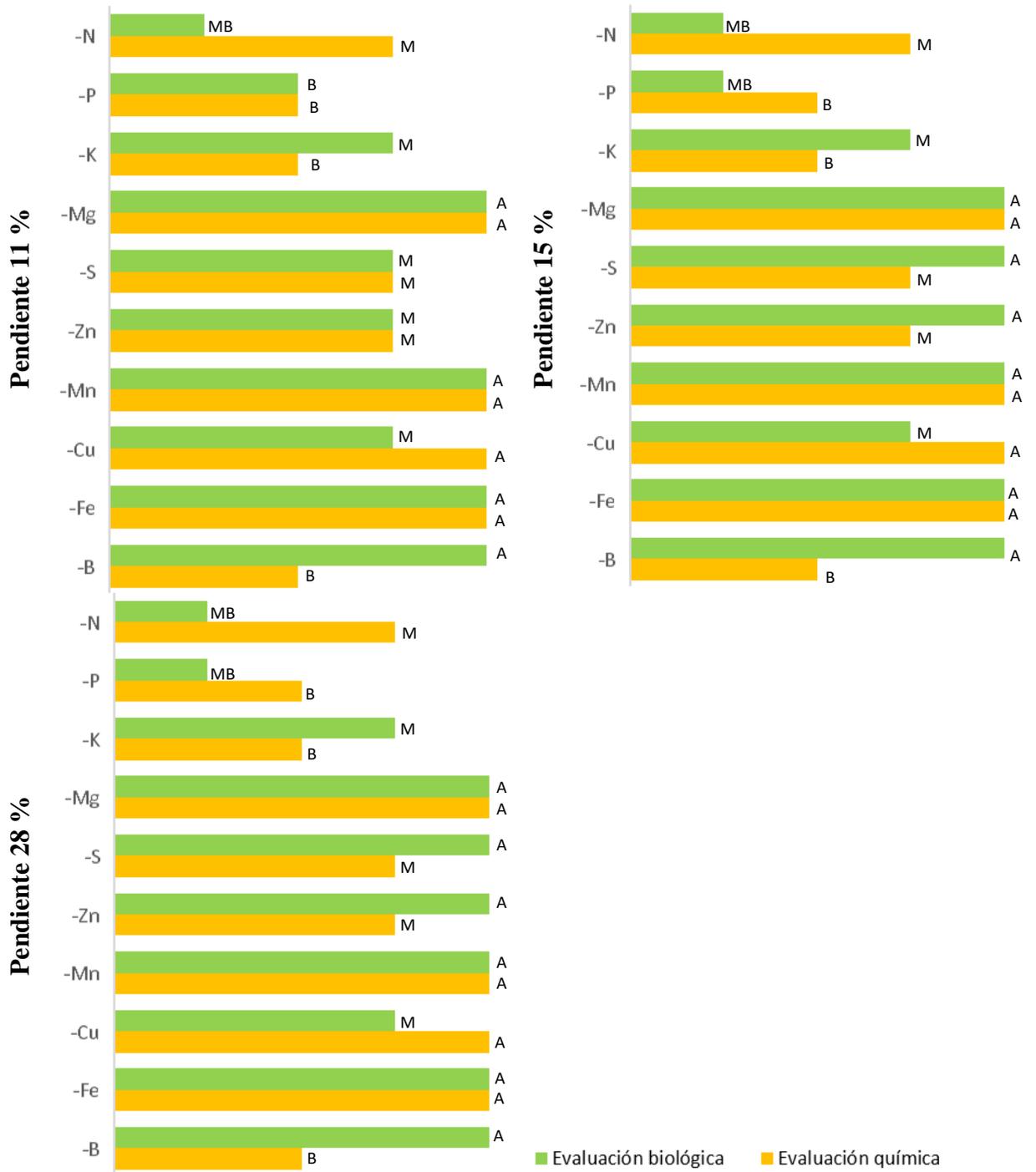
En la tabla 14. Se muestran los resultados de la evaluación completa y el análisis químico emitido por el INIAP. Utilizando los resultados expuestos en el Anexo 2 y Anexo 13 se utilizó la interpretación de la tabla 13 para obtener así datos concretos de la Tabla 14 y Figura 8.

**Tabla 14.** Confrontación de los rangos entre la evaluación biológica (biomasa seca) y el análisis químico en sistemas agroforestales en el Sector Guanga.

Uso del suelo	SAF con café pendiente de 11%		SAF con café pendiente de 15%		SAF con café pendiente de 28%	
	BI	QU	BI	QU	BI	QU
-N	MB	M	MB	M	MB	M
-P	B	B	MB	B	MB	B
-K	M	B	M	B	M	B
-Mg	A	A	M	A	A	A
-S	M	M	M	M	A	M
-Zn	M	M	M	M	A	M
-Mn	A	A	M	A	A	A
-Cu	M	A	M	A	M	A
-Fe	A	A	A	A	A	A
-B	A	B	A	B	A	B

En la Tabla 14, y Figura 8 se observa la correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del

análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada (Anexo 11 y Anexo 12).



**Figura 8.** Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico del suelo del SAF con café en el sector Guanga, tomando en cuenta la presencia de las 3 pendientes.

El N, P, K, Cu y B no presentó correspondencia entre la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada (Figura 8).

En la Tabla 15 se presenta los requerimientos del cultivo de café en producción para el SAF de Guanga, en base a la correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico (Figura 9); y los requerimientos de macro y micro nutrientes de cafetales en producción propuesto por varios autores (Tabla 2).

**Tabla 15.** *Requerimiento (kg ha<sup>-1</sup>) de cafetales en producción para el suelo del SAF de Guanga.*

Pendiente	Pend. 11 %		Pend. 15 %		Pend. 28 %	
	Análisis químico	Análisis biológico	Análisis químico	Análisis biológico	Análisis químico	Análisis biológico
<b>N</b>	131,2	200,0	168,0	200,0	198,6	200,0
<b>P</b>	107,7	60,0	107,7	60,0	122,4	60,0
<b>K</b>	286,0	286,0	286,0	286,0	286,0	286,0
<b>Mg</b>	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
<b>S</b>	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
<b>Zn</b>	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
<b>Cu</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Mn</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>B</b>	5,0	5,0	8,2	5,0	8,4	5,0
<b>Fe</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

### 6.3.Fertilización para los cafetales

Si el contenido de nutrientes requerido por la planta es bajo, indica que las dosis de fertilización de macro y micronutrientes se deben programar anualmente en el anexo 16 se puede observar la de la presencia de los nutrientes en el suelo del sector Guanga. Los nutrimentos pueden proporcionarse aplicando diferentes fertilizantes, para este caso se calculó en base a los disponibles en el mercado y teniendo en cuenta accesibilidad a los costos, Para ello se menciona fertilizantes como: Yara 12-24-12, sulfato de potasio, kieserita, Sulfato de zinc, y Fertiboro, en el anexo 11, se muestra el porcentaje de nutriente que presenta cada fertilizante.

**Tabla 16.** Cálculo de la CICE del suelo con café en Guanga Olmedo.

<b>B. intercambiables</b>	<b>cmol kg<sup>-1</sup></b>	<b>Enmiendas cmol kg<sup>-1</sup></b>	<b>Total</b>
Ca <sup>2+</sup>	12,6	0,00	12,60
Mg <sup>2+</sup>	3,2	-	3,20
k <sup>+</sup>	0,12	0,20	0,32
Na <sup>+</sup>	0	-	0,00
Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>	0	-	16,12
Al <sup>3+</sup>	0	-	-
Meq CA	-	-	-
CICE 1	15,92	CICE 2	16,12

**Tabla 17.** Enmienda y relación de cationes para el suelo del SAF en el sector Guanga Olmedo.

<b>Enmienda</b>				<b>Relación de cationes cmol Kg<sup>-1</sup></b>			
<b>SB</b>	<b>Antes (%)</b>	<b>Después (%)</b>	<b>R. óptimo</b>	<b>Antes</b>	<b>Agregar</b>	<b>Después</b>	<b>R. Óptimo</b>
<b>Ca</b>	79,15	78,16	60,0 – 70,0	<b>Ca/Mg</b>	3,94	-	2,6 -8,0
<b>Mg</b>	20,10	19,85	15,0 – 25,0	<b>Mg/K</b>	26,67	K	7,5 – 15,0
<b>K</b>	0,75	1,99	5,0 – 10,0	<b>(Ca+Mg)/K</b>	131,67	K	27,5 – 55,0

Al realizar la relación de cationes  $Mg/K$  y  $(Ca + Mg)/K$  no corresponde al rango adecuado, en base a la Tabla 1 si la relación  $Mg /K$  es  $>$  a 15 y  $(Ca + Mg)/K$  es  $>$  a 55, se debe agregar K, en este caso se adiciono 0,2 cmol kg<sup>-1</sup> (Tabla 16), con este valor se aproxima la relación de cationes a los rangos óptimos, equivalente a 131,67 kg ha<sup>-1</sup> de K (Tabla 17), a través del sulfato de potasio se pretende compensar este elemento en la Tabla 18 se detalla los fertilizantes a utilizar.

**Tabla 18.** Fertilizantes recomendados para el cultivo de café en producción para el suelo del SAF en Guanga.

<b>Fertilizantes</b>	<b>g/planta</b>	<b>kg/planta</b>	<b>kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>Sacos por Ha</b>	<b>C. unitario (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
Yara (12-24-12) (50kg)	71,56	0,07	238,52	5	54,54	272,7
Sulfato de potasio (25kg)	51,47	0,05	171,53	7	23,3	163,1
Kieserita (50kg)	25	0,03	83,33	2	18,5	37

Sulfato de Zn (25kg)	3,26	0,00	10,87	1	30,5	30,5
Fertiboro (25kg)	7,35	0,01	24,51	1	25,0	25,0
<b>Total</b>						<b>528,3</b>

Los contenidos en kg ha<sup>-1</sup> de dosificación de fertilizantes, se plantearon en base a los requerimientos del cultivo de café en la evaluación biológica (Tabla 17) y la relación de cationes del cultivo café (Tabla 1), para mejorar la fertilidad del suelo por hectárea en cafetales en producción hasta los 3 años es de \$528,3, teniendo en cuenta que la densidad de siembra corresponde a 1,5 m entre planta, y 2 m entre hileras.

**Tabla 19.** *Plan de fertilización en kg ha<sup>-1</sup> para cafetales en producción para el SAF de Guanga.*

Fertilizante	2023				2024		Total kg Ha <sup>-1</sup>
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
<b>Yara</b>	39,75	39,75	39,75	39,75	39,75	39,75	238,52
<b>Sulfato de potasio</b>	85,77	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15	171,53
<b>Kieserita</b>	33,33	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	83,33
<b>Sulfato de Zn</b>	10,87	-	-	-	-	-	10,87
<b>Fertiboro</b>	24,51	-	-	-	-	-	24,51
<b>Total kg/Ha</b>	194,23	66,91	66,91	66,91	66,91	66,91	528,75

El plan de fertilización se lo realizó para aplicar edáficamente en la época de invierno del sector Guanga Olmedo, desde octubre a marzo y la aplicación de los fertilizantes se debe realizar en los 4 puntos cardinales de cada planta cada 30 días, en el caso del sulfato de potasio, se propone realizar la enmienda en la primera semana del mes octubre, en la cuarta semana de cada mes lluvioso aplicar los macronutrientes solo una aplicación en este tiempo.

## 7. Discusión

### 7.1. Condiciones físicas, químicas del suelo en el sistema agroforestal con café en Olmedo.

De acuerdo con los resultados obtenidos al evaluar las propiedades físicas del suelo se determinó una textura arcillosa, registrando una Da de entre 0,78 y 1,47 g cm<sup>-3</sup>, PMP 18,41 y 34,4 %, AA 9,7 y 17,1 % y zona muy pobre y pobre; concordando por lo descrito por Valarezo et al., (1998) La clase textural franco arcilloso (FoAc), los valores del rango de las características físicas de los suelos de la Región Sur de Ecuador corresponde a (da) de 0,63 – 1,83 g cm<sup>-3</sup>; (PMP) de 9,87 – 36,21 %; AA de 11,44 – 38,57 %; y zonas de entre muy pobre a media. La baja CA del perfil 1 se debe probablemente a la textura del suelo arcilloso y a la da de 1,6 g cm<sup>-3</sup> en el segundo horizonte (Tabla 9).

Dentro de las condiciones químicas que presenta el suelo del sector Guanga el valor de  $pH_{H_2O}$  de 6,6 categorizado con ligeramente ácido. Según Guerrero, (1991) sostiene que agrónomicamente la mayoría de elementos esenciales y de cultivos se comportan bien a pH entre 5,5 y 6,7 y que probablemente el pH óptimo está entre 6,2 y 6,5. Sin embargo, Valencia & Carillo, (1983) manifiestan que el pH apto para el cultivo de café varía de entre 5 y 5,5 ± 0,1, si se encuentra debajo de 4,9 se recomienda aplicar cal, pero no por cuando el pH está por encima de 5,6.

El contenido de materia orgánica corresponde a 5,35 y 5,73 para el horizonte Ap en el perfil 1 y 2 respectivamente. Valencia & Carillo, (1983) el contenido óptimo para MO corresponde entre 11,4 y 12,6 %, a medida que baja de 12,0 ± 0,6 se obtiene mayor respuesta a aplicaciones de nitrógeno.

La suma de bases es alta ya que presenta un valor de 15,33 y 16,51 cmol kg<sup>-1</sup> en el horizonte Ap del perfil 1 y 2 respectivamente, además se observó con suelo rico en el horizonte Ap (Valencia & Carillo, 1983) mencionan que la suma de bases óptima para el cultivo de café debe estar entre 5 y 10 cmol kg<sup>-1</sup>, ya que el 74 % de los suelos cafetaleros están con menos de 5, pero a mayores valores corresponde mayor fertilidad. Sin embargo, Enríquez y Duicela, (2014) manifiestan que la suma de bases se considera óptimo cuando pertenece dentro del rango comprendido entre 15 – 30 cmol kg<sup>-1</sup>, para lo cual los perfiles evaluados son considerados como óptimos.

Para CIC se registró un valor medio alto de 32,6 y 28,6 para el horizonte Ap del perfil 1 y 2 respectivamente, observado que corresponde a un suelo medio según Garrido,

2006 (Tabla 10 y 12). En este grupo de suelos ya no hay ningún contenido de acidez intercambiable por lo que desaparece la posibilidad de toxicidad con  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$  o  $\text{Mn}^{2+}$ . Hay una mejora en la actividad biológica bacteriana con respecto a la de los suelos con los valores de pH ligeramente ácidos (Jaramillo, 2002), Valencia y Carillo, 1983 también manifiestan que el rango óptimo para el Al corresponde de entre 0 a 1,1 ( $\text{cmol kg}^{-1}$ ) ya que valores superiores a  $1,0 \pm 0,1$  ( $\text{cmol kg}^{-1}$ ) pueden llegar a causar problemas nutricionales al café y también se necesitaría encalar el suelo.

Dentro de la relación de cationes cambiabiles del suelo se registró valores de 0,13; 12; 3,2 y 0,11; 13; 3,4 y 0  $\text{cmol kg}^{-1}$  para K, Ca, Mg, y Na en el horizonte Ap del perfil 1 y 2 respectivamente; (Valencia & Carillo, 1983) mencionan que el índice óptimo de K corresponde de entre 0,29 y 0,41  $\text{cmol kg}^{-1}$ , el sector Guanga obtiene repuesta a potasio ya que presenta valores inferiores a  $0,35 \pm 0,06$ . Para el Ca el rango optimo corresponde a 1,6 a 4,2 ( $\text{cmol/kg}$ ), el suelo del sector Guanga presenta un contenido de Ca muy alto por tanto no necesita encalamiento. Para el Mg el rango optimo corresponde a valores entre 0,5 y 1,4  $\text{cmol kg}^{-1}$ , en el sector Guanga el contenido de Mg esta fuera del rango optimo por lo tanto se debe usar dolomita para corregir el pH en el suelo ligeramente acido por la presencia de Ca, así como incorporar una fuente de Mg adecuado para potenciar la función de la “Fotosíntesis” de las plantas.

Así mismo el sector presenta una clase textural Arcilloso ya que presenta 14 % Arena, 38 % Limo y 48 % Arcilla, manifestando así su baja capacidad de aireación; Esto se asimila a lo expresado por Valarezo et al (1998) las condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador presentan una clase textural franco arcilloso, Valencia y Carrillo, 1983 concuerdan que esta textura es la óptima para el cultivo de café, con respecto a la baja CA se debe a distintos posibles factores como pisoteo, bajo contenido de MO, y suelos arcillosos (Valencia & Carillo, 1983).

## **7.2. Biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café en Guanga.**

En el Anexo 10 se evidencia la tabla de biomasa registrada, en donde la SC registra los mayores valores en gr correlacionado con lo que mencionan (Tandazo, 2019; Zambrano, 2019) en estudios realizados en SAF con café en la provincia de Loja y (Aleman, 2013; Castillo & Salinas, 2014; Castillo & Villavicencio, 2015; Loaiza, 2013; Mendoza, 2013; Pantzay, et al., 2000; Quisbert, 2019; Rogel, 2021; Velasquez, 2019;

Zhunaula, 2016) con distintos cultivos utilizando la evaluación biológica con la técnica del elemento faltante.

En la Figura 7 se presenta un promedio de biomasa de la planta indicadora y prueba de Tuckey al 5% a los 60 DDS para el factor soluciones en donde se observa diferencia altamente significativa para las soluciones -N y -P. En el caso de N, Navarro y Navarro, (2013) manifiestan que las altas temperaturas hacen disminuir el contenido de nitrógeno, ya que al aumentar la velocidad de mineralización de la materia orgánica presente en el suelo, aparece una mayor proporción de compuestos nitrogenados solubles, los cuales, en parte, pueden perderse por lixiviación, de la misma manera Pérez, (2017), nos manifiesta que la cantidad de nitrógeno depende del tipo de suelo, la temperatura y pluviosidad, el contenido de  $\text{NO}_3^-$  varía con la estación, ya que es muy soluble en agua y las aguas de lluvia o riego lo pueden arrastrar hacia el subsuelo; La baja disponibilidad de este elemento en el suelo del SAF Guanga se debe a las precipitaciones pronunciadamente altas ya que ocasionan lixiviación del nutriente a horizontes más profundos, donde las raíces de las plantas no lo pueden tomar. En el caso del nitrógeno, este elemento puede suplirse aplicando materia orgánica al suelo o por medio de fertilizantes químicos (Jaramillo, 2002).

La deficiencia de fósforo ocasiona un desarrollo débil de la planta, causa que las hojas presenten nervios pocos pronunciados y de una coloración azul, verdosa con tintes bronceados o purpuras, se presentan con frecuencia en las hojas viejas tal como lo manifiesta León et al., (2011). Los bajos contenidos de fósforo en el suelo son ocasionados por: extracción por cultivos, lixiviación, erosión y volatilización (Navarro & Navarro, 2013). Los resultados reportados por en análisis químicos y apreciados en la evaluación biológica (biomasa) muestran que los contenidos de fósforo en el suelo del SAF con café en el sector Guanga son bajos, debido a la baja presencia de este elemento en el análisis químico (Anexo 2) y probablemente la precipitación en esta provoque la lixiviación de este elemento. El fósforo se aplica al suelo en forma de fertilizantes, en las dosis que corresponda de acuerdo con el nivel de deficiencia y con la exigencia del cultivo (Jaramillo, 2002).

El K también mostro diferencia significativa con respecto a los demás tratamientos, debido a su baja presencia en el suelo según el análisis químico (Anexo 2) Navarro & Navarro (2013) manifiesta que cuanto mayor sea el grado de saturación del calcio, mayor será la adsorción al coloide del potasio de la disolución del suelo.

Posiblemente los bajos contenidos de este elemento se den por los altos contenidos de calcio, además en el sector Guanga en época de altas precipitaciones, se supone que gran cantidad de potasio se perdió por lixiviación o por extracción de nutrientes de los cultivos. Además, Iñiguez, (2010) manifiesta que en ciertos suelos, el contenido de arcilla con alta capacidad para atrapar potasio y retenerlo en forma no disponible, reduce la cantidad de potasio que puede ser absorbido por la planta. El potasio se aplica al suelo en forma de fertilizantes, en las dosis que corresponda de acuerdo con el nivel de deficiencia y con la exigencia del cultivo (Jaramillo, 2002).

### **7.3. Correspondencia entre evaluación biológica y análisis químico**

El N, P, K, Cu y B no presentó correspondencia entre el peso de la biomasa en la evaluación biológica con respecto a la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada. Aucatoma, (2018) menciona que el extractante de Olsen Modificada, cuantifica el nutriente disponible en suelos de pH neutro a alcalino, ello justifica la no correspondencia entre las metodologías, ya que el pH de este suelo es ligeramente ácido.

Los resultados del estudio se correlacionan con lo expuesto por Castillo & Salinas (2014) ya que mencionan que en suelos de pH ácido a ligeramente ácido, no existe correlación entre el N, P y K es bajo, mientras que en los análisis químicos determino alto (N) y medio (P y K).

En base las investigaciones realizadas por Aguirre, (2017), Castillo & Villavicencio, (2015), Loaiza (2013), Tandazo (2019), Zambrano, (2019), Zhunaula, (2016) se ha probado que no existe una correspondencia entre la evaluación biológica y la solución extractora de Olsen Modificado para los elementos de N, P, K, y B, concuerdan con esta investigación que no existe correspondencia para N, P, K, Cu y B.

Las soluciones -Mg, -S, -Zn, -Mn, y -Fe presentaron correspondencia entre el peso de la biomasa en la evaluación biológica y la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada, concordando por lo expuesto por Tandazo, (2019) ante la correlación de -Zn, -Mn y -Fe. Zambrano, (2019) registro correspondencia en -Mg y -Fe. Aguirre, (2017) registro correspondencia en -Mn y -Mg.

#### 7.4. Plan de fertilización

Dentro de la relación de cationes cambiabiles del suelo se registró valores de 0,13; 12; 3,2 y 0,11; 13; 3,4 y 0 cmol kg<sup>-1</sup> para K, Ca, Mg, y Na en el horizonte Ap del perfil 1 y 2 respectivamente; (Valencia & Carillo, 1983) mencionan que el índice óptimo de K corresponde de entre 0,29 y 0,41 cmol kg<sup>-1</sup>, el sector Guanga obtiene repuesta a potasio ya que presenta valores inferiores a 0,35 ±0,06. Para el Ca el rango optimo corresponde a 1,6 a 4,2 cmol kg<sup>-1</sup>, el suelo del sector Guanga presenta un contenido de Ca muy alto por tanto no necesita enclamiento. Para el Mg el rango optimo corresponde a valores entre 0,5 y 1,4 cmol kg<sup>-1</sup>, en el sector Guanga el contenido de Mg esta fuera del rango optimo por lo tanto se debe usar dolomita para corregir el pH en el suelo ligeramente acido por la presencia de Ca, así como incorporar una fuente de Mg adecuado para potenciar la función de la “Fotosíntesis” de las plantas. Sadeghian, (2020) manifiesta que dentro de los niveles adecuado por para las bases intercambiabiles de café consta Ca mayor de 3,0 cmol kg<sup>-1</sup>, Mg mayor de 0,9 cmol kg<sup>-1</sup> y K mayor de 0,4 cmol kg<sup>-1</sup>, para la cual los valores registrados no corresponden al rango indicado.

Dentro de la acidez y aluminio intercambiabiles el total de las muestras de suelo analizadas presentaron un rango de basicidad para el cultivo de café (pH entre 6,1 y 6,6) esto se puede deber probablemente a la aplicación indiscriminada de materiales enclantes, con el agravante de que la solución no se logró a corto plazo (Sadeghian, 2020).

Como lo menciona (Henriquez, et al., 1995) el cultivo de café de alta producción es demandante de una fertilización óptima para consumir sus estándares. Sin embargo, se debe tener en cuenta el ciclo de producción del cafeto además de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, ante esto se recomienda realizar un fraccionamiento de entre 3 a 4 aplicaciones anuales a la hora de fertilizar tomando en cuenta la curva de absorción del cultivo para poder aportar en cada fase fenológica. Ante esto mencionan que los nutrientes esenciales corresponden al siguiente orden de importancia: N> K > Mg> Ca> S> Zn = B> P.

Para la fertilización de café en producción es indispensable el uso de fórmulas integradas que incluyan nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y boro (Hergoualc'h, et al., 2009). Entre las más usadas se mencionan las siguientes: N: 90-180, P<sub>2</sub>O: 15-30, K<sub>2</sub>O:75-150, Mg: 20-40 y B: 10-20 kg ha<sup>-1</sup> en dos aplicaciones anuales (Barradas & Fanjul, 1986).

Así mismo Enríquez y Duicela (2014) mencionan que los requerimientos macro y micronutrientes óptimos para cafetales en producción corresponde a la aplicación de N:200, P<sub>2</sub>O: 60, K<sub>2</sub>O:150; S: 150, Ca: 340, Mg: 15, Zn: 3, Cu:3, Fe:3; Mn:1.5; B:10 kg ha<sup>-1</sup>, dependiendo de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, (Zambrano, 2019; Tandazo, 2019) han utilizado este requerimiento para cafetales en producción en distintos cantones de la provincia de Loja.

El plan de fertilización se lo elaboro de acuerdo a la época de invierno del sector Guanga, que empieza desde el mes de octubre a marzo, la aplicación de los fertilizantes se debe realizar alrededor de cada planta en los 4 puntos cardinales cada 30 días, en el caso del sulfato de potasio, se propone realizar la enmienda en la primera semana del mes octubre y en la cuarta semana de cada mes lluvioso, aplicar los macronutrientes solo una aplicación en este tiempo, esto lo indica (CENICAFÉ, 2017).

## 8. Conclusiones

Las condiciones del suelo del sector Guanga, corresponde a un suelo de formación Ciano Lutita, cuyo  $pH_{H_2O}$  es ligeramente ácido, la capacidad de intercambio catiónico es alta, materia orgánica es medianamente baja, dentro de sus características físicas se los define como suelos físicamente pobres.

Los elementos con mayor deficiencia que presentó la planta indicadora de tomate evaluado bajo invernadero a los 60 días después de la siembra fueron N, P, K.

Los nutrientes que no presentaron correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico de los siguientes elementos fueron el P, N, K, Cu, y B.

Las soluciones -Mg, -S, -Zn, -Mn, y -Fe presentaron correspondencia entre el peso de la biomasa en la evaluación biológica y la concentración del nutriente disponible del análisis químico.

El plan de fertilización propuesto para el sector Guanga corresponde a la aplicación de 238,52 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, 171,53 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de potasio, 83,33 kg ha<sup>-1</sup> de kieserita, 10,87 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de Zn, y 24,51 kg ha<sup>-1</sup> de B, distribuidos en 6 meses a en época de invierno.

## **9. Recomendaciones**

Principalmente se recomienda dar seguimiento con la investigación preliminar y aplicar el plan de fertilización en base al análisis químico y otro al análisis biológico para obtener resultados en producción y así deducir cual es más seguro y favorable para el sector agro.

Después de concluir el proyecto de investigación planteado se debería realizar un análisis químico al suelo con los tratamientos a los que fueron sometidos para observar el aporte de nutrientes.

Al realizar el plan de fertilidad se recomienda tomar en cuenta el ingrediente activo de los fertilizantes para así aumentar la disponibilidad en el mercado y variabilidad al acceso económico.

## 10. Bibliografía

- AgroEcuador, 2018. *Cultivo de café arábigo*, Quito - Ecuador: s.n.
- Aguirre, V., 2017. *Evaluación química y biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre andesita en el sector San Vicente de la parroquia Chuquiribamba, Cantón Olmedo.*, Loja : Universidad Nacional de Loja.
- Alemán, M., 2013. *Evaluación biológica de la fertilidad del suelo de la quinta experimental Punzara utilizando dos especies de pastos: Ray Grass (Lolium perenne) y Trébol Blanco (Trifolium repens)*, Loja: Universidad Nacional de Loja .
- Ambuludí, A., 2016. *Propuesta de turismo comunitario en la parroquia urbana del cantón Olmedo parte de la ruta del café, de la provincia de Loja.*, Loja: UIDE.
- Aranguren, J., Escalante, G. & Herrera, R., 1982. *Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees I.*, s.l.: Coffee Nitrogen cycling in ecosystems of Latin America and the Caribbean (pp. 247-258): Springer..
- Aucatoma, B., 2018. *Preparation and characterization of an internal soil reference material for the macroelements P, K, Ca and Mg extracted with Modified Olsen for analysis in sugarcane soils of the order Inceptisol, Entisol and Vertisol of the lower basin of the Guayas River*, s.l.: Espol.
- Avelino, J., Willocquet, L. & Savary, S., 2004. *Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics.*, s.l.: Plant pathology, 53(5), 541-547. .
- Axayacatl, O., 2022. *Estadísticas mundiales de producción de café.*, México : Blog Agricultura.
- Azcón, J. & Talón, M., 2008. *Fundamentos de fisiología vegetal*, s.l.: McGraw-Hill Interamericana.
- Babbar, L. & Zak, D., 1995. *Nitrogen loss from coffee agroecosystems in Costa Rica: leaching and denitrification in the presence and absence of shade trees (0047-2425).*, s.l.: s.n.
- Barradas, V. & Fanjul, L., 1986. *Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (Coffea arabica L.) plantations in Mexico.*, s.l.: Agricultural and Forest Meteorology, 38(1-3), 101-112..

- Bertsch, F., 1982. *Fertolity of nine soils classified as Typic Dystrandept in Costa Rica: Bertsch.*, s.l.: s.n.
- Bouajila, K. & Sanaa, M., 2011. *Effects of organic amendmets on soil physico-chemical and biological properties.* , s.l.: J. Mater. Environ. Sci, 2(1), 485-490. .
- Burneo, P., Valarezo, C., Villamagua, M. & Mora, M., 2012. *Evaluación biológica de la fertilidad actual de los suelos de un experimento de Pachaco (Schizolobium parahybum) y Melina (Gmelina arborea) tratados con biocarbón, cal y nutrientes en el sur de la Amazonía Ecuatoriana*, Loja: Universidad Nacional de Loja. / Universidad Politécnica Salesiana.
- Cabalceta, G. & Molina, E., 2006. *Niveles críticos de nutrimentos en suelos de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich 3.* , Costa Rica: Agronomía Costarricense, 30(2), 31-44. .
- Cadena, H., 2016. *Hablemos de riego (Segunda ed)*, Quito - Ecuador: El telegrafo EP. .
- Carrera, G., 2008. *Avances de los resultados de la estandarización metodológica en la red de laboratorios de análisis de suelos en Ecuador (RELASE).* , Quito - Ecuador, XI. : Congresos Ecuatoriano de la Ciencia del suelo.
- Castillo, F. & Salinas, J., 2014. *Correspondencia entre la evaluación biológica de la fertilidad actual de suelos de origen volcánico en la provincia de los Rios y Esmeraldas.*, Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Castillo, J. & Villavicencio, P., 2015. *Evaluación biológica y química Universidad Nacional de Loja*, s.l.: s.n.
- CENICAFÉ, 2017. *Fertilización de los cafetales: Fisiología, Nutrición y Fertilización del cafeto.* , Colombia: CENICAFÉ. pp 76 - 86.
- Chávez, F., 2011. *Determinación multielemental de macro y micro nutrientes catiónicos en suelos por espectroscopía de emisión por acoplamiento de plasma inductivo y detección óptica.*, s.l.: ICP - OES (Pontificia Universidad Católica del Ecuador). .
- De la Cruz, J., 2015. *Aplicación de bioestimulantes en plantas de café (Coffea arabica L.)*, s.l.: En vivero, en la zona del Cantón Mocache. Quevedo: UTEQ. .

- Dechen, A. & N. G., 2006. *Micronutrientes. Nutrição mineral de plantas. Viçosa*., s.l.: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 327-354. .
- Enríquez, G. & Duicela, D., 2014. *Guía técnica para la producción y poscosecha de café arábigo*., s.l.: s.n.
- Fahl, J., Carelli, M., Vega, J. & Magalhães, A., 1994. *Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (Coffea arabica L.)*. , s.l.: Journal of Horticultural Science, 69(1), 161-169. .
- FAO, 2019. *Propiedades físicas y químicas del suelo*, s.l.: s.n.
- Fassbender, H., 1982. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*., San José. Costa Rica. 398 p.: Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA).
- Franca, A., Mendonça, J. & Oliveira, S., 2005. *Composition of green and roasted coffees of different cup qualities*. , s.l.: LWT-Food Science and Technology, 38(7), 709-715..
- GAD, 2019. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Olmedo*, Olmedo - Loja : Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Olmedo 2019 - 2023..
- Galicia, C., 2018. *Effect of calcium in conventional fertilization on coffee seedlings in nursery*. , s.l.: s.n.
- Galindo, F., 1991. *Capacidad de intercambio catiónico y aniónico, bases de cambio y saturaciones. Rn fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego*. , Bogotá. pp 164 - 185: SCCS.
- Galvis, J. & Ballesteros, M., 2006. *Quality parameters evaluation for the determination of available phosphorous in soils*., Colombia: Revista Colombiana de Química, 35(1). .
- Garrido, S., 2006. *Interpretación de Analisis de suelos: Guia práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis*, Madrid: Ministerio de Agricultura pesaca y Alimentacion/ Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario, LS.B.N.: 84-341-0810-0. N.L.P.O.: 253-94007-5 - Depósito legal: M. 29.238-1994 ( 40.000 ejemplares). .
- Gaspar, A., 2023. *Saturacion de bases y Capacidad de Intercambio Catiónico* , España: CORTEVA Agriscience.

- Guerrero, M., 2017. *Rendimiento de café en grano seco en el Ecuador*, s.l.: Coordinación General del Sistema de Información Nacional-Navarro de Agricultura y Ganadería . .
- Guerrero, R., 1991. *La acidez del suelo: Su naturaleza, sus implicaciones y su manejo*. En: *Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego*., Bogotá. pp 141-163: SCCS.
- Henriquez, C., Bertsch, F. & Salas, R., 1995. *Fertilidad de suelos: Manual de laboratorio*., San José, Costa Rica.: Asociación Costarricense Ciencias del Suelo..
- Hergoualc'h, K. y otros, 2009. *The utility of process-based models for simulating N<sub>2</sub>O emissions from soils: A case study based on Costa Rican coffee plantations*. , s.l.: Soil Biology and Biochemistry, 41(11), 2343-2355.
- Herrán, J. y otros, 2008. *Importancia de los abonos orgánicos*, s.l.: Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible, 4(1), 57-68..
- Hillel, D., 2004. *Introduction to Environmental Soil Physics*., s.l.: s.n.
- IICA, 2019. *Manual de producción sostenible de café*, Retrieved from Santo Domingo, República Dominicana : s.n.
- Iñiguez, M., 2010. *Fertilidad, fertilizantes y fertilización del suelo*., Loja: s.n.
- Jaramillo, D., 2002. *Introducción a la Ciencia del Suelo*, Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Keller, T. & Hakansson, I., 2010. *Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content*., s.l.: Geoderma 154: 398-406.
- Kouadio, L. y otros, 2018. *Artificial intelligence approach for the prediction of Robusta coffee yield using soil fertility properties*. , s.l.: Computers and electronics in agriculture, 155, 324-338. .
- León, G. y otros, 2011. *Edafología 1*, Caldas - Colombia: Espacio Gráfico Comunicaciones S.A. Universidad de Caldas. Primera Edición .
- Loaiza, G., 2013. *Evaluación biológica de la fertilidad del suelo desarrollado sobre granodiorita, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el sur de la Amazonía Ecuatoriana*, Loja: Universidad Nacional de Loja.

- López, A., 2007. *Manual de Edafología* , Sevilla: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química, Agrícola de la Universidad de Sevilla.
- Luna, C., 2006. *Aumento de la Productividad de Caña de Azúcar por Unidad de Área Cultivada*, s.l.: TECNICAÑA – Asociación de Técnicos Cultivadores de Caña. 19 págs..
- MAGAP, 2022. *MAGAP renovó 1580 hectareas de café*, Loja - Ecuador : Ministerio de Agricultura y Ganadería .
- Mendoza, O., 2013. *Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre arenisca cuarzosa, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en San Francisco - El Pangui*, Loja: Universidad Nacional de Loja. .
- Mendoza, R. & Espinoza, A., 2018. *Guía técnica para muestreo de suelos.* , s.l.: Retrieved from Managua, Nicaragua: .
- Meneses, J. & Urrutia, S., 2021. *Desarrollo de una red de sensores para monitoreo de macronutrientes primarios para cultivo de café aplicado a un caso de estudio en Tecnicafé.* , Colombia: Uniautónoma del Cauca. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería.
- Molina, A. y otros, 2019. *Porcentaje de saturación de bases*, s.l.: s.n.
- Molina, E., 2007. *Análisis de suelos y su interpretación*, San José, CR: CIA-UCR-Amino Grow International. .
- Molina, E. & Cabalceta, G., 1990. *Correlación de diferentes soluciones extractoras en Vertisoles y Ultisoles de Costa Rica.*, Costa Rica: Agronomía Costarricense, 14(1), 37-44..
- Motta, M. e. a., 1990. *Métodos analíticos del laboratorio de suelos.*, Bogotá. 502 p.: 5ª. Ed. IGAC. .
- Naranjo, D., 2017. *Effects of minor elements on the productivity of coffee (Coffea arabica L.) in the Colombian coffee zone.* , Colombia : s.n.
- Navarro, G. & Navarro, S., 2013. *Química agrícola. Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas.*, s.l.: Ediciones Mundi Prensa. Tercera Edición. .
- Norman, S., 2008. *Agrocadena de café.* , s.l.: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección Regional Huetar Norte. .

- Ortíz, K., 2022. *Estudio morfológico de tres genotipos de café arábica (Coffea arábica) a la aplicación de diferentes láminas de riego*, Jipijapa. UNESUM : s.n.
- Orús, A., 2021. *Ranking de los principales productores de café a nivel mundial en 2021*, s.l.: statista.
- Orús, A., 2023. *Ranking de los principales productores de café a nivel mundial en 2022*, s.l.: statista.
- Pantzay, J., León, E., Galindo, A. & Sánchez, A., 2000. *Evaluación de soluciones extractoras en la fertilidad de los suelos para las regiones fisiográficas: Llanura costera del pacífico pendiente volcánica reciente de Guatemala.*, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. .
- Peech, M., 1947. *Methods of soil analysis for soil-fertility investigations*., s.l.: US Department of Agriculture. .
- Perdomo, C., 2022. *Interpretando un análisis de suelo.*, s.l.: s.n.
- Perdoná, M. & Soratto, R., 2020. *Arabica coffee–macadamia intercropping: Yield and profitability with mechanized coffee harvesting.* , s.l.: Agronomy Journal, 112(1), 429-440. .
- Pérez, F., 2017. *Nutrición Mineral: Fisiología Vegetal*. III ed. Perú: Mineral nutrition of higher plants.
- Qian, P., Schoenaru, J. & Karamanos, R., 1994. *Simultaneous extraction of available phosphorus and potassium with a new soil test: A modification of Kelowna extraction.*, s.l.: Communications in Soil Science and Plant Analysis, 25(5-6), 627-635. .
- Quisbert, S., 2019. *Evaluation of the missing element in the cultivation of quinoa (Chenopodium quinoa willd.) in intersalar soils at the Cota Cota Experimental Station.* , s.l.: s.n.
- Ramírez, V., Moreno, A. & López, J., 2013. *Early evaluation of nitrogen deficiency in coffee and applications (0120-0178).* , s.l.: s.n.
- Reinoso, F., 2011. *Riegos y drenajes* , Loja, Ecuador: (Vol. Unidad 3).
- RELASE, 2016. *me de hestión correspondiente al año 2015.*, s.l.: s.n.

- Rogel, S., 2021. *Evaluación biológica de fertilidad del suelo en el sector Cucanamá Alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba*, Loja: Universidad Nacional de Loja..
- Rojo, E. & Pérez, E., 2015. *Café I (G. Coffea)*., s.l.: Ene, 8, 42. .
- Sadeghian, S., 2017. *Síntomas visuales de deficiencias nutricionales en café Diagnóstico y manejo*. , Manizales, Caldas, Colombia. : Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé.
- Sadeghian, S., 2020. *Corrección de la acidez del suelo: Efectos en el crecimiento inicial de café*., s.l.: Revista Cenicafé, 71-1, 21-31.
- Salinas, J. & García, R., 1985. *Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras*: , s.l.: CIAT.
- Salisbury, F. & Ross, C., 2000. *Physiology. vegetable*., s.l.: Biochemistry. vegetable. .
- Sánchez, K., 2019. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Olmedo*, Olmedo - Loja- Ecuador: s.n.
- Sánchez, P., 1981. *Suelos del trópico: Características y manejo*, San José. Costa Rica. 534p: IICA.
- Sanchez, P. & Camacho, E., 1981. *Suelos del trópico: características y manejo*, s.l.: IICA - Biblioteca Venezuela. .
- Schulz, W. & Bray, L., 1987. *Solvent extraction recovery of byproduct <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr from HNO<sub>3</sub> solutions—a technology review and assessment*., s.l.: Separation Science and Technology, 22(2-3), 191-214. .
- Tandazo, K., 2019. *Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Chaguarpamba y Lozumbe*, Loja: Universidad Nacional de Loja .
- Toboada, A., 2007. *Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa*., s.l.: Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Fac. de Agronomía UBA..
- Toro, H., Suárez, S., Guerrero, R. & Zapata, H., 1995. *Evaluation of the availability of magnesium in two soils of the coffee zone through indices related to the factors quantity and intensity*. , Colombia : Equatorial Soils..

Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L. & Guaya, P., 1998. *Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador*, Loja: Gráfica Cosmos.

Valarezo, L., 2017. *Evaluación física de los suelos de la zona de riego La Dolorosa. Capacitación en el uso y manejo de los recursos suelo y agua a los usuarios del sistema de riego Aguarongo de la parroquia Chuquiribamba del cantón Loja.* , Loja: Proyecto de vinculación con la sociedad..

Valarezo, L. & Valarezo, C. M. M., 2021. *Producción Agropecuaria Sostenible en suelos arcillosos del piso temperado andino del Sur del Ecuador. Caso sistema de riego Santiago*, Cuenca, Ecuador : Universidad Nacional de Loja .

Valencia, G. & Carillo, I., 1983. *Interpretación de análisis de suelos para café.* , Chinchiná. 6 p.: Avances técnicos Cenicafé No. 115. Federacafé. .

Valkila, J., 2009. *Fair Trade organic coffee production in Nicaragua—Sustainable development or a poverty trap?* , s.l.: Ecological economics, 68(12), 3018-3025. .

Van der Vossen, H., 2005. *A critical analysis of the agronomic and economic sustainability of organic coffee production.* , s.l.: Experimental agriculture, 41(4), 449-473..

Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M., 2017. *Fundamentos de la Ingeniería de Riegos*, Lima, Perú: Q&P Impresores S.R.L.

Velasquez, S., 2019. *Evaluación del elemento faltante en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en suelos del intersolar en la estación experimental de Cota Cota*, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.

Villamagua, M. y otros, 2021. *Efecto del encalado sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del cafeto (Coffea arabica L.) en Pueblo Nuevo, catón Loja, Ecuador.*, Loja: Bosques Latitud Cero, 11(1), 166-180.

Vinecky, F. D. F. y otros, 2017. *Controlled irrigation and nitrogen, phosphorous and potassium fertilization affect the biochemical composition and quality of arabica Coffee beans.*, s.l.: The Journal of Agricultural Science, 155(6), 902-918. .

Vogt, M., 2021. *Agricultural wilding: rewilding for agricultural landscapes through an increase in wild productive systems.*, s.l.: Journal of Environmental Management, 284, 112050. .

Zambrano, P., 2019. *Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Consapamba y Pueblo Nuevo de los cantones Espíndola y Loja*, Loja: Universidad Nacional de Loja .

Zhunaula, W., 2016. *Evaluación química y biológica de la fertilidad actual de un suelo, desarrollado sobre Andesita en el sistemas de riego La Era, cantón Catamayo*, Loja: Universidad Nacional de Loja.

## 11. Anexos

**Anexo 1.** *Recolección de los 7 kg de suelo, a 25 cm de profundidad.*



**Anexo 2.** *Resultados de los análisis químicos del suelo.*



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"  
 LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS  
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24  
 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<b>DATOS DEL PROPIETARIO</b>			<b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b>			<b>PARA USO DEL LABORATORIO</b>		
Nombre	: LIMA YUPANQUI KARINA	Nombre	: S/N	Cultivo Actual	: Café			
Dirección	: LOJA / LOJA	Provincia	: Loja	N° Reporte	: 10684			
Ciudad	: LOJA	Cantón	: Olmedo	Fecha de Muestreo	: 23/2/2023			
Teléfono	: 0969492752	Parroquia	: Guanga	Fecha de Ingreso	: 27/2/2023			
Fax	: karina.lima@unl.edu.ec	Ubicación	: Guanga	Fecha de Salida	: 10/3/2023			

N° Muest. Laborat.	Datos del Lote		pH	ppm			meq/100ml			ppm					
	Identificación	Area		NH <sub>4</sub>	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	
109428	Muestra 1		6,1	LAc	33 M	9 B	0,13 B	12 A	3,2 A	13 M	3,3 M	9,3 A	114 A	59,4 A	0,21 B
109429	Muestra 2		6,1	LAc	27 M	9 B	0,13 B	13 A	3,1 A	14 M	3,4 M	9,7 A	131 A	63,7 A	0,24 B
109430	Muestra 3		6,5	LAc	22 M	8 B	0,11 B	13 A	3,4 A	14 M	4,0 M	10,8 A	112 A	51,9 A	0,22 B



La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados

<b>INTERPRETACION</b>				<b>Elementos de N a B</b>		<b>METODOLOGIA USADA</b>			<b>EXTRACTANTES</b>		
pH				B = Bajo		pH = Suelo: agua (1:2,5)			Olsen Modificado		
MAc = Muy Acido	LAc = Liger. Acido	LS = Lige. Alcalino	RC = Requiere Cal	M = Medio	N,P,B = Colorimetría			N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn			
Ac = Acido	PN = Prac. Neutro	MA = Media. Alcalino	A = Alto	S = Turbidimetría			Fosfato de Calcio Monobisico				
MAc = Media. Acido	N = Neutro	Al = Alcalino	K,Ca,Mg,Cu,Fr,Na,Zn = Absorción atómica			BS					

*x. W. [Signature]*  
 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS

*+ [Signature]*  
 RESPONSABLE LABORATORIO



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"  
 LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS  
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24  
 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<b>DATOS DEL PROPIETARIO</b>			<b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b>			<b>PARA USO DEL LABORATORIO</b>		
Nombre	: LIMA YUPANQUI KARINA	Nombre	: S/N	Cultivo Actual	: Café			
Dirección	: LOJA / LOJA	Provincia	: Loja	N° de Reporte	: 10684			
Ciudad	: LOJA	Cantón	: Olmedo	Fecha de Muestreo	: 23/2/2023			
Teléfono	: 0969492752	Parroquia	: Guanga	Fecha de Ingreso	: 27/2/2023			
Fax	: karina.lima@unl.edu.ec	Ubicación	: Guanga	Fecha de Salida	: 10/3/2023			

N° Muest. Laborat.	meq/100ml			dS/m (%)		Ca Mg		Ca+Mg		meq/100ml		(meq/l)½		ppm		Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na	C.E.	M.O.	Mg	K	K	Σ Bases	RAS	Cl	Arena	Limo	Arcilla					
109428					4,3 M	3,7	24,62	116,92	15,33			14	38	48	Arcilloso				
109429					4,3 M	4,1	23,85	123,85	16,23			8	34	58	Arcilloso				
109430					4,5 M	3,8	30,91	149,09	16,51			12	34	54	Arcilloso				



La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados

<b>INTERPRETACION</b>			<b>ABREVIATURAS</b>			<b>METODOLOGIA USADA</b>		
Al+H, Al y Na			C.E. = Conductividad Eléctrica			C.E. = Conductímetro		
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	M.O. = Materia Orgánica			M.O. = Titulación de Welkley Blue		
M = Medio	LS = Lig. Salino	MES = Muy Salino	RAS = Relación de Adsorción de Sodio			Al+H = Titulación con NaOH		
T = Tóxico								

*x. W. [Signature]*  
 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUA

*+ [Signature]*  
 RESPONSABLE LABORATORIO

**Anexo 3.** Instalación del ensayo para la evaluación biológica, con las muestras recolectadas del sector de estudio, en el invernadero ubicado en la cerca del laboratorio de suelos de la Universidad Nacional.



**Anexo 4.** *Resultados de los análisis de capacidad de campo a una presión de 1/10 y 1/3 de atmosfera, punto de marchitez permanente y la densidad aparente de los dos primeros horizontes de los distintos perfiles de suelo.*



**REPORTE CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO**  
**INFORME DE ENSAYO No: 23-0145**

DATOS DEL PROPIETARIO	
NOMBRE DEL CLIENTE:	Mendoza cabrera Luis Alberto
PETICIONARIO:	Mendoza cabrera Luis Alberto
EMPRESA / INSTITUCIÓN:	Mendoza cabrera Luis Alberto
DIRECCIÓN:	San pedro
E-MAIL:	mendozaorcchids@yahoo.es

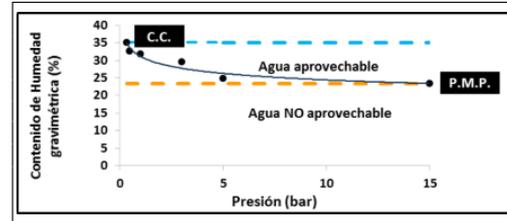
DATOS DE LA PROPIEDAD	
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	14/04/2023
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	14:32
FECHA DE ANÁLISIS:	17/04/2023
FECHA DE EMISIÓN:	09/05/2023
ANÁLISIS	CRH
SOLICITADO:	

Nº LABORATORIO: 23-0911

IDENTIFICACIÓN: ApPIG

Presión (bar)	Humedad gravimétrica	Unidad
0.33	35.0	%
0.50	32.5	%
1.00	31.7	%
3.00	29.6	%
5.00	24.8	%
15.00	23.4	%
CC	35.0	%
PMP	23.4	%

Determinación	Valor	Unidad
Da		g/cc
MO		%
Hg		%
Hv		%
TEXTURA		
Arena	Limo	Arcilla
Clase textural		



**Simbología**  
PS: Punto de saturación. CC: Capacidad de campo. PMP: Punto Marchitez Permanente. Da: Densidad aparente. MO: Materia Orgánica. g/cc: Gramos sobre centímetro cúbico. %: Porcentaje. A: Alto; M: Medio; B: Bajo Hg: Humedad gravimétrica. Hv: Humedad volumétrica.

**Metodología**  
Curva de retención de humedad (CRH): Ollas de presión de Richards. P.S: Pasta de saturación. Textura: Bouyoucos. M.O: Combustión - TOC

Humedad Aprovechable (H.A.) Es la humedad entre Capacidad de Campo (CC) 0.33 bares y el Punto de Marchitez Permanente (PMP) 15 bares.



**REPORTE CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO**  
**INFORME DE ENSAYO No: 23-0145**

DATOS DEL PROPIETARIO	
NOMBRE DEL CLIENTE:	Mendoza cabrera Luis Alberto
PETICIONARIO:	Mendoza cabrera Luis Alberto
EMPRESA / INSTITUCIÓN:	Mendoza cabrera Luis Alberto
DIRECCIÓN:	San pedro
E-MAIL:	mendozaorcchids@yahoo.es

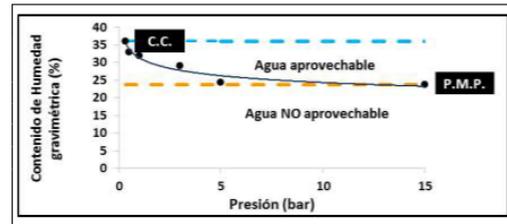
DATOS DE LA PROPIEDAD	
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	14/04/2023
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	14:32
FECHA DE ANÁLISIS:	17/04/2023
FECHA DE EMISIÓN:	09/05/2023
ANÁLISIS	CRH
SOLICITADO:	

Nº LABORATORIO: 23-0912

IDENTIFICACIÓN: ApP2G

Presión (bar)	Humedad gravimétrica	Unidad
0.33	36.0	%
0.50	32.9	%
1.00	31.8	%
3.00	29.1	%
5.00	24.4	%
15.00	23.6	%
CC	36.0	%
PMP	23.6	%

Determinación	Valor	Unidad
Da		g/cc
MO		%
Hg		%
Hv		%
TEXTURA		
Arena	Limo	Arcilla
Clase textural		



**Simbología**  
PS: Punto de saturación. CC: Capacidad de campo. PMP: Punto Marchitez Permanente. Da: Densidad aparente. MO: Materia Orgánica. g/cc: Gramos sobre centímetro cúbico. %: Porcentaje. A: Alto; M: Medio; B: Bajo Hg: Humedad gravimétrica. Hv: Humedad volumétrica.

**Metodología**  
Curva de retención de humedad (CRH): Ollas de presión de Richards. P.S: Pasta de saturación. Textura: Bouyoucos. M.O: Combustión - TOC

Humedad Aprovechable (H.A.) Es la humedad entre Capacidad de Campo (CC) 0.33 bares y el Punto de Marchitez Permanente (PMP) 15 bares.

**REPORTE CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO**  
**INFORME DE ENSAYO No: 23-0145**

DATOS DEL PROPIETARIO	
NOMBRE DEL CLIENTE:	Mendoza cabrera Luis Alberto
PETICIONARIO:	Mendoza cabrera Luis Alberto
EMPRESA / INSTITUCIÓN:	Mendoza cabrera Luis Alberto
DIRECCIÓN:	San pedro
E-MAIL:	mendozaorcchids@yahoo.es

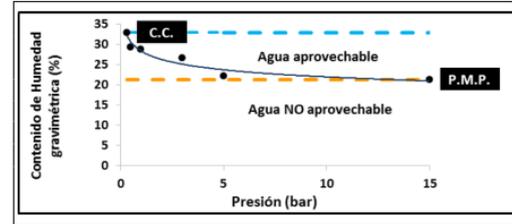
DATOS DE LA PROPIEDAD	
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	14/04/2023
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	14:32
FECHA DE ANÁLISIS:	17/04/2023
FECHA DE EMISIÓN:	09/05/2023
ANÁLISIS:	CRH
SOLICITADO:	

Nº LABORATORIO: 23-0913

IDENTIFICACIÓN: AEP1G

Presión (bar)	Humedad gravimétrica	Unidad
0.33	33.0	%
0.50	29.3	%
1.00	28.8	%
3.00	26.8	%
5.00	22.3	%
15.00	21.3	%
CC	33.0	%
PMP	21.3	%

Determinación	Valor	Unidad
Da		g/cc
MO		%
Hg		%
Hv		%
TEXTURA		
Arena	Limo	Arcilla
Clase textural		



**Simbología**  
 PS: Punto de saturación. CC: Capacidad de campo. PMP: Punto Marchitez Permanente. Da: Densidad aparente. MO: Materia Orgánica. g/cc: Gramos sobre centímetro cúbico. %: Porcentaje. A: Alto; M: Medio; B: Bajo Hg: Humedad gravimétrica. Hv: Humedad volumétrica.

**Metodología**  
 Curva de retención de humedad (CRH): Ollas de presión de Richards. P.S: Pasta de saturación. Textura: Bouyoucos. M.O: Combustión - TOC

Humedad Aprovechable (H.A.) Es la humedad entre Capacidad de Campo (CC) 0.33 bares y el Punto de Marchitez Permanente (PMP) 15 bares.

**REPORTE CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO**  
**INFORME DE ENSAYO No: 23-0145**

DATOS DEL PROPIETARIO	
NOMBRE DEL CLIENTE:	Mendoza cabrera Luis Alberto
PETICIONARIO:	Mendoza cabrera Luis Alberto
EMPRESA / INSTITUCIÓN:	Mendoza cabrera Luis Alberto
DIRECCIÓN:	San pedro
E-MAIL:	mendozaorcchids@yahoo.es

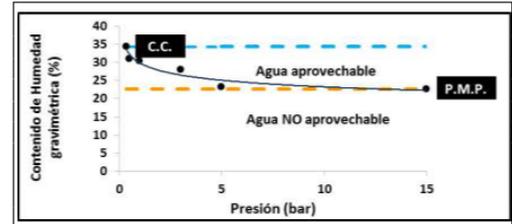
DATOS DE LA PROPIEDAD	
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	14/04/2023
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	14:32
FECHA DE ANÁLISIS:	17/04/2023
FECHA DE EMISIÓN:	09/05/2023
ANÁLISIS:	CRH
SOLICITADO:	

Nº LABORATORIO: 23-0914

IDENTIFICACIÓN: AEP2G

Presión (bar)	Humedad gravimétrica	Unidad
0.33	34.3	%
0.50	31.0	%
1.00	30.3	%
3.00	28.1	%
5.00	23.3	%
15.00	22.4	%
CC	34.3	%
PMP	22.4	%

Determinación	Valor	Unidad
Da		g/cc
MO		%
Hg		%
Hv		%
TEXTURA		
Arena	Limo	Arcilla
Clase textural		



**Simbología**  
 PS: Punto de saturación. CC: Capacidad de campo. PMP: Punto Marchitez Permanente. Da: Densidad aparente. MO: Materia Orgánica. g/cc: Gramos sobre centímetro cúbico. %: Porcentaje. A: Alto; M: Medio; B: Bajo Hg: Humedad gravimétrica. Hv: Humedad volumétrica.

**Metodología**  
 Curva de retención de humedad (CRH): Ollas de presión de Richards. P.S: Pasta de saturación. Textura: Bouyoucos. M.O: Combustión - TOC

Humedad Aprovechable (H.A.) Es la humedad entre Capacidad de Campo (CC) 0.33 bares y el Punto de Marchitez Permanente (PMP) 15 bares.

**Anexo 5. Elaboración de las soluciones madre**



**Anexo 6.** *Vegetación del sistema agroforestal del sector Guanga.*



**Anexo 7.** *Identificación del material geológico del sector guanga en el laboratorio de rocas de la Universidad Nacional de Loja.*



**Anexo 8.** *Descripción del perfil del suelo en el SAF con café variedad caturra (Perfil 1).*

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

“Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café en el sector Guanga perteneciente al Cantón Olmedo”

**FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS**

**Código:** P1G **Fecha:** 03/02/2023 **Autor:** Carlos Valarezo, Miguel Villamagua, Pedro Guaya, Karina Lima **Sitio:** Guanga

**Altitud (msnm.):** 1578 **Coordenadas:** 9567381 E 649222S

**Paisaje** (valle, planicie, altiplanicie, pie de monte, colina, montaña)

**Tipo de relieve:** vega, llanura aluvial, terraza, loma, vertiente cresta, viga.

**Forma del Terreno:** Pendiente recta, convexo, cóncavo.

**Pendiente 11 %**

**Uso Actual o cobertura vegetal:** banano + guaba + café

**Condiciones de Humedad:** (seco, húmedo, saturado). **Pedregosidad superficial:** 0 %

**Material parental:** Andesita según identificación en el laboratorio de rocas y Formación Ciano según la carta geológica.

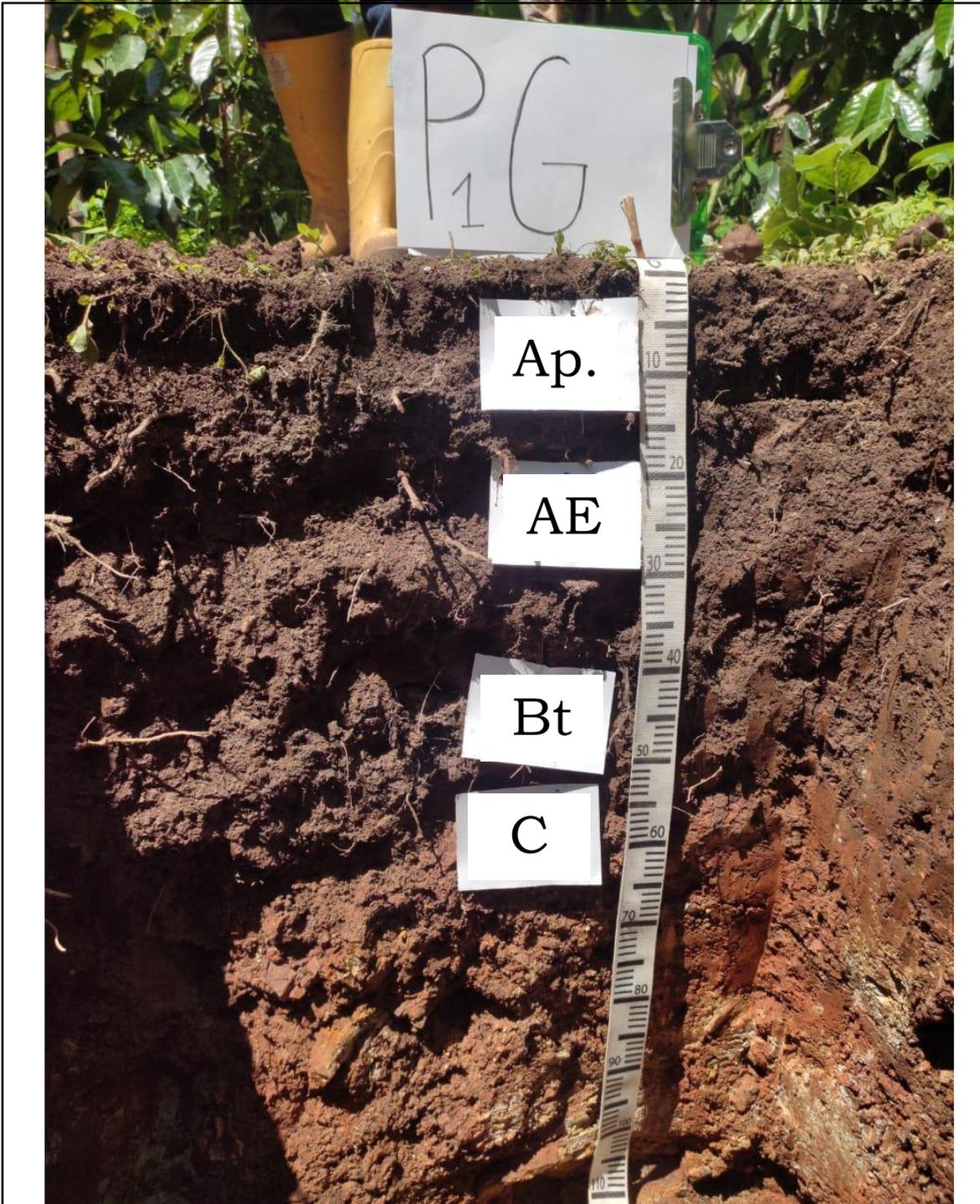
**Presencia de Sales o Álcalis No**

**Drenaje:** muy pobre; pobre; algo pobre, moderado, bueno, excesivo

#### **DESCRIPCION GENERAL DEL PERFIL**

Suelo profundo formado por un horizontal Ap. de 15 cm de espesor, un horizonte AE de 15 cm, un Bt de 30 cm de espesor y finalmente un horizonte C de 10 cm.

Y la roca en proceso de meteorización. Las raíces se distribuyen uniformemente hasta 30cm, siendo más abundante en Ap. El suelo tiene buen drenaje y los colores son uniformes y continuos.



**Ap.** 00-15 cm, presenta una textura franco limoso, un color pardo oscuro (7.5YR 3/3) en color húmedo, estructura con grado desarrollado tipo granular con tamaño muy fina, cuya consistencia es ligeramente adherente y plástico además de presentar una cohesión friable. Conjuntamente se evidencia presencia abundante de raíces finas, medias y gruesas. Dentro del límite horizontal se presenta un ancho brusco y topografía plana.

**AE.** 15 – 30cm, presenta una textura franco arcillo limoso, un color marrón oscuro (7.5YR 3/3) en color húmedo, estructura con grado moderado tipo bloque subangular con tamaño medio fina, cuya consistencia es ligeramente adherente y plástico además de presentar una cohesión friable. Conjuntamente se evidencia presencia común de

raíces finas, medias y gruesas. Dentro del límite horizontal se presenta un ancho brusco y topografía plana.

**Bt. 30 – 60cm**, presenta una textura arcillo limoso, un color marrón oscuro (7.5YR 3/3) en color húmedo, estructura con grado desarrollado tipo bloque subangular con revestimiento de arcilla cuyo tamaño correspondiente a grande gruesa, cuya consistencia es muy adherente y muy plástico además de presentar una cohesión friable. Conjuntamente se evidencia poca presencia de raíces finas y medias. Dentro del límite horizontal se presenta un ancho neto y topografía ondulado.

**C. 60 – 70cm**, presenta una textura arcilloso, un color marrón oscuro (7.5YR 4/4) en color húmedo, estructura con grado desarrollado tipo bloque subangular con revestimiento de arcilla tamaño medio, cuya consistencia es muy adherente y muy plástico además de presentar una cohesión firme. Conjuntamente no se evidencia presencia de raíces.

**Anexo 9.** Descripción del perfil del suelo en el SAF con café variedad caturra (Perfil 2).

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

“Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café en el sector Guanga perteneciente al Cantón Olmedo”

**FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS**

**Código:** P2G **Fecha:** 03/02/2023 **Autor:** Carlos Valarezo, Miguel Villamagua, Pedro Guaya, Karina Lima **Sitio:** Guanga

**Altitud (msnm.):** 1582 **Coordenadas:** 246210 E 9567396 S

**Paisaje** (valle, planicie, altiplanicie, pie de monte, colina, montaña)

**Tipo de relieve:** vega, llanura aluvial, terraza, loma, vertiente cresta, viga.

**Forma del Terreno:** Pendiente recta, convexo, cóncavo.

**Pendiente** 28 %

**Uso Actual o cobertura vegetal:** banano + cítricos + achiote + café

**Condiciones de Humedad:** (seco, húmedo) saturado). **Pedregosidad**

**superficial:** 0 %

**Material parental:** Andesita según identificación en el laboratorio de rocas y Formación Ciano según la carta geológica.

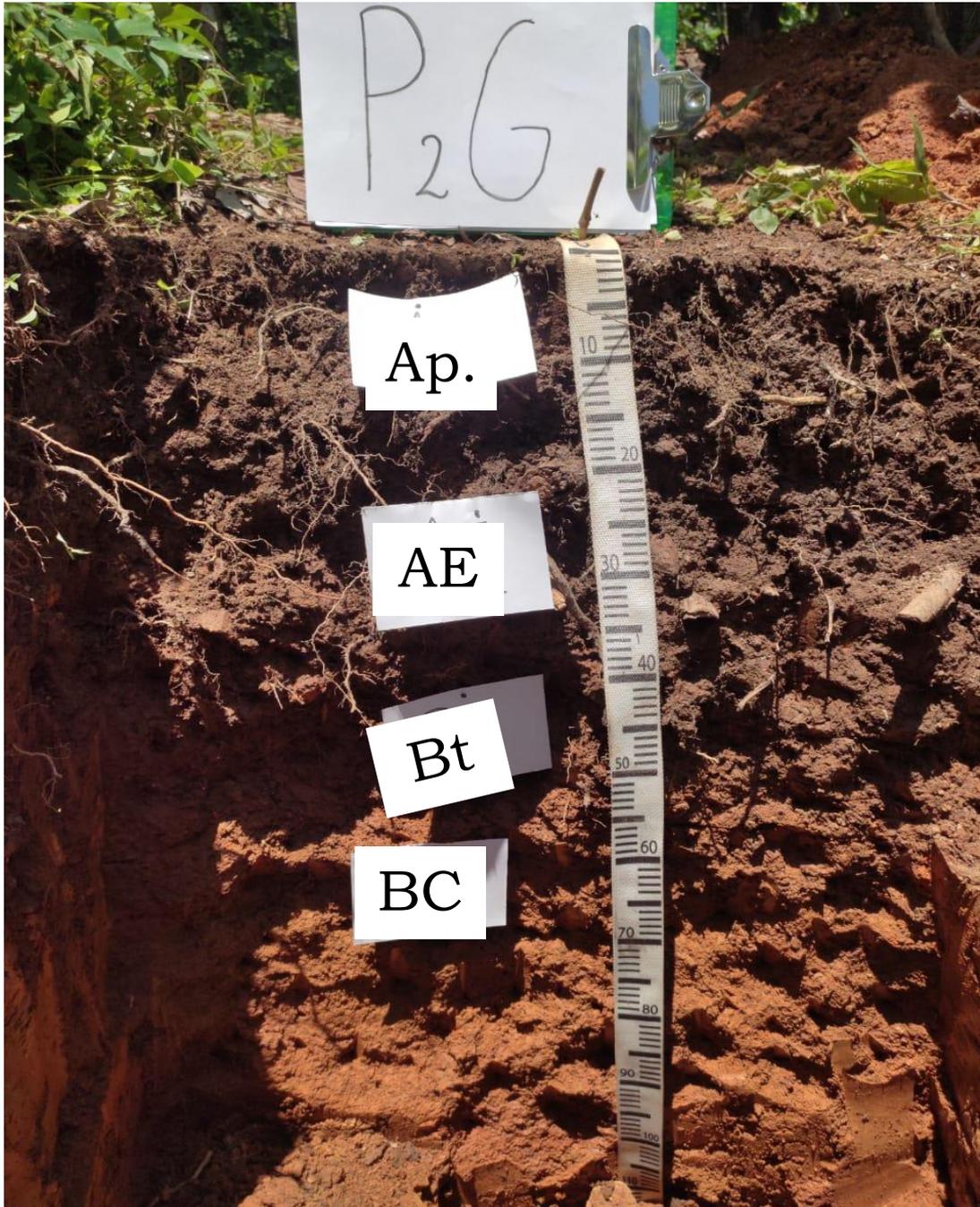
**Presencia de Sales o Alcalis** No

**Drenaje:** muy pobre; pobre; algo pobre, moderado, bueno, excesivo

**DESCRIPCION GENERAL DEL PERFIL**

Suelo muy profundo formado 4 horizontes, el superior Ap. de 20 cm de espesor, con raíces finas, medias, abundantes, un horizontes AE de 15 cm de espesor, un horizonte Bt de 20 cm de espesor, un horizonte Bc que se extiende hasta más profundo. El suelo está bien drenado internas raíces finas y pocas, se observan hasta 60 cm de profundidad, las raíces son comunes en el horizonte AE.

La denominación del horizonte AE, porque se observa un tanto desnudas pocas piedras de 4 a 5cm.



**Ap.** 00 – 20cm, presenta una textura franco limoso, un color marrón oscuro (10YR 3/4) en color húmedo, estructura con grado desarrollado tipo granular con tamaño muy fina, cuya consistencia es ligeramente adherente y plástico además de presentar una cohesión friable. Conjuntamente se evidencia presencia abundante de raíces finas y medias. Dentro del límite horizontal se presenta un ancho brusco y topografía plana.

**AE.** 20 – 35cm, presenta una textura franco arcillo limoso, un color marrón oscuro (10YR 4/4) en color húmedo, estructura con grado moderado tipo bloque subangular con tamaño medio fina, cuya consistencia es adherente y plástico

además de presentar una cohesión friable. Conjuntamente se evidencia poca presencia de raíces finas. Dentro del límite horizontal se presenta un ancho brusco y topografía plana.

**Bt.** 35 – 60cm, presenta una textura arcillo limoso, un color marrón amarillento oscuro (10YR 4/6) en color húmedo, estructura con grado desarrollado tipo bloque subangular medios y finos cuyo tamaño correspondiente a grande gruesa, cuya consistencia es adherente y plástico además de presentar una cohesión firme. Conjuntamente se evidencia muy poca presencia de raíces finas. Dentro del límite horizontal se presenta un ancho neto y topografía plano.

**BC.** >60, presenta una textura arcillo limoso, un color marrón fuerte (75YR 5/8) en color húmedo, estructura con grado desarrollado tipo bloque subangular con revestimiento de arcilla tamaño grande moderado, cuya consistencia es adherente y plástico además de presentar una cohesión firme. Conjuntamente no se evidencia presencia de raíces.

**Anexo 10.** *Tabla de valores promedio de biomasa seca de la planta de tomate en gr de las 3 distintas pendientes de 11 %, 15 % y 28 %,*

Solución	Pendiente	Biomasa seca			Media
		P1	P2	P3	
SC	11	3.90	5.70	8.50	6.03
SC	15	5.00	6.90	6.30	6.07
SC	28	7.00	6.50	5.90	6.47
-N	11	0.23	0.22	0.23	0.23
-N	15	0.18	0.29	0.37	0.28
-N	28	0.28	0.28	0.28	0.28
-P	11	0.03	0.02		0.03
-P	15	0.14	0.18	0.06	0.13
-P	28	0.07	0.07	0.10	0.08
-K	11	3.70	3.10	3.70	3.50
-K	15	3.40	3.90	4.40	3.90
-K	28	3.20	3.20	4.90	3.77
-Mg	11	4.90	5.80	4.80	5.17
-Mg	15	4.90	5.30	2.10	4.10
-Mg	28	6.10	7.10	5.70	6.30
-S	11	3.10	4.50	4.60	4.07
-S	15	4.60	4.70	4.00	4.43
-S	28	4.70	4.70	5.40	4.93
-Zn	11	3.90	4.20	5.00	4.37
-Zn	15	3.50	5.20	4.20	4.30
-Zn	28	4.20	5.50	5.50	5.07
-Mn	11	4.30	4.70	4.80	4.60
-Mn	15	3.70	4.90	4.90	4.50
-Mn	28	4.10	5.50	5.50	5.03

<b>-Cu</b>	11	1.10	5.10	5.90	4.03
<b>-Cu</b>	15	3.80	4.20	3.80	3.93
<b>-Cu</b>	28	3.10	3.40	5.00	3.83
<b>-Fe</b>	11	7.00	4.60	5.10	5.57
<b>-Fe</b>	15	4.70	7.20	4.70	5.53
<b>-Fe</b>	28	6.10	6.10	6.50	6.23
<b>-B</b>	11	3.50	5.30	4.80	4.53
<b>-B</b>	15	3.40	6.20	5.60	5.07
<b>-B</b>	28	6.10	6.50	6.10	6.23
<b>Testigo</b>	11	0.02	0.02		0.02
<b>Testigo</b>	15	0.13	0.22	0.23	0.19
<b>Testigo</b>	28	0.11	0.11	0.23	0.15

**Anexo 11.** Cálculos para determinar la cantidad de concentración de nutrientes en cada solución.

*Solución completa (SC)*

Para el cálculo del requerimiento de N se utilizaron tres sales: nitrato de calcio [(CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O], nitrato de potasio [KNO<sub>3</sub>] y molibdato de amonio tetrahidratado [(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(Mo<sub>7</sub>O)<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O].

Propiedades	Sales minerales			Ver
	(CaNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	KNO <sub>3</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (Mo <sub>7</sub> O) <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O	
Peso molecular (g)	236,15	101,11	1 235,3	Anexo 10
Equivalente químico	118,08	101,11	1 235,3	Anexo 10
Concentración en la sal (%)	15,5	13,5	7	Anexo 11
Cantidad (ml/L o meq/L)	6	2	1	Tabla 6

(CaNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O	KNO <sub>3</sub>
---	------------------

<b>Pasar los 6 meq/L de N a ppm</b>			<b>Pasar los 2 meq/L de N a ppm</b>		
N meq/L		$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ppm o mg/L	N meq/L		$\text{KNO}_3$ ppm o mg/L
1	→	118,08	1	→	101,11
6	→	X =	2	→	X =
$X = \frac{6 * 118,08}{1} = 708,48 \text{ ppm}$			$X = \frac{2 * 101,11}{1} = 202,22 \text{ ppm}$		
<b>Cálculo del 15,5 % de N en <math>(\text{CaNO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}</math></b>			<b>Cálculo del 13,5 % de N en <math>\text{KNO}_3</math></b>		
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ppm		N ppm	$\text{KNO}_3$ ppm		N ppm
100	→	15,5	100	→	13,5
708,48	→	X =	202,22	→	X =
$X = \frac{708,48 * 15,5}{100} = 109,81 \text{ ppm N}$			$X = \frac{202,22 * 13,5}{100} = 27,30 \text{ ppm N}$		
<b><math>(\text{NH}_4)_6 (\text{Mo}_7\text{O})_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}</math></b>					
<b>Calcular la cantidad de molibdato en 0.02 mg</b>			<b>Cálculo de la concentración de N en <math>(\text{NH}_4)_6 (\text{Mo}_7\text{O})_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}</math></b>		
Molibdato Mg		$(\text{NH}_4)_6 (\text{Mo}_7\text{O})_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ mg	$(\text{NH}_4)_6 (\text{Mo}_7\text{O})_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ Mg		Mg N
95.96	→	1235,3	1235.3	→	64
0,02	→	X	0.26		x
$X = \frac{0,02 * 1235,3}{95.96} = 0.26 \text{ mg de Mo}$			$X = \frac{0.26 * 64}{1235.6} = 0,013 \text{ mg/L de N}$		
<b>Requerimiento total de N de la planta indicadora</b>					
= 109,81+ 27,30+ 0,013= 137.134 $\cong$ 137 ppm de N					

Fósforo (P)

Para el cálculo del requerimiento de P se utilizó la sal: fosfato mono potásico  $[\text{KH}_2\text{PO}_4]$ .

Propiedades	Sal mineral		
	$KH_2PO_4$	$NaH_2PO_4$	Ver
Peso molecular (g)	136,09	119.9	Anexo 10
Equivalente químico	136,09	119.9	Anexo 10
Concentración en la sal (%)	22,36	26	Anexo 11
Cantidad (ml/L o meq/L)	2	2	Tabla 6

$KH_2PO_4$			
Pasar los 2 meq/L de P a ppm		Cálculo del 22,36 % de P en $KH_2PO_4$	
$KH_2PO_4$ meq/L		$KH_2PO_4$ ppm o mg/L	
1	→	136,09	
2	→	X =	
$X = \frac{2 * 136,09}{1} = 272,18 \text{ ppm}$			
$KH_2PO_4$ ppm		P ppm	
100	→	22,36	
272,18	→	X =	
$X = \frac{272,18 * 22,36}{100} = 60,86 \text{ ppm P}$			
$NaH_2PO_4$			
Pasar los 2 meq/L de P a ppm		Cálculo del 22,36 % de P en $NaH_2PO_4$	
$NaH_2PO_4$ meq/L		$NaH_2PO_4$ ppm o mg/L	
1	→	119.9	
2	→	X =	
$X = \frac{2 * 119.9}{1} = 239.8 \text{ ppm}$			
$NaH_2PO_4$ ppm		P ppm	
100	→	26	
239.8	→	X =	
$X = \frac{239.8 * 26}{100} = 62,35 \text{ ppm P}$			
<b>Requerimiento total de P de la planta indicadora</b>			
= 60,86 + 62,35 $\cong$ 123 ppm de P			

Potasio (K)

Para el cálculo del requerimiento de K se utilizó las sales: nitrato de potasio [ $KNO_3$ ] y fosfato mono potásico [ $KH_2PO_4$ ].

Propiedades	Sales minerales			
	$KH_2PO_4$	$K_2SO_4$	$KNO_3$	Ver
Cantidad (ml/L o meq/L)	2	1	2	Tabla 6
Peso molecular (g)	136,09	174,27	101.1	Anexo 10
Equivalente químico	136,09	174,27	101.1	Anexo 10
Concentración en la sal (%)	28,22	41,5	38.2	Anexo 11

$KH_2PO_4$			$KNO_3$		
<b>Pasar los 2 meq/L de K a ppm</b>			<b>Pasar los 2 meq/L de K a ppm</b>		
$KH_2PO_4$ meq/L		$KH_2PO_4$ ppm o mg/L	$KNO_3$ meq/L		$KNO_3$ ppm o mg/L
1	→	136,09	1	→	101,11
2	→	X =	2	→	X =
$X = \frac{2 * 136,09}{1} = 272,18 \text{ ppm}$			$X = \frac{2 * 101,11}{1} = 202,22 \text{ ppm}$		

Cálculo del 22,36 % de K en $KH_2PO_4$			Cálculo del 38,18 % de K en $KNO_3$		
$KH_2PO_4$ ppm		K ppm	$KNO_3$ ppm		K ppm
100	→	28,22	100	→	38,18
272,18	→	X =	202,22	→	X =
$X = \frac{272,18 * 28,22}{100} = 76,80 \text{ ppm K}$			$X = \frac{202,22 * 38,18}{100} = 77,20 \text{ ppm K}$		
<b><math>K_2SO_4</math></b>					
<b>Pasar los 2 meq/L de K a ppm</b>			<b>Cálculo del 41.5 % de K en <math>K_2SO_4</math></b>		

<table border="1"> <tr> <td><math>K_2SO_4</math> meq/L</td> <td></td> <td><math>K_2SO_4</math> ppm o mg/L</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>→</td> <td>174.27</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>→</td> <td>X =</td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <math display="block">X = \frac{1 * 174.27}{1} = 174.27 \text{ ppm}</math> </td> </tr> </table>			$K_2SO_4$ meq/L		$K_2SO_4$ ppm o mg/L	1	→	174.27	1	→	X =	$X = \frac{1 * 174.27}{1} = 174.27 \text{ ppm}$			<table border="1"> <tr> <td><math>K_2SO_4</math> ppm</td> <td></td> <td>K ppm</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>→</td> <td>41.5</td> </tr> <tr> <td>174.27</td> <td>→</td> <td>X =</td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <math display="block">X = \frac{174.27 * 41.5}{100} = 72.32 \text{ ppm K}</math> </td> </tr> </table>			$K_2SO_4$ ppm		K ppm	100	→	41.5	174.27	→	X =	$X = \frac{174.27 * 41.5}{100} = 72.32 \text{ ppm K}$		
$K_2SO_4$ meq/L		$K_2SO_4$ ppm o mg/L																											
1	→	174.27																											
1	→	X =																											
$X = \frac{1 * 174.27}{1} = 174.27 \text{ ppm}$																													
$K_2SO_4$ ppm		K ppm																											
100	→	41.5																											
174.27	→	X =																											
$X = \frac{174.27 * 41.5}{100} = 72.32 \text{ ppm K}$																													
<b>Requerimiento total de K de la planta indicadora</b> $= 76,80 + 77,20 + 72,27 = 226.33 \cong 226 \text{ ppm de K}$																													

### Azufre (S)

Para el cálculo de S se utilizó las sales: sulfato de magnesio [ $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ], sulfato de cobre [ $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ ] y sulfato de zinc [ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ].

Propiedades	Sales minerales				Ver
	$K_2SO_4$	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$CuSO_4 \cdot 7H_2O$	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	
Cantidad (ml/L o meq/L)	2	2	1	1	Tabla 6
Peso molecular (g)	174.27	246,48	250	287,5	Anexo 10
Equivalente químico	174.27	123,24	125	143,5	Anexo 10
Concentración en la sal (%)	18	28,22	38,18	41,5	Anexo 11

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$			$CuSO_4 \cdot 5H_2O$		
<b>Pasar los 2 meq/L de S a ppm</b>			<b>Calcular la cantidad de <math>CuSO_4</math> en 0.04 mg de Cu</b>		
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ meq/L		$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm o mg/L	$CuSO_4 \cdot 7H_2O$ Mg		Cu mg
1	→	123,24	249.65	→	63.65
1,5	→	X =	X	→	0.04
$X = \frac{1,5 * 123,24}{1} = 184,86 \text{ ppm}$					

	$X = \frac{249.65 * 0.05}{63.65}$ $= 0.16 \text{ mg } CuSO_4$																																
<b>Cálculo del 13 % de S en <math>MgSO_4 \cdot 7H_2O</math></b>	<b>Cálculo de la concentración de S en <math>CuSO_4 \cdot 7H_2O</math></b>																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>MgSO_4 \cdot 7H_2O</math> ppm</th> <th></th> <th></th> <th>S ppm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td></td> <td>→</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>184,86</td> <td></td> <td>→</td> <td>X =</td> </tr> <tr> <td colspan="4"> <math display="block">X = \frac{184,86 \times 13}{100}</math> <math display="block">= 24,03 \text{ ppm S}</math> </td> </tr> </tbody> </table>	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm			S ppm	100		→	18	184,86		→	X =	$X = \frac{184,86 \times 13}{100}$ $= 24,03 \text{ ppm S}$				<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>CuSO_4 \cdot 7H_2O</math> mg</th> <th></th> <th></th> <th>S mg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>249.65</td> <td></td> <td>→</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>0.16</td> <td></td> <td>→</td> <td>X =</td> </tr> <tr> <td colspan="4"> <math display="block">X = \frac{0.16 * 32}{249.65} = 0.020 \text{ mg/L de S}</math> </td> </tr> </tbody> </table>	$CuSO_4 \cdot 7H_2O$ mg			S mg	249.65		→	32	0.16		→	X =	$X = \frac{0.16 * 32}{249.65} = 0.020 \text{ mg/L de S}$			
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm			S ppm																														
100		→	18																														
184,86		→	X =																														
$X = \frac{184,86 \times 13}{100}$ $= 24,03 \text{ ppm S}$																																	
$CuSO_4 \cdot 7H_2O$ mg			S mg																														
249.65		→	32																														
0.16		→	X =																														
$X = \frac{0.16 * 32}{249.65} = 0.020 \text{ mg/L de S}$																																	
<b><math>ZnSO_4 \cdot 7H_2O</math></b>																																	
<b>Calcular la cantidad de <math>ZnSO_4 \cdot 7H_2O</math> en 0.05 mg/L Zn</b>	<b>Cálculo del 13 % de S <math>ZnSO_4 \cdot 7H_2O</math></b>																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>ZnSO_4 \cdot 7H_2O</math> mg</th> <th></th> <th></th> <th>Zn mg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>287.5</td> <td></td> <td>→</td> <td>65.38</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td></td> <td>→</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td colspan="4"> <math display="block">X = \frac{287.5 \times 0.05}{65.38}</math> <math display="block">= 0.22 \text{ mg } ZnSO_4</math> </td> </tr> </tbody> </table>	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ mg			Zn mg	287.5		→	65.38	X		→	0.05	$X = \frac{287.5 \times 0.05}{65.38}$ $= 0.22 \text{ mg } ZnSO_4$				<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>ZnSO_4 \cdot 7H_2O</math> mg</th> <th></th> <th></th> <th>S mg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>287.5</td> <td></td> <td>→</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>0.22</td> <td></td> <td>→</td> <td>X =</td> </tr> <tr> <td colspan="4"> <math display="block">X = \frac{0.22 \times 32}{287.5} = 0,024 \text{ mg/L de S}</math> </td> </tr> </tbody> </table>	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ mg			S mg	287.5		→	32	0.22		→	X =	$X = \frac{0.22 \times 32}{287.5} = 0,024 \text{ mg/L de S}$			
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ mg			Zn mg																														
287.5		→	65.38																														
X		→	0.05																														
$X = \frac{287.5 \times 0.05}{65.38}$ $= 0.22 \text{ mg } ZnSO_4$																																	
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ mg			S mg																														
287.5		→	32																														
0.22		→	X =																														
$X = \frac{0.22 \times 32}{287.5} = 0,024 \text{ mg/L de S}$																																	
<b><math>K_2SO_4</math></b>																																	

<b>Pasar los 2 meq/L de S a ppm</b>			<b>Cálculo del 38.18 % de K en <math>K_2SO_4</math></b>		
$K_2SO_4$ meq/L		$K_2SO_4$ ppm o mg/L	$K_2SO_4$ ppm		S ppm
1	→	174.27	100	→	18
1	→	X =	174.27	→	X =
$X = \frac{1 * 174.27}{1} = 174.27 \text{ ppm}$			$X = \frac{174.27 * 18}{100} = 31.37 \text{ ppm K}$		
<b>Requerimiento total de S de la planta indicadora</b>					
= 24,03 + 0.024 + 0.02 + 31.37 = 55.44 ppm de S $\cong$ 55 ppm de S					

### Magnesio (Mg)

Para el cálculo del requerimiento de Mg se utilizó la sal: sulfato de magnesio [ $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ],

<b>Propiedades</b>	<b>Sal mineral</b>		
	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	<b>Tabla</b>
Cantidad (ml/L o meq/L)	1	1.5	Tabla 6
Peso molecular (g)	246,48	203.3	Anexo 10
Equivalente químico	123,24	101.65	Anexo 10
Concentración de en la sal (%)	9,6	12	Anexo 11

<b><math>MgSO_4 \cdot 7H_2O</math></b>					
<b>Pasar 1 meq/L de Mg a ppm</b>			<b>Cálculo del 9,6% de Mg en <math>MgSO_4 \cdot 7H_2O</math></b>		
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm		$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm o mg/L	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm		Mg ppm
1	→	123,24	100	→	9,6
1	→	X =	17,75	→	X =
$X = \frac{1 * 123,24}{1} = 123,24 \text{ ppm}$			$X = \frac{123,24 * 9,6}{100} = 11,82 \text{ ppm Mg}$		
<b><math>MgCl_2 \cdot 6H_2O</math></b>					

<b>Pasar 1 meq/L de Mg a ppm</b>			<b>Cálculo del 12% de Mg en <math>MgCl_2 \cdot 6H_2O</math></b>		
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$		$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$		Mg
ppm		ppm o mg/L	ppm		ppm
1	→	101.65	100	→	12
1.5	→	X =	152.48	→	X =
$X = \frac{1.5 \times 101.65}{1} = 152.48 \text{ ppm}$			$X = \frac{152.48 \times 12}{100} = 18.29 \text{ ppm Mg}$		
<b>Requerimiento total de Mg de la planta indicadora</b> = 17,75 + 18.29 ≈ 36 ppm de Mg					

### Cobre

Para el cálculo del requerimiento de Cu se utilizó la sal: sulfato de cobre [ $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ ]

<b>Propiedades</b>	<b>Sal mineral</b>	
	$CuSO_4 \cdot 7H_2O$	Ver
Cantidad (ml/L o meq/L)	1	Tabla 6.
Peso molecular (g)	250	Anexo 10
Equivalente químico	125	Anexo 10
Concentración de en la sal (%)	25	Anexo 11

<b><math>CuSO_4 \cdot 7H_2O</math></b>		
<b>Calcular la cantidad de <math>CuSO_4</math> en 0.04 mg de Cu</b>		
$CuSO_4 \cdot 7H_2O$		$Cu$
Mg		mg
249.65	→	63.65
X	→	0.04
$X = \frac{249.65 \times 0.05}{63.65} = 0.16 \text{ mg } CuSO_4$		
<b>Requerimiento total de Cu de la planta indicadora</b> = 0,04 mg/L de Cu		

Para el cálculo del requerimiento de Zn se utilizó la sal: sulfato de zinc [ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ].

Propiedades	Sal mineral	
	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	Ver
Cantidad (ml/L o meq/L)	1	Tabla 6
Peso molecular (g)	287,5	Anexo 10
Equivalente químico	143,5	Anexo 10
Concentración de en la sal (%)	23	Anexo 11

$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$		
<b>Calcular la cantidad de</b>		
<b><math>ZnSO_4 \cdot 7H_2O</math> en 0.05 mg/L Zn</b>		
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ mg		Zn mg
287.5	→	65.38
X	→	0.05
$X = \frac{287.5 \times 0.05}{65.38} = 0.22 \text{ mg } ZnSO_4$		
<b>Requerimiento total de Zn de la planta indicadora</b>		
= 0,05 mg/L de Zn		

*Boro (B)*

Para el cálculo del requerimiento de B se utilizó la sal: ácido Bórico [ $H_3BO_3$ ].

Propiedades	Sal mineral	
	$H_3BO_3$	Ver
Cantidad (ml/L o meq/L)	1	Tabla 6
Peso molecular (g)	62	Anexo 10
Equivalente químico	62	Anexo 10
Concentración de en la sal (%)	17,5	Anexo 11

$H_3BO_3$
-----------

Calcular la cantidad de $H_3BO_3$ en 0.5 mg/L B			Cálculo del 13 % de B en $H_3BO_3$		
B g		$H_3BO_3$ ppm o mg/L	$H_3BO_3$ ppm		B ppm
10,81	→	62	2,86	→	17,5
0,5	→	X =	$X = \frac{2,86 \times 17,5}{100} = 0,50 \text{ mg/L B}$		
$X = \frac{0,5 \times 62}{10,81} = 2,86 \text{ mg/L } H_3BO_3$					
<b>Requerimiento total de B de la planta indicadora</b> = 0,50 ppm de B					

#### Manganeso (Mn)

Para el cálculo del requerimiento de Mn se utilizó la sal: cloruro de manganeso  $[(MnCl)_2 \cdot 6H_2O]$ .

Propiedades	Sal mineral	
	$(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$	Ver
Cantidad (ml/L o meq/L)	1	Tabla 6
Peso molecular (g)	197,9	Anexo 10
Equivalente químico	98,95	Anexo 10
Concentración de en la sal (%)	28	Anexo 11

$(MnCl)_2 \cdot 4H_2O$		
Calcular la cantidad de $(MnCl)_2 \cdot 4H_2O$ en 0.5 mg/L B		
Mn mg		$(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$ mg/L
54,93	→	197
0,5	→	X =
$X = \frac{0,5 \times 197}{54,93} = 1,79 \text{ mg/L } (MnCl)_2$		

**Requerimiento total de Mn de la planta indicadora**

= 0,5 ppm de Mn

*Hierro (Fe)*

Para el cálculo del requerimiento de Fe se realizó partir de la sal: quelato de hierro [NaFe-EDTA].

Propiedades	Sal mineral	
	NaFe-EDTA	Ver
Cantidad (ml/L o meq/L)	1	Tabla 6
Peso molecular (g)	430	Anexo 10
Equivalente químico	430	Anexo 10
Concentración de en la sal (%)	13	Anexo 11

NaFe-EDTA		
Pasar los 1 meq/L de Fe a ppm		
Fe mg		NaFe-EDTA mg/L
55.85	→	430
5	→	X =
$X = \frac{5 \times 430}{55.85} = 38.49 \text{ mg/L Fe EDTA}$		
Requerimiento total de Fe de la planta indicadora		
= 5 mg/L de Fe		

**Anexo 12.** *Registro de consumo en ml de soluciones nutritivas.*

Fecha	SC	-N	T	-S	-Mg	-B	-Zn	-Cu	-P	-Mn	-Fe	-K
ML												
<b>19/12/2022</b>	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400
<b>20/12/2022</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
<b>21/12/2022</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
<b>22/12/2022</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
<b>23/12/2022</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
<b>24/12/2022</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
<b>25/12/2022</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108

<b>26/12/2022</b>	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324
<b>27/12/2022</b>	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
<b>28/12/2022</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
<b>29/12/2022</b>	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
<b>30/12/2022</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
<b>31/12/2022</b>	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
<b>1/1/2023</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
<b>2/1/2023</b>	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
<b>3/1/2023</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
<b>4/1/2023</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
<b>5/1/2023</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
<b>11/1/2023</b>	108	0	0	108	108	108	108	108	0	108	108	0
<b>12/1/2023</b>	108	0	0	108	108	108	108	108	0	108	108	0
<b>13/1/2023</b>	108	0	0	108	108	108	108	108	0	108	108	0
<b>16/1/2023</b>	108	0	0	108	108	108	108	108	0	108	108	0
<b>17/1/2023</b>	108	0	0	108	108	108	108	108	0	108	108	0
<b>18/1/2023</b>	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
<b>19/1/2023</b>	108	0	0	108	108	108	108	108	0	108	108	0
<b>20/1/2023</b>	108	0	0	108	108	108	108	108	0	108	108	0
<b>23/1/2023</b>	108	0	0	108	108	108	108	108	0	108	108	0
<b>24/1/2023</b>	108	0	0	108	108	108	108	108	0	108	108	0
<b>27/1/2023</b>	36	108	108	36	36	36	36	36	108	36	36	108
<b>31/1/2023</b>	360	360	100	360	360	360	360	360	0	360	360	360
<b>2/2/2023</b>	8100	0	0	8100	8100	8100	8100	8100	0	8100	8100	0
<b>4/2/2023</b>	3600	1350	900	2700	3510	2970	2700	3780	0	4230	3510	2430
<b>9/2/2023</b>	2700	0	0	5400	5400	5400	5400	0	0	900	1080	0
<b>10/2/2023</b>	900	0	0	0	1800	0	0	0	0	0	4500	0
<b>12/2/2023</b>	2700	0	0	2700	2700	2700	2700	2700	0	2700	2700	2700
<b>14/2/2023</b>	5400	0	0	5400	5400	5400	5400	5400	0	5400	5400	5400
<b>Total</b>	3276			3366	3627	3393	3366	2934		3069	3465	1899
	0	9810	9100	0	0	0	0	0	8100	0	0	0
<b>Total (L)</b>	32.76	9.81	9.10	33.6	36.2	33.9	33.6	29.3		30.6	34.6	18.9
				6	7	3	6	4	8.10	9	5	9
Total para 3 repeticiones	10.92	3.27	3.03	11.2	12.0	11.3	11.2	9.78	2.7	10.2	11.5	6.33
			33	2	9	1	2			3	5	

**Anexo 13.** *Porcentaje de peso de la biomasa seca de la planta indicadora (%) a los 60 días después de la germinación, en las diferentes pendientes del terreno.*

Uso del suelo	SAF con café pendiente de 11%		SAF con café pendiente de 15%		SAF con café pendiente de 28%	
	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro
SC	100	ALTO	100	ALTO	100	ALTO

-N	4	MUY BAJO	5	MUY BAJO	4	MUY BAJO
-P	0,4	BAJO	2	MUY BAJO	1	MUY BAJO
-K	58	MEDIO	64	MEDIO	58	MEDIO
-Mg	86	ALTO	68	MEDIO	97	ALTO
-S	67	MEDIO	73	MEDIO	76	ALTO
-Zn	72	MEDIO	71	MEDIO	78	ALTO
-Mn	76	ALTO	74	MEDIO	78	ALTO
-Cu	67	MEDIO	65	MEDIO	59	MEDIO
-Fe	92	ALTO	91	ALTO	96	ALTO
-B	75	ALTO	84	ALTO	96	ALTO
Testigo	0,3	MUY BAJO	3	MUY BAJO	2	MUY BAJO

**Anexo 14.** Análisis químicos del suelo en el SAF con café en Guanga – Olmedo, en las 3 pendientes estudiadas.

Uso del suelo		SAF con café pendiente de 11%		SAF con café pendiente de 15%		SAF con café pendiente de 28%	
		Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro
-N	cmol kg <sup>-1</sup>	3.8	BAJO	4.6	BAJO	4.3	BAJO
-P	cmol kg <sup>-1</sup>	0.4	BAJO	2.1	BAJO	1.2	BAJO
-K	cmol kg <sup>-1</sup>	58.0	MEDIO	64.3	MEDIO	58.2	MEDIO
-Mg	cmol kg <sup>-1</sup>	85.6	ALTO	67.6	ALTO	97.4	ALTO
-S	mg kg <sup>-1</sup>	67.4	ALTO	73.1	ALTO	76.3	ALTO
-Zn	mg kg <sup>-1</sup>	72.4	ALTO	70.9	ALTO	78.4	ALTO
-Mn	mg kg <sup>-1</sup>	76.2	ALTO	74.2	ALTO	77.8	ALTO
-Cu	mg kg <sup>-1</sup>	66.9	ALTO	64.8	MEDIO	59.3	MEDIO
-Fe	mg kg <sup>-1</sup>	92.3	ALTO	91.2	ALTO	96.4	ALTO
-B	mg kg <sup>-1</sup>	75.1	ALTO	83.5	ALTO	96.4	ALTO
Testigo	mg kg <sup>-1</sup>	0.3	BAJO	3.2	BAJO	2.3	BAJO

**Anexo 15.** Composición química de los fertilizantes utilizados para el plan de fertilización.

Fertilizante	Contenido de nutrientes (%)							
	N	P2O5	K2O	Ca	Mg	S	Zn	B
Sulfato de potasio	-	-	50	-	-	18	-	-
YARA 12-24-12	12	24	12	-	-	-	-	-
Sulfato de magnesio (kieserita)	-	-	-	-	25	20	-	-
Fertiboro	-	-	-	-	-	-	-	17
Sulfato de zinc (ZnSO4)	-	-	-	-	-	4	23	-

**Anexo 16.** *Análisis estadístico ANOVA*

**Tabla 20.** Resumen del análisis de varianza para los valores de biomasa seca de la planta de tomate (*Solanum lycopersicum*) a los 60 DDS en el predio de Guanga.

Fuentes de variación	Cuadros medios	p-valor
Factor A (Soluciones)	45.34	<0.0001
Factor B (Pendientes)	3.10	0.0119
Factor A x B	4.57	0.0017
Error	0.67	
Coefficiente de variación	22.09	

**Tabla 21.** Análisis de varianza entre las soluciones nutritivas y el peso de la biomasa seca de la planta aplicando el test Tukey con diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).

Solución	Medias	n	E.E.	
SC	6.19	9	0.27	A
-Fe	5.78	9	0.27	A B
-B	5.28	9	0.27	A B C
-Mg	5.19	9	0.27	A B C D
-Mn	4.71	9	0.27	B C D E
-Zn	4.58	9	0.27	B C D E
-S	4.48	9	0.27	C D E
-Cu	3.93	9	0.27	D E
-K	3.72	9	0.27	E
-N	0.26	9	0.27	F
Testigo	0.12	9	0.27	F
-P	0.08	9	0.27	F

*Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p > 0.05$ )*

**Tabla 22.** Análisis de varianza entre las 3 pendientes y peso seco de la planta, aplicando el test Tukey con diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).

Solución	Medias	n	E.E.	
Pendiente 28%	4.03	36	0.14	A
Pendiente 15%	3.54	36	0.14	B
Pendiente 11%	3.51	36	0.14	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p > 0.05$ )*

**Anexo 17.** *Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo (Valarezo, et al., 1998).*



### CERTIFICADO DEL RESUMEN

Yo, **Maholy Katherine Morocho Merino**, portadora de la cedula de Identidad N°:1104677131. Licenciada en Ciencias de la Educación Especialidad Idioma Inglés. Certifico la traducción al idioma inglés el resumen de la tesis denominada: "**Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café en el sector Guanga perteneciente al Cantón Olmedo**", perteneciente a la señorita **Karina Mercedes Lima Yupanqui**, esta corresponde al texto original en español.

A la parte interesada muy atentamente,



---

**Maholy Katherine Morocho Merino**

Licenciada en Ciencias de la Educación Especialidad Idioma Inglés  
Registro N° 1008-2016-1695982 SENEYCIT.