



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

#### Carrera de Ingeniería Agrícola

# “PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA.”

Trabajo de Titulación, previo a la  
obtención del título de Ingeniera  
Agrícola

#### AUTORA:

Adriana Mikaela Andrade Carrión

#### DIRECTOR:

Ing. Jimmy Javier Cordero Jiménez, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2024

Educamos para Transformar

## Certificación

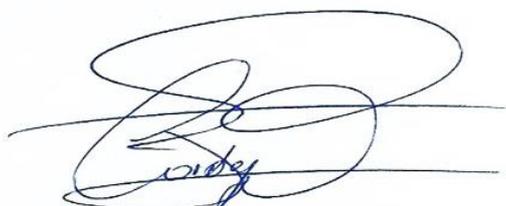
Loja, 30 de marzo del 2023

Ing. Jimmy Javier Cordero Jiménez, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA.”**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrícola**, de la autoría de la estudiante **Adriana Mikaela Andrade Carrión**, con **cédula de identidad Nro.1900731553**, 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.



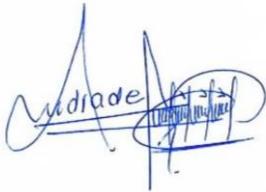
Ing. Jimmy Javier Cordero Jiménez, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **Autoría**

Yo, Adriana Mikaela Andrade Carrión, declaro ser 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:**



**Autora:** Adriana Mikaela Andrade Carrión

**Cedula de Identidad:** 1900731553

**Fecha:** 17 de enero de 2024

**Correo electrónico:** adriana.andrade@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0986442882

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

Yo, Adriana Mikaela Andrade Carrión, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **“PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA”**, como requisito para optar al título de **Ingeniera Agrícola**, 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, suscribo, en la ciudad de Loja, a los diecisiete días del mes de enero del dos mil veinticuatro.

Firma:



**Autora:** Adriana Mikaela Andrade Carrión

**Cedula de Identidad:** 1900731553

**Dirección:** Timbara, Zamora

**Correo electrónico:** adriana.andrade@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0986442882

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Jimmy Javier Cordero Jiménez.

## **Dedicatoria**

El presente Trabajo de Titulación lo dedico primeramente a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no rendirme antes los problemas que se presentaban durante todos mis estudios.

Con todo mi cariño, y respeto dedico el presente Trabajo de investigación que fue realizado con esfuerzo, a mis padres Víctor Andrade y Nery Carrión, quienes con su ejemplo y sacrificio me impulsaron a lograr una meta más de mis estudios, ya que siempre están a mi lado apoyándome tanto emocional como económicamente y quienes constituyen la razón más grande para seguir adelante.

A mis hermanos Gissela, Maricarmen, Luis y a mi querida sobrina Alisson quienes siempre están conmigo apoyándome y motivándome en todo momento.

A mis compañeros y amigos que de alguna u otra manera me ayudaron de manera desinteresada.

***Adriana Mikaela Andrade Carrión***

## **Agradecimiento**

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja, en especial a la Carrera Ingeniería Agrícola por brindarme una formación académica de buena calidad, forjando así mi camino en el estudio para la vida profesional y personal. Al Ing. Miguel Villamagua por haberme ayudado en la elaboración de este Trabajo de Investigación, así mismo al Ing. Jimmy Cordero director del Trabajo de Titulación, quien ha sabido apoyarme en el desarrollo y término de esta investigación.

También agradezco a familiares y amigos por el apoyo absoluto y el cariño brindado de forma permanente durante todo este proceso.

*Adriana Mikaela Andrade Carrión*

## Índice de Contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de Contenido</b> .....	<b>vii</b>
Índice de Tablas .....	x
Índice de Figuras .....	xi
Índice de Anexos. ....	xii
<b>1. Título:</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen.</b> .....	<b>2</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. Suelo. ....	6
4.2. Material Parental.....	6
4.3. Encalado.....	6
4.4. Propiedades Químicas del Suelo. ....	7
4.4.1. pH .....	7
4.4.2. Acidez Intercambiable .....	7
4.4.6. Capacidad de intercambio catiónico Efectiva (CICE).....	9
4.4.7. Conductividad Eléctrica (C.E) .....	9
4.5. Nutrientes Esenciales para el Desarrollo Vegetal.....	9
4.6. Evaluación Química de la Fertilidad del Suelo .....	16
4.6.1. Fertilidad Actual .....	16
4.6.2. Fertilidad Potencial.....	16
4.7. Métodos Directos para el Análisis Químico de la Fertilidad de los Suelos. ....	17
4.7.1. Principios Generales .....	17
4.7.2. Solución Extractora Mehlich I .....	17
4.7.3. Solución Extractora Mehlich II .....	17

4.7.4.	Solución Extractora Bray I.....	18
4.7.5.	Solución Extractora Olsen Modificado.....	18
4.7.6.	Determinación de NH <sub>4</sub> , mediante espectrofotometría Uv-Visible .....	18
4.8.	Utilización de la Solución Olsen Modificada en el Ecuador.....	19
4.9.	La Red de Laboratorios de Suelos en el Ecuador (RELASE).....	19
4.10.	Evaluación Biológica de la Fertilidad del Suelo. ....	20
4.11.	Fertilización de Cafetales.....	20
4.12.	Requerimiento de los nutrientes para el café.....	21
4.13.	Relación entre Cationes Intercambiables. ....	22
4.14.	Trabajos relacionados al objeto de investigación.....	22
<b>5.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>24</b>
5.1.	Ubicación del Área de Estudio.....	24
5.1.1.	Ubicación Geográfica .....	24
5.1.1.	Aspectos Climáticos .....	24
5.2.	Materiales y Equipos .....	25
5.3.	Metodología para el Primer Objetivo .....	25
5.3.1.	Material Parental.....	25
5.3.2.	Descripción de Calicatas .....	25
5.3.3.	Análisis Químicos.....	25
5.3.4.	Barrenaciones para la Toma de las Muestras. ....	26
5.4.	Metodología para el Segundo Objetivo.....	26
5.4.1.	Diseño de la Investigación .....	26
5.4.2.	Evaluación Biológica de la Fertilidad Actual del Suelo. ....	26
5.4.3.	Preparación de las Soluciones Nutritivas.....	27
5.4.4.	Preparación de las Muestras de Suelo.....	28
5.4.5.	Preparación de los Recipientes.....	28
5.4.6.	Instalación del Experimento.....	29
5.4.7.	Siembra y Raleo de la Planta Indicadora .....	29
5.4.8.	Reposición de la Solución Nutritiva .....	29
5.4.9.	Registro de Crecimiento y Peso Seco de la Planta .....	30
5.4.10.	Correspondencia entre la Evaluación Biológica y Análisis Químico. ....	30
5.4.11.	Difusión de resultados.....	31
5.5.	Metodología para el Tercer Objetivo.....	31
5.5.1.	Plan de Fertilidad.....	31

<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>32</b>
6.1.	Características Químicas del suelo de la Estación Experimental La Argelia. ....	32
6.1.1.	Material Parental.....	32
6.1.2.	Clasificación Taxonómica.....	32
6.1.3.	Descripción de Paisaje y Perfiles de la Calicata.....	32
6.1.4.	Características Químicas .....	33
6.1.5.	Determinación de Nutrientes Disponibles.....	34
6.2.	Evaluación Biológica de la Fertilidad del Suelo. ....	35
6.2.1.	Peso de la Biomasa Seca. ....	35
6.3.	Correspondencia entre Análisis Químico y Evaluación Biológica del Suelo de la Estación Experimental La Argelia.....	36
6.4.	Fertilización para cafetales.....	37
6.4.1.	Fertilización para el SAF con café del sector La Argelia. ....	37
6.4.2.	Enmienda y Relación de Cationes del SAF con Café de La Argelia. ....	38
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>40</b>
7.1.	Condiciones Químicas. ....	40
7.1.1	pH .....	40
7.1.2.	Acidez Intercambiable .....	41
7.1.3.	Materia Orgánica (MO) .....	41
7.1.4.	Conductividad Eléctrica.....	42
7.1.5.	Capacidad de intercambio Catiónico .....	42
7.1.6.	Fertilidad Actual.....	43
7.2.	Correspondencia entre Análisis Químico y Evaluación Biológica .....	43
7.3.	Relación de Cationes .....	45
7.4.	Fertilización de cafetales.....	46
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>49</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>50</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>51</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>65</b>

## Índice de Tablas:

<b>Tabla 1.</b>	<i>Requerimientos de macro y micronutrientes en cafetales.....</i>	21
<b>Tabla 2.</b>	<i>Relación entre cationes intercambiables adecuados para el café,.....</i>	22
<b>Tabla 3.</b>	<i>Soluciones Nutritivas.....</i>	27
<b>Tabla 4.</b>	<i>Tipo de sales para preparar la solución madre de macroelementos.....</i>	27
<b>Tabla 5.</b>	<i>Concentración de la solución madre y cantidad microelementos. ....</i>	28
<b>Tabla 6.</b>	<i>Volúmenes de la solución madre para 1L de solución nutritiva .....</i>	28
<b>Tabla 7.</b>	<i>Volúmenes de la solución madre para 1L de solución nutritiva.....</i>	30
<b>Tabla 8.</b>	<i>Características químicas de suelos del SAF de La Argelia .....</i>	34
<b>Tabla 9.</b>	<i>Fertilidad Actual del suelo del SAF de la estación experimental La Argelia.....</i>	34
<b>Tabla 10.</b>	<i>Cálculo de la CICE del suelo del SAF con café de La Argelia.....</i>	38
<b>Tabla 11.</b>	<i>Enmienda y relación de cationes para el suelo del SAF con café de La Argelia.</i>	38
<b>Tabla 12.</b>	<i>Nutrientes recomendados para el cultivo de cafetales en crecimiento en el suelo del SAF de La Argelia. ....</i>	39
<b>Tabla 13.</b>	<i>Plan de fertilización para cafetales en producción de La Argelia.....</i>	39

## Índice de Figuras:

<b>Figura 1.</b> <i>Mapa de Ubicación del Proyecto</i> .....	24
<b>Figura 2.</b> <i>Biomasa seca</i> .....	35
<b>Figura 3.</b> <i>Aspecto de la planta indicadora</i> .....	36
<b>Figura 4.</b> <i>Correspondencia entre la evaluación biológica y análisis químico</i> .....	37

## Índice de Anexos:

<b>Anexo 1.</b>	<i>Croquis del Diseño de Investigación.</i>	65
<b>Anexo 2.</b>	<i>Preparación de las muestras del suelo</i>	65
<b>Anexo 3.</b>	<i>Preparación de los recipientes.</i>	66
<b>Anexo 4.</b>	<i>Preparación de las soluciones nutritivas</i>	66
<b>Anexo 5.</b>	<i>Interpretación de correspondencia química</i>	67
<b>Anexo 6.</b>	<i>Análisis de varianza para los valores de biomasa seca</i>	67
<b>Anexo 7.</b>	<i>Tríptico Divulgativo entregado a los asistentes en el Día de Campo</i>	68
<b>Anexo 8.</b>	<i>Difusión de resultados</i>	70
<b>Anexo 9.</b>	<i>Evaluación biológica del suelo del SAF de la Estación Experimental LaArgelia</i>	72
<b>Anexo 10.</b>	<i>Equivalente químico</i>	72
<b>Anexo 11.</b>	<i>Concentración de sales.</i>	73
<b>Anexo 12.</b>	<i>Cálculo de cantidad de nutrientes.</i>	73
<b>Anexo 13.</b>	<i>Material Parental</i>	77
<b>Anexo 14.</b>	<i>Descripción del perfil del suelo de La Argelia</i>	78
<b>Anexo 15.</b>	<i>Certificado de traducción Abstract</i>	81

## **1. Título**

**“PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ  
(*Coffea arabica* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA”**

## 2. Resumen

En lo que respecta a los cultivos en el cantón Loja se cuenta con 3.714 hectáreas que son destinadas para actividades agrícolas, representando el 10 % de esta la producción de café. La aplicación de fertilizantes sin considerar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la falta de restitución de nutrientes que han extraído los cultivos, dan como resultado la baja fertilidad de los suelos. Con estos precedentes, se planteó disponer información sobre la disponibilidad de nutrientes, que son limitantes para el desarrollo de los cultivos y debido a que los análisis químicos realizados en los laboratorios de suelos del país para evaluar la disponibilidad de los nutrientes, no siempre reflejan con veracidad la cantidad y disponibilidad del elemento. Por ello, se procedió a evaluar los contenidos de N, P, K, S, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B, analizados por el método químico (Olsen Modificado) y la evaluación biológica mediante el método del elemento faltante, estableciéndose una correspondencia entre los dos métodos, a fin de generar un plan de fertilización. En el suelo del Sistema Agroforestal con café de La Argelia las condiciones químicas del suelo en la capa de 0 - 25 cm, fueron; pH ácido, Materia orgánica (medio); Conductividad Eléctrica (bajo); y la capacidad de intercambio catiónico (bajo), el N, P, Mn, Cu, Fe y B no presentó correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico, los elementos más deficientes son N, P y S.

**Palabras clave:** evaluación biológica, fertilidad, soluciones nutritivas, fertilización, suelo.

### ***Abstract***

In the agricultural landscape of Loja canton, approximately 3,714 hectares are dedicated to farming activities, with a notable 10% attributed to coffee production. Unfortunately, the indiscriminate application of fertilizers, neglecting the assessment of soil nutrient levels, coupled with the failure to replenish extracted nutrients, has led to a decline in soil fertility. Building on these precedents, the proposal aims to gather data on the availability of nutrients critical for crop development. This initiative arises from the recognition that the conventional chemical analyses conducted in the country's soil laboratories might not consistently provide precise insights into the quantity and accessibility of these essential elements. Consequently, we conducted a comprehensive assessment of nutrient contents, including N, P, K, S, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, and B. This involved employing both the chemical method (Olsen Modified) and a biological evaluation through the missing element method. Our objective was to establish a correlation between these two methodologies, paving the way for the development of a targeted fertilization plan. In the agroforestry system with coffee in La Argelia, the chemical characteristics of the soil in the 0-25 cm layer revealed an acidic pH, medium organic matter content, low electrical conductivity, and a low cation exchange capacity. Notably, there was a discrepancy between the weight of dry matter from the biological evaluation and the concentration of available nutrients obtained through chemical analysis for N, P, Mn, Cu, Fe, and B. The elements experiencing the most pronounced deficiencies were N, P, and S.

**Keywords:** biological evaluation, fertility, nutrient solutions, fertilization, soil.

### 3. Introducción

El café es el primer producto comercializado a nivel mundial; se cultiva en más de 50 países, debido a que es un producto muy apreciado por su sabor y aroma. La especie más cultivada es el *Coffea arabica*, que representa un aproximado entre 80 y 90 % de la producción mundial y se produce en altas cantidades (Pilozo et al., 2022). Según Statista (2022), la producción mundial de café en el 2022 fue de 172,8 millones de sacos de 60 kilos.

El cultivo de café se encuentra dentro de las principales actividades agrícolas que se realizan en el país. Andrade y García (2017) indican que Ecuador presenta un gran potencial de variables climáticas para el cultivo del café; sin embargo, se presentan bajos niveles de producción que se atribuye a varias causas: cultivos viejos, limitadas innovaciones tecnológicas, pérdida de la capacidad productiva del suelo, causando disminución en el rendimiento de los cultivos por la escasa o nula reposición de la fertilidad a los suelos. (Fondo Ecuatoriano de Cooperación para el Desarrollo [FECD], 2011).

(Consejo Cafetalero Nacional [COFENAC], 2013) menciona que en Ecuador el cultivo de café ocupa 76 783 ha cultivadas, de las cuales el 68,3 % corresponde a la especie *Coffea arabica* L y la especie Robusta 31,7 % (Duicela & Farfán, 2016). La mayor superficie cafetalera la tiene la provincia de Manabí (32,9%); seguida por Loja (13,8%); Orellana (9,4%) y Sucumbíos (8,1%). La provincia de Morona Santiago fue destacada como la provincia de mayor rendimiento con 1,22 t ha<sup>-1</sup>, seguida de Galápagos Pichincha y Zamora Chinchipe con 0,98; 0,66; 0,57 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente mientras que las provincias de Napo, Cotopaxi y Pastaza reportan los rendimientos más bajos con 0,11; 0,11 y 0,07 t ha<sup>-1</sup> (Lema, 2019).

La Provincia de Loja, es reconocida en el Ecuador por dedicarse a la producción y comercialización de café. El cultivo de café ocupa el 13,8% del área nacional cultivada con una productividad estimada en 0,25 t ha<sup>-1</sup>; distribuidas en las siguientes áreas: Puyango: 30,3 %; Paltas: 20,9 %; Olmedo: 15,6 %; Espíndola: 12,2 %; Pindal: 8,3 %; Quilanga: 6,4 % y Loja: 5,1% (COFENAC 2013).

En la estación experimental La Argelia las condiciones químicas del suelo presentan un pH ácido (4,5), un contenido de Al<sup>+3</sup>+H, de 0,5 cmol (+) kg<sup>-1</sup>, considerados tóxicos para el cultivo de café (Macas, 2021). Una alternativa para corregir la acidez del suelo constituye la aplicación de materiales alcalinizantes como carbonatos, óxidos e hidróxidos y silicatos de Ca y Mg (Espinoza & Molina, 2015).

Así mismo, la evaluación de la fertilidad del suelo es una labor muy compleja, por la diversidad de condiciones físicas, químicas y biológicas que interactúan. Diversas técnicas que

se emplean comúnmente se aproximan a determinar el grado de fertilidad de un suelo; dos de ellas son las pruebas químicas del suelo, y las pruebas biológicas, esta última caracterizada por el crecimiento de las plantas superiores que se utiliza como medida de la fertilidad del suelo, considerando que ella es producto de la respuesta a la interacción suelo-clima (Posada, 2003).

Al respecto, los análisis químicos empleados para determinar la disponibilidad de nutrientes en el suelo no siempre reflejan con veracidad la cantidad de elemento aprovechable para las plantas, por ello, la Universidad Nacional de Loja realiza investigaciones en diferentes ecosistemas del país, con la finalidad de encontrar la correspondencia entre los análisis químicos y la evaluación biológica con el método de elemento faltante, a través del cultivo de tomate utilizada como planta indicadora bajo condiciones de invernadero, técnica que fue desarrollada por Colwell (1980), adaptada por Valarezo (1985) y probada para las condiciones de Cañicapac y Ñamarin por Guayllas (1986). Lo cual ayuda a realizar un análisis comparativo a fin de generar un plan de fertilización conveniente para el cultivo de café.

Con base al marco indicado, la presente investigación tuvo como finalidad disponer de información sobre la correspondencia de los contenidos de nutrientes aprovechables de N, P, K, S, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B, analizados químicamente (extracción de Olsen Modificado) y la evaluación biológica en el sector de la Argelia de la provincia de Loja, como referentes para validar los análisis de suelos en el país. (Quimagro, 2022).

Por los motivos expuestos, en el presente trabajo de investigación se planteó el siguiente objetivo: “Contribuir al incremento de la producción de café mediante un plan de fertilización para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la Estación Experimental La Argelia”; para lograr este objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar las propiedades Químicas del suelo del sistema Agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en la Estación Experimental La Argelia.
- ✓ Determinar los nutrientes disponibles mediante la técnica del elemento faltante.
- ✓ Proponer un plan de fertilización para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la Estación Experimental La Argelia

## **4. Marco Teórico**

### **4.1. Suelo.**

El suelo es el lugar en el que crecen las plantas, es un ecosistema formado por partes bien diferenciadas que constituyen la estructura del medio agrícola siendo la base para la vida de las plantas y fuente fundamental de elementos nutritivos (Fernández, 2015).

El grado de acidez de un suelo se mide según su pH, el cual oscila entre 0 y 14. Si el pH es de 7, se tratará de un suelo neutro; por debajo, sería un suelo ácido, y por encima, alcalino. El suelo ideal sería el neutro, aunque la mayoría de plantas tiende al alcalino para una mejor absorción de minerales (Burbano, 2016).

El suelo es un cuerpo natural, distribuido como un continuo en el paisaje con variaciones determinadas por las condiciones lito-climáticas del sitio, el drenaje, la historia geomorfológica y el uso de la tierra; por ende, los suelos no son uniformes, sino más bien presentan una gran variación en el paisaje (Cotler et al., 2007).

### **4.2. Material Parental.**

Es el material geológico subyacente (generalmente un lecho rocoso o un depósito superficial o de deriva) en el que se forman los horizontes del suelo. Los suelos suelen heredar una gran cantidad de estructura y minerales de su material original y, como tal, a menudo se clasifican en función de su contenido de material mineral consolidado o no consolidado que ha sufrido algún grado de meteorización física o química y el modo en que los materiales fueron transportados más recientemente (Academia Lab, 2024).

### **4.3. Encalado**

El encalado es la operación por la cual se aplica al suelo compuestos de calcio o de calcio y magnesio que son capaces de reducir la acidez e incrementar el pH. Existen varios materiales que son capaces de reaccionar en el suelo y elevar el pH. Entre los más importantes se pueden citar: óxido de calcio, hidróxido de calcio, calcita y dolomita.

El objetivo central de las enmiendas calcáreas es desplazar el aluminio (o manganeso) intercambiable en la fase sólida del suelo y neutralizar el ión  $Al^{3+}$  libre en la solución del suelo (Ezpinoza, 1995).

#### **4.4. Propiedades Químicas del Suelo.**

##### **4.4.1. pH**

La reacción de un suelo hace referencia al grado de acidez o basicidad del mismo y generalmente se expresa por medio de un valor de pH del sistema suelo-agua. Según este valor, un suelo puede ser ácido, neutro o alcalino. Es una de las propiedades químicas más importante en los suelos, ya que de él depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas, determinando su solubilidad y la actividad de los microorganismos, los cuales mineralizan la materia orgánica. También determina la concentración de iones tóxicos (Ramírez, 1997).

El pH influye sobre la movilidad de los diferentes elementos del suelo: en unos casos disminuirá la solubilidad, con lo que las plantas no podrán absorberlos; en otros el aumento de la solubilidad debida al pH, hará que para determinados elementos sea máxima (por ejemplo, cuando hay mucha acidez se solubiliza enormemente el aluminio pudiendo alcanzarse niveles tóxicos). Cada planta necesita elementos en diferentes cantidades y esta es la razón por la que cada planta requiere un rango particular de pH para optimizar su crecimiento (Infoagro, 2017).

##### **4.4.2. Acidez Intercambiable**

La acidez intercambiable en los suelos es el resultado de la presencia de hidrogeno ( $H^+$ ) y Aluminio ( $Al^{3+}$ ) que causan una disminución en el pH. La alta concentración de  $Al^{3+}$  genera toxicidad para las plantas, además de tener un efecto negativo sobre las propiedades químicas del suelo como la solubilización, disponibilidad y absorción de nutrientes, físicas como la estructura y estabilidad de agregados y biológicas como tipo de organismos presentes en el suelo, ocasionando así una reducción en el crecimiento del cultivo. También reduce la calidad de las cosechas e induce a deficiencias nutricionales de: Ca, Mg, S, Zn, entre otros, por lo cual es indispensable conocer la acidez intercambiable de los suelos y relacionarla con el pH, textura y, materia orgánica entre otros (Fassbender, 1975).

##### **4.4.3. Bases intercambiables**

El término "bases intercambiables" o "total de bases intercambiables" se refiere a la suma de las bases ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  y  $Na^+$ ) en forma intercambiable expresadas en meq/100 gramos de suelo. Se extraen con una solución normal y neutra de acetato de amonio ( $CH_3COONH_4$ ). Estos cationes son los predominantes en los suelos agrícolas y pueden ser reemplazados por otros cationes presentes en la solución del suelo. El  $NH_4^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  y  $Cu^{2+}$

son otros nutrientes que representan carga positiva pero que se encuentran en cantidades muy pequeñas. En relación con el contenido de estos cationes intercambiables, la cantidad de estos en la solución del suelo es muy pequeña comparada con la cantidad que se retiene en las arcillas. Entonces la mayor proporción de cationes están adheridos a las superficies de las partículas del suelo y las cuales están en equilibrio con la solución del suelo. (Carter,2002).

#### **4.4.4. *Porcentaje de saturación de bases.***

El grado de saturación básica de un suelo es, en general, una buena medida de la proporción de la capacidad de cambio, utilizada para almacenar nutrientes vegetales, y se define como el porcentaje de la capacidad de cambio ocupada por cationes básicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ). Es decir, representa la proporción de la CIC que está ocupada por los cationes citados o recibe el nombre de tasa de saturación o porcentaje de saturación de bases, hablándose de tasa de saturación en potasio, magnesio, etc, cuando sólo se trata de uno de estos elementos referido al total.

En suelos ácidos %T no alcanza el 100% y suele encontrarse por debajo de 70%, mientras que en suelos calizos el %T es superior al 80% y en muchos casos del 100% (Porta, 2003).

#### **4.4.5. *Capacidad de Intercambio Catiónico.***

Esta propiedad química del suelo se refiere a la cantidad total de cargas negativas que están disponibles sobre la superficie de las partículas en el suelo. También se puede definir como el número total de cationes intercambiables que un suelo en particular puede o es capaz de retener (cantidad total de carga negativa). Conocer la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de un suelo es fundamental, pues este valor indica el potencial de un suelo para retener e intercambiar nutrientes. Además, la CIC afecta directamente la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes (Intagri, 2015).

La CIC es un indicador indirecto de la capacidad amortiguadora de los suelos y que es función de la cantidad y tipo de arcilla. La capacidad de intercambio catiónico es igual a la carga total negativa en las partículas del suelo. La capacidad de intercambio catiónico se expresa en centimoles de carga positiva por kilogramo ( $\text{cmol (+)/ kg}$ ) o en miliequivalentes por 100 gramos ( $\text{meq/100 g}$ ) del suelo. Esto es el número de miligramos de iones hidrógeno (o su equivalente en otros cationes) que pueden almacenarse en 100 g de suelo (Rosales et al., 2017).

Con base a lo mencionado en los párrafos anteriores, el intercambio de cationes es determinante en la nutrición vegetal, por lo tanto, su correcta determinación reviste especial

relevancia. Entre los métodos comúnmente utilizados para la medición de la capacidad de intercambio de cationes (CIC), están los que emplean el acetato de amonio o de sodio, como extractante (Henríquez et al., 2005).

#### **4.4.6. Capacidad de intercambio catiónico Efectiva (CICE)**

Corresponde a la capacidad de intercambio Catiónico que tienen un suelo a un mismo pH. y se determina como la suma de los cationes más el aluminio y se expresa en meq/100 g. En términos prácticos, cuando los suelos tienen un pH inferior a 7 es importante determinar la CICE. (Bonta, 2011).

$$CICE = K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + Al^{3+} \text{ meq/100g}$$

#### **4.4.7. Conductividad Eléctrica (C.E)**

La Conductividad eléctrica mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por lo tanto, la CE mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. Su valor es más alto cuanto más fácil se mueva dicha corriente a través del mismo suelo por una concentración más elevada de sales. Las unidades utilizadas para medir la CE son dS/m (decisiemens por metro)(Intagri,2017).

### **4.5. Nutrientes Esenciales para el Desarrollo Vegetal**

Las plantas requieren 16 elementos nutricionales esenciales en cantidades adecuadas para crecer, desarrollarse y producir cosechas abundantes. La ausencia de algunos de estos elementos esenciales limita su normal desarrollo y productividad (Mengel, 2000).

Son considerados elementos nutricionales esenciales para las plantas, aquellos elementos químicos que cumplen los siguientes requisitos:

Ante la falta de alguno de ellos, la planta no podrá completar su ciclo de vida normal. Cuando su función metabólica dentro de la planta no puede ser reemplazado por otro elemento nutricional (Mata, 2006).

Todos los nutrientes que son absorbidos por las plantas son en forma de iones. Para la asimilación, los iones deben estar disueltos en el agua del suelo, es decir, en una solución del suelo para que las plantas puedan absorberlos. El fósforo, el azufre, el cloro, el boro y el molibdeno son absorbidos respectivamente como fosfatos, sulfatos, cloruros, boratos y molibdatos. Los otros nutrientes son absorbidos bajo la forma de cationes de  $K^{+1}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ,

$\text{Fe}^{+2}$  o  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$  y  $\text{Cu}^{+2}$  (Piaggese, 2004).

#### **4.5.1. Nitrógeno (N)**

Las plantas contienen de 1-3% de nitrógeno en su estructura. El nitrógeno es un nutriente esencial que todas las plantas requieren para un crecimiento adecuado. Es un constituyente importante de la molécula de clorofila, ácidos nucleicos y proteínas. (Sela, 2019b).

Masís & Rodríguez (2007), manifiestan que el nitrógeno es uno de los factores limitativos más comunes en la producción de café, situación que el caficultor tiene que corregir mediante el suministro oportuno de este nutrimento a las plantas en forma asimilable. Pese a que el nitrógeno constituye aproximadamente el 80 % de la atmósfera, en su forma molecular ( $\text{N}_2$ ) es inerte y sólo es aprovechado por las plantas en forma mineral asociado a otros compuestos que dan origen a los iones amonio ( $\text{NH}_4^{+}$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^{-}$ ) o cuando es fijado biológicamente por microorganismos libres o simbiótico

##### **Síntomas de Deficiencia**

Según Condori (2010), las plantas deficientes en nitrógeno presentan los siguientes síntomas;

- ✓ Las plantas deficientes de N son más pequeñas de lo normal
- ✓ Clorosis en las hojas adultas (el nitrógeno se transporta de hojas adultas a hojas más jóvenes debido a su alta movilidad)
- ✓ Algunas plantas como el tomate o el maíz muestran una coloración purpúrea causada por la acumulación de pigmentos antocianos.
- ✓ Aumento de la concentración de azúcares
- ✓ Menor crecimiento foliar frente al desarrollo radicular.
- ✓ Disminución de tamaño celular.
- ✓ Disminución de síntesis de proteínas.
- ✓ La floración queda muy restringida con notable reflejo en la fructificación.
- ✓ Las enfermedades, heladas y granizadas producen mayores efectos
- ✓ El crecimiento se hace lento e incluso puede paralizarse

#### 4.5.2. Fosforo (P)

Las plantas contienen de 0,3 - 3% de fósforo en su estructura. Es un elemento fundamental debido a que forma parte de la estructura básica de la energía química ATP (adenosín trifosfato), el cual es utilizado en la fase oscura para la asimilación de CO<sub>2</sub> y la formación de azúcares como la glucosa. Sin este elemento el desarrollo y crecimiento de la planta no existiría (Mata, 2006).

Así mismo, el fósforo es importante para el desarrollo inicial de las plantas, debido a que provoca un crecimiento inicial rápido en raíces, tallos y hojas. Además, estimula una floración vigorosa y una vez que la planta absorbe el fósforo, ya sea como H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>-o HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, desempeña las siguientes funciones esenciales en la planta (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura [Intagri], 2017).

- ✓ Forma parte de fosfo-proteínas, fosfolípidos (membranas), fitinas (reserva);
- ✓ Es parte esencial de los ácidos nucleicos;
- ✓ Es constituyente esencial de los nucleótidos;
- ✓ Estimula el desarrollo radicular
- ✓ Promueve la floración y formación de semilla; y, finalmente es demandado por las plantas para la fijación biológica del nitrógeno (N).

#### 4.5.3. Potasio(K)

El potasio es el tercero de tres macronutrientes primarios junto al Nitrógeno (N) y al Fosforo (P) esenciales para las plantas, el cual es absorbido por las mismas en grandes cantidades, conteniendo en su estructura del 0.05 - 1.0 % de potasio. (Fertibox, 2019). Por lo antes mencionado, el potasio es uno de los elementos esenciales en la nutrición de la planta cuya movilidad es limitada y se encuentra en pequeñas cantidades en los suelos. Las concentraciones de potasio se requieren para la conformación activa de muchas enzimas que participan en el metabolismo. De esta manera, concentraciones abundantes de K<sup>+</sup> son necesarias para neutralizar los aniones solubles y macromoleculares del citoplasma, que tiene pocos cationes orgánicos. Ya que el K<sup>+</sup> contribuye bastante con el potencial osmótico. Participa durante el proceso de la fotosíntesis y promueve la translocación de fotosintatos, regula la apertura de las estomas y el uso del agua, promueve la absorción de Nitrógeno (N) y la síntesis de las proteínas (Ramos, 2011).

## **Síntomas de Deficiencia**

La deficiencia de este macronutriente en las plantas se manifiesta rápidamente debido a las grandes cantidades con que es requerida por ellas (cuatro veces más que el P y casi a la par que el N). Generalmente, suelen producirse diferentes anormalidades por déficit de potasio en la planta relacionadas con el crecimiento (Fertibox, 2019).

Según Cherlinka (2022), los síntomas de deficiencia de nutriente como potasio en las plantas se manifiestan como; Amarillamiento del margen de la hoja, putrefacción, chamuscado, arrugamiento, encogimiento y necrosis de la planta.

### **4.5.4. Calcio**

Es esencial para el crecimiento de las raíces y como un constituyente del tejido celular de las membranas. Es absorbido bajo la forma de  $\text{Ca}^{+2}$ . Aunque la mayoría de los suelos contienen suficiente disponibilidad de Ca para las plantas, la deficiencia puede darse en los suelos tropicales muy pobres en Ca (FAO, 2002). Desempeña una actividad antagónica al potasio, favoreciendo la reducción del volumen del plasma, incrementando la transpiración y reduciendo la absorción del agua (Piaggese, 2004).

### **4.5.5. Magnesio**

Es absorbido por las plantas como ion bivalente  $\text{Mg}^{+2}$  y es, el constituyente central de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que funciona como un aceptador de la energía provista por el sol; por ello, del 15 al 20% del magnesio contenido en la planta se encuentra en las partes verdes.

El Magnesio participa en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta (FAO, 2002).

El contenido del Magnesio está estrechamente correlacionado con la naturaleza física del suelo, es mayor la disponibilidad en suelos arcillosos y mínimo en aquellos arenosos donde el magnesio está sometido a fuertes lavados. La disponibilidad de este elemento está fuertemente limitada en suelos netamente alcalinos o ácidos y en aquellos con bajo contenido de materia orgánica (Piaggese, 2004).

El magnesio ayuda al almacenamiento de los azúcares en la planta, indispensables en la formación de los carbohidratos, aceites y grasas como cofactor enzimático. (Mata, 2006).

## **Síntomas de Deficiencia**

El síntoma más característico de una deficiencia de magnesio es la clorosis interna en las hojas, los cuales se hacen muy evidentes en los ápices y apenas acusada en la base. Con

deficiencias extremas se puede producir necrosis. La deficiencia de magnesio ocurre inicialmente en las hojas viejas, ya que dada su movilidad es transportado desde ellas hasta las hojas jóvenes cuando se inicia la brotación. La afectación de una deficiencia de Magnesio puede ir desde pocas ramas hasta provocar una defoliación completa del árbol (Agusti, 2010).

#### **4.5.6. Azufre (S)**

Las plantas contienen de 0.03-0.08% de azufre en su estructura. La función más importante del S está relacionada con su participación en la síntesis de las proteínas. El azufre forma parte de los aminoácidos cisteína, cistina, tiamina y metionina; también de compuestos como la coenzima A, vitamina B1 y algunos glucósidos, los cuales dan el olor y sabor característicos a algunas plantas, como las crucíferas y liliáceas (Mata, 2006).

##### **Síntomas de Deficiencia**

El síntoma característico de la falta del azufre en la planta es la clorosis, sobre todo en hojas jóvenes con las venas con frecuencia más pálidas que el tejido intervenal; las hojas son delgadas y la planta da un aspecto arbustivo; con crecimiento limitado. (Bennett, 1997).

#### **4.5.7. Zinc (Zn)**

Es absorbido por las raíces de las plantas como ión bivalente ( $Zn^{2+}$ ). También es muy fácilmente absorbido por la epidermis foliar y por las ramas. Está implicado en la síntesis del triptófano, precursor clave de las auxinas. Estimula diversas actividades enzimáticas en los vegetales, el metabolismo del nitrógeno y la pigmentación de pigmentos flavonoides y del ácido ascórbico. El cobre y el magnesio a menudo hacen sinergias con el zinc (Piaggese, 2004).

##### **Síntomas de Deficiencia**

La deficiencia del zinc ocasiona una disminución del crecimiento y especialmente la necrosis de hojas viejas en las plantas deficientes de Zn se intensifica con alta intensidad luminosa (Kyrby & Rómbeld, 2007).

#### **4.5.8. Cobre (Cu)**

El cobre es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas; sin embargo, estas mismas lo requieren en pequeñas cantidades, es absorbido normalmente como  $Cu^{+2}$ . La función principal del Cu en la planta es la de participar como coenzima en varios sistemas enzimáticos involucrados en la formación y conversión de aminoácidos, así como en la desintoxicación de radicales superóxidos. (Ravet y Pilon, 2013).

El cobre ayuda a formar lignina en las paredes celulares, que proporcionan soporte para mantener las plantas en posición vertical. Es particularmente importante para la formación de polen viable, la formación de semillas y la resistencia al estrés. Debido al

antagonismo que el Cu guarda con algunos nutrimentos, puede ser utilizado como auxiliar para atenuar toxicidades, como la de Zn (Intagri, 2020).

#### **Síntomas de Deficiencia**

Según Sela (2019), los síntomas varían entre diferentes cultivos y pueden incluir:

- ✓ Hojas jóvenes retorcidas
- ✓ Las hojas jóvenes pueden presentar un color verde azulado
- ✓ Clorosis entre las venas de las hojas jóvenes
- ✓ Apariencia compacta de toda la planta
- ✓ Caída de hojas maduras
- ✓ Floración tardía
- ✓ Marchitez

#### **4.5.9. Hierro (Fe)**

Es un microelemento esencial, es absorbido como en forma de  $Fe^{2+}$ , forma parte de citocromos, proteínas y participa en reacciones de óxido-reducción. En las hojas, casi todo el hierro se encuentra en los cloroplastos, donde juega un papel importante en la síntesis de proteínas cloroplásticas. También forma parte de una gran cantidad de enzimas respiratorias, como la peroxidasa, catalasa, ferredoxina y citocromo-oxidasa. El efecto más característico de la deficiencia de hierro es la incapacidad de las hojas jóvenes para sintetizar clorofila, tornándose cloróticas, y algunas veces de color blanco. El hierro es virtualmente inmóvil en la planta, quizás porque es precipitado como un óxido insoluble o en las formas de fosfatos férricos inorgánicos y orgánicos (Hernández, 2011).

#### **Síntomas de Deficiencia**

Según Pardo (2021), los síntomas de deficiencia de nutriente como potasio en las plantas se manifiestan como;

- ✓ Clorosis intervenal.
- ✓ Los síntomas aparecen primero en las hojas jóvenes.
- ✓ Plantas de color amarillento — blanquecino.
- ✓ Las hojas viejas se amarillan, se arrugan y se caen.
- ✓ Desintegración de cloroplastos.
- ✓ Tallos cortos, delgados y curvados.
- ✓ Frutos pequeños, maduración precoz.

#### **4.5.10. Manganeso (Mn)**

El manganeso (Mn) es un micronutriente importante para la planta y es el segundo más requerido, solo por debajo del hierro. Así como cualquier otro elemento, este puede ser un factor limitante para el crecimiento de la planta si está en bajas o altas (toxicidad) concentraciones en el tejido foliar (Chen, 2022).

##### **Síntomas de Deficiencia**

Una leve deficiencia de Manganeso afecta la fotosíntesis y reduce el nivel de carbohidratos solubles en la planta, pero el suplemento de este micronutriente reactiva la evolución fotosintética de oxígeno (Kyrby & Rómbeld, 2007).

#### **4.5.11. Boro (B)**

Es utilizado por las plantas como ácido bórico, forma en el cual se encuentran a pH neutro. En las plantas se encuentra en pequeñas cantidades especialmente en las jóvenes, las cuales contienen cerca del doble con respecto a las partes adultas. Las raíces tienen en menor cantidad que las hojas (Piaggese, 2004).

##### **Síntomas de Deficiencia**

Los primeros síntomas reflejan dificultades en la división y desarrollo celular. Las células se dividen, pero la separación no se produce correctamente con lo cual se presenta un desarrollo incompleto e irregular de las hojas que parecen distorsionadas, y una falta de elongación de los entrenudos. Alteración en la formación de flores y frutos. Aparición de frutos deformados. Las raíces se espesan, a veces se hacen más finas y débiles y presentan puntas necrosadas, deteniéndose el crecimiento (Alarcón, 2001).

#### **4.5.12. Molibdeno (Mo)**

El Molibdeno difiere del Fe, Mn y Cu, en el hecho de que está presente en las plantas como anión, principalmente en la forma más oxidada, Mo (VI), pero también como Mo (V) y Mo (IV). Además, diferente a todas las otras deficiencias de micronutrientes, la deficiencia de Molibdeno está asociada con las condiciones de pH bajo. (Kyrby & Rómbeld, 2007).

##### **Síntomas de Deficiencia**

Los síntomas de deficiencia de Molibdeno son menos severos, e inclusive ausentes, en las plantas que reciben  $\text{NH}_4^+$ , en comparación con plantas que reciben  $\text{NO}_3^-$ .

Al respecto Pérez (2017), indica que la deficiencia de molibdeno presenta un crecimiento lento de la planta y una reducción de la floración.

#### **4.6. Evaluación Química de la Fertilidad del Suelo**

La fertilidad química se refiere a la capacidad que tiene el suelo de proveer nutrientes esenciales a los cultivos (aquellos que de faltar determinan reducciones en el crecimiento y/o desarrollo del cultivo). En este sentido se evalúa la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través de análisis de suelos y/o plantas a través de un proceso diagnóstico y posteriormente se definen estrategias de fertilización (Torres, 2008).

Para determinar la fertilidad del suelo se recurre al análisis químico de suelos que debe ser un procedimiento práctico, y confiable para evaluar apropiadamente la fertilidad de un suelo.

Este análisis se realiza utilizando disoluciones extractoras que simulan la capacidad extractora de la raíz de la planta. El procedimiento debe ser rápido, preciso y con un costo de ejecución bajo. La disolución Olsen modificado se utiliza para la extracción en suelos de Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso y Potasio. La disolución KCl 1 mol/L se utiliza para la extracción de Calcio, Sodio y Magnesio (Pérez, 2014).

##### **4.6.1. Fertilidad Actual**

Hace referencia al estado en el que un suelo se encuentra en un momento determinado, ya sea natural o adquirida, y se manifiesta en la capacidad de absorción de nutrientes que tienen las plantas, en función de la disponibilidad de los macro y micronutrientes en el sustrato. (Navarro, 2014).

##### **4.6.2. Fertilidad Potencial**

Es la capacidad del suelo para mantener su fertilidad natural, se basa sobre todo en una textura favorable del suelo con un contenido aceptable de materia orgánica. La textura no se puede cambiar mediante la fertilización y el contenido de materia orgánica solo mediante un manejo especial durante muchos años. Estos son los criterios que determinan la estructura del suelo, la capacidad de almacenamiento de agua y la capacidad de intercambio de cationes del suelo. En general un suelo con una cantidad de 40% de limo, 30% de arena y 30% de arcilla con un contenido alto de materia orgánica ( $CO > 7\%$ ) recibe una calificación alta, mientras un suelo con un contenido alto de arena o arcilla ( $> 50\%$ ) y con poca materia orgánica ( $CO < 3\%$ ) recibe una calificación baja, tomando en cuenta las exigencias del cultivo (Romero, 2008).

## **4.7. Métodos Directos para el Análisis Químico de la Fertilidad de los Suelos.**

### **4.7.1. Principios Generales**

Los métodos utilizados para la evaluación de la disponibilidad de los nutrientes es la selección de una u otra solución para un elemento dado, se basa en la mayor o menor asociación entre la cantidad del elemento extraído por la solución y lo que realmente extrae la planta. En términos prácticos, una solución extractora será eficiente o adecuada cuando a valores altos de extracción correspondan también valores altos de absorción del elemento y cuando los valores bajos de extracción coincidan con baja absorción del elemento por la planta. En caso contrario supondrá una eficiencia baja o nula (Ramos, 2003).

### **4.7.2. Solución Extractora Mehlich I**

El agua es una de las soluciones extractoras, como también la mezcla de ácido clorhídrico 0.05 N con ácido sulfúrico 0.025 N (muy usada en Carolina del Norte y conocida como Mehlich 1) (León, 1981).

Las soluciones extractoras existentes extraen en su mayoría las pequeñas cantidades del nutrimento de la solución del suelo (factor intensidad), que está en equilibrio con el nutrimento de la fase sólida del suelo (factor capacidad). En el último caso, las soluciones extractoras extraen solo parte de este nutrimento.

Ramos (2003), manifiesta que este método sirve básicamente para determinar el fósforo en los suelos arenosos que tienen una capacidad de intercambio menor a  $10 \text{ cmol kg}^{-1}$ ; de pH = 6,5 ácido; y con un contenido relativamente bajo de materia orgánica menor de 5%, este método nos es recomendable para suelos alcalinos. Extrae cantidades de fósforo no disponible en suelos con pH mayores de 6.0.

### **4.7.3. Solución Extractora Mehlich II**

Ramos (2003), manifiesta que este método sirve básicamente para determinar el fósforo en los suelos arenosos que tienen una capacidad de intercambio menor a  $10 \text{ cmol kg}^{-1}$ ; de pH = 6,5 ácido; y con un contenido relativamente bajo de materia orgánica menor de 5%, este método nos es recomendable para suelos alcalinos. Extrae cantidades de fósforo no disponible en suelos con pH mayores de 6.0.

#### **4.7.4. Solución Extractora Bray I**

Está formada por fluoruro de amonio 1M y ácido clorhídrico 0,5M. Para suelos ácidos, el fluoruro incrementa la liberación del fósforo y decrece la liberación del aluminio por la formación del complejo aluminio y fluoruro. Es una solución extractora no recomendable para suelos calcáreos debido a la neutralización de los carbonatos de calcio lo cual disuelve el complejo de fósforo calcio. Una desventaja de esta solución es la interferencia del fluoruro en la formación el color, para evitar esta interferencia se utiliza bisulfito de sodio (Chonay et al., 2000)

#### **4.7.5. Solución Extractora Olsen Modificado**

Esta solución (Olsen Modificada) extrae la cantidad de nutrientes de una manera similar a la que harían las raíces de las plantas en un medio-ambiente equilibrado. Este extractante ha sido evaluado por medio de estudios de correlación entre la cantidad de nutriente absorbido y la cantidad de nutriente extraído del suelo por varios cultivos. El extractante químico es parte esencial del análisis de suelo y la confiabilidad del mismo depende de la eficiencia de éste.

Según Ramos (2003), esta solución está compuesta por: 0.5 N de  $\text{NaHCO}_3$ , 0.01M de EDTA y 0.5 g de superfloc 127 para preparar 10 litros de solución. Este método es apropiado para suelos de origen volcánico; además, representa un método para extracción de macronutrientes como: P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes como: Zn, Cu, Fe y Mn. 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 (RELASE, 2016).

El fósforo extraído con  $\text{NaHCO}_3$  generalmente es menor que el extraído con Mehlich I y Bray I. Se ha reportado que la solución extractora de Olsen Modificado tiene una buena correlación con la extracción de fósforo con Resina intercambiable (Cajuste, 1986).

#### **4.7.6. Determinación de $\text{NH}_4$ , mediante espectrofotometría Uv-Visible**

Según Pulgarín (2005), la determinación del nitrógeno amoniacal en los suelos empleando determinaciones espectrofotométricas Uv-Vis, se basan en la formación de complejos coloreados con la presencia del ión  $\text{NH}_4^+$ . La intensidad de color desarrollada a una longitud de onda dada, es comparada con la de otras soluciones de concentración conocida o soluciones estándar (soluciones que contienen la misma especie absorbente en estudio); de

esta forma se determina la concentración de la muestra problema; en este caso una muestra de suelo de concentración desconocida (Skoog, Holler, & Crouch, 2008).

El nitrógeno disponible (nitrógeno amoniacal) se extrae del suelo, empleando la solución extractante Olsen modificada a pH 8,5. La determinación de nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>4</sub>) en el extracto de suelo, se basa en la formación de un complejo coloreado (azul indofenol), el cual se desarrolla por la reacción entre el amonio presente en el extracto de suelo y el fenol en solución alcalina (fenol básico), con la presencia de hipoclorito de sodio como agente oxidante. El color de este complejo coloreado tiene un color verde azulado, el cual se mide mediante espectrofotometría UV-Vis a una longitud de onda de 630 nm (McKean, 1993) y se compara con la intensidad de color que presentan soluciones estándar para poder estimar la concentración de las muestras de suelo.

#### **4.8. Utilización de la Solución Olsen Modificada en el Ecuador.**

Según Padilla (2009), los estudios de correlación realizados en Ecuador, hasta el momento, han demostrado que la solución extractora de Olsen modificada, compuesta por bicarbonato de sodio, EDTA y un floculador, ajustada a pH de 8,5 con NaOH 10 N, ha alcanzado grados altos de correlación con las respuestas de las plantas, en los diferentes elementos que son analizados en el extracto de suelo. AGROBIOLAB Cía.Ltda., utiliza la solución extractora que luego de muchos años de estudio e investigación en el país, ha sido determinada como la más idónea para la determinación de los diferentes elementos nutritivos, que por su origen poseen características muy especiales. Esta solución extrae la cantidad de nutrientes de una manera similar a la que harían las raíces de las plantas en un medio-ambiente equilibrado. Este extractante ha sido evaluado por medio de estudios de correlación entre la cantidad de nutrientes absorbidos y la cantidad de nutriente extraído del suelo por varios cultivos (Padilla, 2009)

#### **4.9. La Red de Laboratorios de Suelos en el Ecuador (RELASE).**

La RELASE tiene como objetivos brindar a los productores un servicio que cumpla con los estándares de calidad para el estudio de suelos, foliares y aguas, así como también homologar e implementar metodologías de análisis para la determinación de nutrientes en dichas matrices y establecer planes de mejora en los diferentes laboratorios agrícolas del país que se encuentran conformando la Red. Esta se encuentra bajo la Coordinación de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro – AGROCALIDAD, a través del Laboratorio de Suelos, Foliares y Aguas (Jaramillo, 2018).

En los análisis de suelos, más del 70% de los laboratorios en los análisis de materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio, y zinc entregan resultados satisfactorios. En el caso del pH el 55% de los laboratorios de análisis satisfactorio, el 36% cuestionable y el 9% no satisfactorio. En el caso de micronutrientes para el Zn el 88%, Fe 75%, Cu 62% y Mn 50% de los laboratorios entregan datos confiables (Carrera, 2008).

#### **4.10. Evaluación Biológica de la Fertilidad del Suelo.**

El método utilizado para la determinación experimental de los elementos esenciales para las plantas ha estado basado en el empleo de las llamadas disoluciones nutritivas. La planta se cultiva de tal modo que sus raíces se encuentran sumergidas en un recipiente que contiene un medio nutritivo líquido, formado por una disolución acuosa de diversas sales, la cual es renovada una vez agotada. Para lograr un buen crecimiento de la raíz y una normal absorción de los nutrientes, es necesario proporcionarle un buen sistema de aireación, y que la disolución contenga todos los elementos requeridos por la planta en forma conveniente y en proporciones adecuadas (Navarro, 2003).

Según Sánchez (1981), los indicadores de fertilidad son aquellas plantas usadas como determinadoras de la fertilidad del suelo. Los métodos de determinación de calidad de suelos son más complejos si incluyen el uso de indicadores, ya que plantas sin una suplementación de nutrientes adecuada presentaran síntomas evidentes de deficiencias tales como el crecimiento lento y desarrollo anormal.

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).

#### **4.11. Fertilización de Cafetales.**

Una de las prácticas que contribuye con un óptimo crecimiento y al logro del máximo potencial productivo en el cultivo del café, es la fertilización. Esta labor puede realizarse mediante un plan ajustado a los resultados de los análisis de suelos o a través de un plan de abonamiento general. Mediante la fertilización se busca mantener o aumentar los contenidos de la materia orgánica y los nutrientes en el suelo, para que las deficiencias o excesos, debido a la naturaleza del material parental, al clima al uso y manejo del suelo se corrijan, de acuerdo con las exigencias de los cultivos y la potencialidad de la productividad del sitio. Esta práctica también ayuda incrementar la resistencia de las plantas a condiciones de estrés como a la

incidencia de plagas, enfermedades y sequías, entre otras y mejorar la calidad de las cosechas. (González, 2012).

Cuando las decisiones acerca de la fertilización de los cafetales son soportadas en los resultados de análisis de suelos, se reducen los riesgos económicos y ambientales, debido a que se suministran al cultivo los elementos requeridos en las cantidades adecuadas (Sadeghian, 2008).

#### 4.12. Requerimiento de los nutrientes para el café.

La cantidad de fertilizantes y las fuentes de macro y micronutrientes a ser aplicados en los 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 1) , se indican los requerimientos de macro nutrientes y micro nutrientes, de acuerdo a la interpretación del análisis químico del suelo alto, medio y bajo (Enríquez & Duicela, 2014)

**Tabla 1.** *Requerimientos de macro y micronutrientes en cafetales*

AUTORES	I	N	P	K	S	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
<b>Bertsch, 2009</b>		242	22	256	19	141	34	0.19	0.32	2.27	1.81	0.60
<b>Sintrainduscafe, 2020</b>		112	18	125	9	36	15	-	-	-	-	-
<b>Vignola et al., 2018</b>		150-300	30-50	100-200	30-60		40-80		5-10			3-5
<b>Enríquez y Duicela, 2014</b>	B	200	60	150	150	340	15	3	3	3	1.5	10
<b>COFENAC y Dublinsa, 2012</b>		300	60	150	150	340	15	3	-	3	1.5	3
<b>Valarezo, 2014</b>		100	60	100	5	-	80	-	-	-	-	-
<b>Enríquez y Duicela, 2014</b>		100	40	50	50	150	10	1.5	1.5	1.5	0.75	5
<b>COFENAC y Dublinsa, 2012</b>	M	200	40	220	50	150	10	1.5	-	1.5	0.8	1.5
<b>Iñiguez, 2007</b>		208	57	10	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Valarezo, 2014</b>		50	30	50	3	-	60	-	-	-	-	-
<b>Enríquez y Duicela, 2014</b>		50	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>COFENAC y Dublinsa, 2012</b>	A	100	20	20	0	0	0	0	-	0	0	0
<b>Iñiguez, 2007</b>		130	40	140	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Valarezo, 2014</b>		25	15	25	0	-	20	-	-	-	-	-

Nitrógeno (N); Fósforo (P); Potasio (K); Azufre (S); Calcio (Ca); Magnesio (Mg); Zinc (Zn); Cobre (Cu); Hierro (Fe); Manganeseo (Mn); Boro (B).

B=bajo; M= medio; A=Alto

Fuente: (Enríquez & Duicela, 2014), (Abad, 2023)

#### 4.13. Relación entre Cationes Intercambiables.

Con los resultados de los análisis químicos, se calcula la relación de cationes intercambiables:  $\text{Ca}/\text{Mg}^{-1}$ ,  $\text{Mg}/\text{K}^{-1}$ ,  $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K}^{-1}$ , 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).

Según Cenicafe (2010), para el cultivo de café la relación de cationes está en los diferentes rangos adecuados para café, según la bibliografía. (Tabla 2).

**Tabla 2.** Relación entre cationes intercambiables adecuados para el café,

Autores	Relaciones entre cationes	Rangos óptimos ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	Nivel crítico ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	Recomendación
(Enríquez y Duicela, 2014)	$\text{Ca Mg}^{-1}$	2.6-8	$\text{Si} < 2.6$	Agregar Calcio
			$\text{Si} > 8.0$	Agregar Magnesio
	$\text{Mg K}^{-1}$	7.5-15.0	$\text{Si} < 7.5$	Agregar Magnesio
			$\text{Si} > 15.0$	Agregar Potasio
$(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{K}^{-1}$	27.5-55.0	$\text{Si} < 27.5$	Agregar Calcio y Magnesio	
		$\text{Si} > 55.0$	Agregar Potasio	
(Monge, 1999)	$\text{Ca Mg}^{-1}$	2.0-5.0		
	$\text{Mg K}^{-1}$	2.5-15.0		
	$(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{K}^{-1}$	10.0-40.0		
(Salamanca, 1990)	$\text{Ca Mg}^{-1}$	2.0-4.0		
	$\text{Mg K}^{-1}$	3	$\text{Si} > 18$	Agregar Potasio
	$(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{K}^{-1}$	10	$\text{Si} > 40$	Agregar Potasio
(Valencia, 1989)	$\text{Ca Mg}^{-1}$	3		
	$\text{Mg K}^{-1}$	2		
	$(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{K}^{-1}$	8		
(Ramírez, 1980)	$\text{Ca Mg}^{-1}$	2.0-5.0		
	$\text{Mg K}^{-1}$	2.5-15.0		
	$(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{K}^{-1}$	10.0-40.0		
(Briceño y Carvajal, 1973)	$\text{Ca Mg}^{-1}$	2.2-4	$\text{Si} > 4$	Insuficiencia de Magnesio
	$\text{Mg K}^{-1}$	1.0-8.0	16.5-18	Insuficiencia de Potasio
	$(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{K}^{-1}$	2.2-23.5	$\text{Si} > 44$	Insuficiencia de Potasio

Fuente: (Enríquez y Duicela, 2014), (Cenicefe, 2010).

#### 4.14. Trabajos relacionados al objeto de investigación.

En la Universidad Nacional de Loja (Guayllas, 1988), evaluó el estado nutricional de los suelos de Cañicapac y Ñamarin, Cantón Saraguro mediante un método biológico; empleando plantas indicadoras de tomate (*Solanum lycopersicum*) y trigo (*Triticum vulgare*),

Los resultados señalaron que en las comunidades en dichas comunidades el N y P fueron los elementos deficientes. En la primera Comunidad, los mejores promedios de altura de planta de tomate se consiguieron con los tratamientos de Zn y solución completa, alcanzando 33,3 y 32,6 cm en su orden, en Cañicapac los mejores datos se obtuvieron con: -Zn: 32 cm, -Solución completa: 31,3 cm, -Mg: 30 cm, -K: 28,4 cm y -S: 27,8 cm de altura. El promedio más alto de materia seca correspondió a los tratamientos: solución completa: 14,1 por ciento y Zn: 14 por ciento en Ñamarín y Zn: 14 por ciento, solución completa: 14,1 y -K: 13,1 % en Cañicapac. Indicándose también que los valores más bajos de materia seca se obtuvieron en los tratamientos P y N

Mendoza, (2013), realizó el experimento de la evaluación biológica que se estableció bajo un invernadero del sitio Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja, donde se investigó la fertilidad de doce tratamientos de suelo desarrollado sobre arenisca cuarzosa en el Pangui, después de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, en una plantación de pachaco y arabisco, utilizando tomate de mesa como planta indicadora donde se concluye que el N, B, K y P resultaron ser los elementos deficientes. Además se ha determinado la disponibilidad de los elementos N, P, K, CA, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn mediante la extracción de Olsen Modificado donde el N no presentó correlación significativa ( $r=0,21$ ) entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutrimento disponible del análisis químico; mientras que el fosforo manifestó una fuerte correlación ( $r=0,88$ ); el K, Mg y Zn mostraron una moderada correlación ( $r= 0,63$ ;  $r= 0,52$  y  $0,49$ ); y finalmente las correlaciones para el Fe, Mn y Cu fueron negativas, en el orden de  $-0,73$ ,  $-0,62$  y  $-0,59$ .

Zambrano, (2019) realizó la evaluación biológica en el suelo del Sistema agroforestal con café en Consapamba en el cual la evaluación biológica indico que, en N, S, P, resultaron ser lo elementos más deficientes. El P, Zn, Mn, B, Fe, no presento correspondencia entre la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico. Además, propone una aplicación de nutrientes para cafetales en producción de: N: 200; P:30; K:100; Mg:20 S:150; Zn:3 B:5; kg ha-1.

Lima (2023) realizó la evaluación biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café en el sector Guanga perteneciente al Cantón Olmedo, en la cual concluyo que los elementos que no presentaron correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico de los siguientes elementos fueron el P, N, K, Cu, y B, aso mismo los elementos más deficientes fueron N, P, K.

## 5. Metodología

### 5.1. Ubicación del Área de Estudio

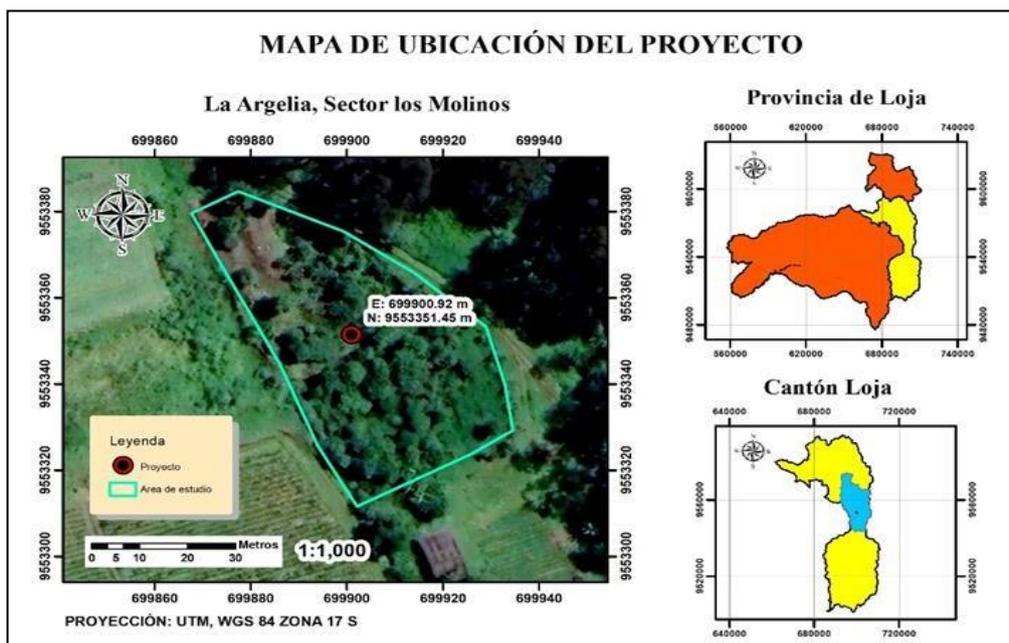
El proyecto de investigación se llevó a cabo en la Quinta Experimental “La Argelia”, al sur de la ciudad de Loja, cuya jurisdicción pertenece a la parroquia de San Sebastián del Cantón y Provincia de Loja.

#### 5.1.1. Ubicación Geográfica

El sitio experimental está ubicado en el sector Los Molinos de la Estación experimental “La Argelia”, de la ciudad de Loja, en las siguientes coordenadas planas UTM. Zona geográfica: 17

- ✓ Latitud Norte: 9 553351,45 m
- ✓ Longitud Este: 699900,92 m
- ✓ Altitud media: 2 140 m.s.n.m.

**Figura 1.** Mapa de Ubicación del Proyecto



Fuente: El Autor

#### 5.1.1. Aspectos Climáticos

Según Holdridge (1967), ecológicamente la Estación Experimental “La Argelia Loja”, corresponde a una Zona de vida conocida como bosque seco montano bajo bs- Mb.

Según los datos registrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), para un registro de 43 años (1971 a 2014), las condiciones climáticas son las siguientes: Precipitación media anual: 906,9 mm/año, Temperatura media anual: 15,5 °C, Temperatura máxima: 27,8 °C, Temperatura mínima: 3 °C, Humedad relativa máxima: 78 %, Humedad relativa mínima: 72 %, Humedad relativa media: 74 %, Velocidad del viento media: 3,1 m s<sup>-1</sup> (INAMHI, 2014).

### **5.1.2. Localización de Ensayo de la Evaluación Biológica**

El ensayo se instaló con las muestras del sector de estudio, en el invernadero ubicado en el Herbario de la Universidad Nacional de Loja, la misma que se encuentra ubicada a 3 Km del sur de la ciudad de Loja, en las coordenadas planas 9 553351.45 mNorte y 699900.92 m Este, a una altitud promedio de 2140 m.s.n.m.

## **5.2. Materiales y Equipos**

Se utilizó, 108 tarrinas de plástico de 750 ml, 108 vasos plásticos de 250 ml, semillas de tomate, fundas de papel y plástico, recipiente de plástico 20 lt y 6 lt, barreno, bidones de agua, tejido nylon, muestras de suelo, GPS, balanza de precisión de 0,1gr, estufa.

## **5.3. Metodología para el Primer Objetivo**

### **5.3.1. Material Parental**

Se tomó rocas del sitio estudio, para luego ser analizadas y clasificadas y así se observó a que formación geológica son pertenecientes.

### **5.3.2. Descripción de Calicatas**

Se realizó la descripción de cada uno de los horizontes, en base de las normas contenidas en la “Guía y claves para la descripción de perfiles de suelos” de la organización de las naciones unidas y la designación de los horizontes y capas se realizó siguiendo la nomenclatura contenida en el UDSA Soil Taxonomy (2014).

### **5.3.3. Análisis Químicos.**

Una vez realizadas las calicatas se tomó muestras disturbadas de cada horizonte de los tres perfiles del suelo, con el objetivo de realizar análisis químicos como; pH, Acidez Intercambiable, Materia Orgánica, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica.

Los respectivos análisis que se mencionan a continuación se realizaron en bases a la metodología descrita en la guía de prácticas (Laboratorio de Análisis Físico-Químicos de Suelos, Aguas y Bromatología [LABSAB],2000).

Para la determinación de pH se utilizó el método del potenciómetro relación 1:2.5 suelo-agua; para la acidez intercambiable mediante la solución salina KCl 1 N; la materia orgánica por el método de Walkley Black; capacidad de intercambio catiónico mediante el método del formaldehído; conductividad eléctrica por el conductímetro y los nutrientes disponibles N y P espectro fotómetro UV visible; K, Mg, Ca, S, Cu, Mn, Fe y B espectro fotometría utilizando el extractante de Olsen modificado.

#### **5.3.4. Barrenaciones para la Toma de las Muestras.**

En la Estación experimental La Argelia, con ayuda de un barreno se recolecto tres muestras de suelo de cada unidad experimental, a una profundidad de 25 cm, se tomó 8kg de suelo en zic-zac, de los cuales, se dividió; 1kg para los análisis químicos que se envió al INIAP y 7kg para la evaluación biológica (12 soluciones nutritivas con 9 repeticiones, número total de plantas 108).

Los tratamientos son las soluciones nutritivas (SC, -N, -P, -K, -Mg, -S, -Fe, -Mn, -Zn, B y -Cu, testigo).

Variables evaluadas: Altura de la planta de tomate (cm) y peso de la materia seca (gr).

### **5.4. Metodología para el Segundo Objetivo**

#### **5.4.1. Diseño de la Investigación**

Se utilizó un diseño completamente al azar, con tres repeticiones, se realizó 12 tratamientos con un total de 36 unidades experimentales

#### **5.4.2. Evaluación Biológica de la Fertilidad Actual del Suelo.**

En el sitio experimental se recolecto 3 submuestras del suelo del bloque número 2al cual se procedió a dividir en tres repeticiones (Anexo 1) , recolectando 12 submuestras de cada repetición a una profundidad de 25 cm, con un peso de 8 Kg de suelo, de los cuales por cada repetición se dividió: 1 kg para análisis químicos que se envió al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y 7 kg para la evaluación biológica (12 soluciones nutritivas con 3 repeticiones, número total de plantas 108) (Tabla 3).

**Tabla 3.** *Soluciones Nutritivas*

<b>Tratamientos (soluciones nutritivas)</b>	
Solución nutritiva completa	(Sc)
Solución nutritiva menos	(-N)
Solución nutritiva menos	(-P)
Solución nutritiva menos	(-K)
Solución nutritiva menos	(-Mg)
Solución nutritiva menos	(-S)
Solución nutritiva menos	(-Zn)
Solución nutritiva menos	(-Cu)
Solución nutritiva menos	(-Mn)
Solución nutritiva menos	(-B)
Solución nutritiva menos	(-Fe)
Testigo	(T)

**Fuente:** *Autor*

Variables evaluadas: altura de la planta (cm) y peso de materia seca (g).

#### **5.4.3. Preparación de las Soluciones Nutritivas.**

En las tablas 4 y 5 se indican los tipos de sales y las cantidades para la preparación de las soluciones madre (1 N) de los macro y microelementos (Anexo 4).

**Tabla 4.** *Tipo de sales para preparar la solución madre de macroelementos.*

<b>Sales</b>	<b>Peso molecular (g)</b>	<b>Cantidades para 1 L de solución</b>
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	236	118 g
KNO <sub>3</sub>	101	101 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136	136 g
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	120	120 g
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174	87 g
0MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	246	123 g
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	202	101 g
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	218	109 g
NaCl	58	58 g

**Fuente:** *Tandazo, 2019*

**Tabla 5.** Concentración de la solución madre y cantidad microelementos.

Micronutrientes	gr/l	ppm solución madre	ml/l	Cantidades para 1 L de solución
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	1,81	500	1	1,81 g
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,82	500	1	2,86 g
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,22	50	1	0,22 g
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,16	40	1	0,16 g
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O	0,04	20	1	0,04 g
NaFe.EDTA	32,75	200	1	32,75 g

Después de la preparación de la solución madre en la tabla 6, de las soluciones madre en ml para preparar 1 lt de las soluciones nutritivas.

**Tabla 6.** Volúmenes de la solución madre para 1L de solución nutritiva

Solución stock	Mililitros de solución madre que se debe adicionar										
	Sc	(-N)	(-P)	(-K)	(-Mg)	(-S)	(-Zn)	(-Cu)	(-Mn)	(-B)	(-Fe)
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	6,00	-	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
KNO <sub>3</sub>	2,00	-	2,00	-	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2,00	2,00	-	-	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	-	-	-	2,00	-	-	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	2	2,00	-	1,00	-	-	-	-	-	-
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	1,50	1,5	1,50	1,50	-	-	1,50	1,50	1,50	2,50	3,50
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	1,50	-	-	-	-	-
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NaCl	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
NaFe.EDTA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	1,00
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	1,00
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>3</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Tandazo, 2019

#### 5.4.4. Preparación de las Muestras de Suelo

Una vez que fueron recolectadas las muestras se las seco a capacidad de campo, bajo sombra de invernadero y se precedió a triturar los terrones grandes. (Anexo 2 )

#### 5.4.5. 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 tiene que estar en contacto con la solución nutritiva. (Anexo 3)

#### **5.4.6. *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 contuvo todos los macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B y Cu); solución nutritiva menos nitrógeno, contendrá macros y micro elementos (P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos fósforo, contuvo macros y micro elementos (N, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos potasio, contuvo macros y microelementos (N, P, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos magnesio, contuvo macros y micro elementos (N, P, K, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos azufre, contuvo macros y micro elementos (N, P, K, Mg, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos hierro, contuvo macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos manganeso, contuvo macros y microelementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos zinc, contuvo macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, B, Cu); solución nutritiva menos boro, contuvo macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu); solución nutritiva menos cobre, contuvo macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B); luego se colocó la tapa perforada y se introdujo el vaso plástico que contiene los 200 g de suelo, este debe estar en contacto con la solución nutritiva a una profundidad de 0,5 cm

#### **5.4.7. *Siembra y Raleo de la Planta Indicadora***

Después de 24 horas la solución nutritiva por efecto de capilaridad ascendió y humedeció todo el suelo, en cada vaso se sembró tres semillas de tomate 15 días después de la germinación se realizó el raleo, se dejó una planta por vaso.

#### **5.4.8. *Reposición de la Solución Nutritiva***

Se realizó la reposición de la solución nutritiva de acuerdo a la evapotranspiración del cultivo durante los 60 días del ensayo.

#### 5.4.9. *Registro de Crecimiento y Peso Seco de la Planta*

Se registró la altura de las plantas por cada tratamiento a los 30 y 60 días después de la germinación luego de la última medición se cortó a nivel del cuello, luego se colocó en la estufa a 60°C durante cuatro días donde se determinó la biomasa seca.

#### 5.4.10. *Correspondencia entre la Evaluación Biológica y Análisis Químico.*

- Se hizo un promedio de las 3 repeticiones para realizar el cálculo de cada uno de los elementos del sector de estudio
- Para el cálculo de cada nutriente que contiene la solución nutritiva se procedió de la siguiente manera: se consideró las sales minerales utilizadas en la investigación (Tabla 4 y 5), la cantidad de meq/L de las sales para preparar las soluciones nutritivas (Tabla 6), equivalente químico (Anexo 10), 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 (Anexo 12).
- Se realizó el cálculo de cada uno de los tratamientos con una regla de tres tomando los valores de la biomasa seca de la solución completa y la biomasa seca de cada elemento.
- En la evaluación biológica uno de los indicadores es el peso de la biomasa seca(%) y con el valor se determina su interpretación en base de la tabla 7.
- Se realizó la correspondencia entre la interpretación del análisis químico y la interpretación de la evaluación biológica, en Excel donde la variable independiente son los tratamientos y la variable dependiente son las interpretaciones de la evaluación biológica y la evaluación química (Anexo 5).
- Para la realización del gráfico de la correspondencia en la hoja electrónica se asignó una escala de bajo, medio y alto; con valores de 10 = bajo, 50 = medio, 100 = alto (Tandazo, 2019). Estos valores se asignan con el fin de ver la diferencia en el gráfico de la correspondencia ya que únicamente se utilizó las interpretaciones.

**Tabla 7.** *Volúmenes de la solución madre para 1L de solución nutritiva*

<b>Parámetro</b>	<b>%</b>
Bajo	< 33
Medio	33 - 66
Alto	> 66

**Fuente:** (Villamagua, 2020)

#### **5.4.11. Difusión de resultados**

Luego de los 60 días después de la germinación de las plantas se realizó una difusión de los resultados en una salida de campo con presencia del director y alumnos de la carrera de ingeniería agrícola (Anexo 7 y 8).

### **5.5. Metodología para el Tercer Objetivo.**

#### **5.5.1. Plan de Fertilidad.**

Se definió las cantidades y tipos de fertilizantes a aplicar, con base a los nutrientes disponibles en el suelo, la evaluación biológica, requerimientos del cultivo, eficiencia de los fertilizantes y la relación de cationes determinados por los análisis químicos, para el cultivo de café siendo Ca/Mg: 2,6-8  $\text{cmol kg}^{-1}$ ; Mg/K: 7,5-15  $\text{cmol kg}^{-1}$ ; (Ca+Mg) /K: 27,5-55  $\text{cmol kg}^{-1}$ .

## 6. Resultados

### 6.1. *Características Químicas del suelo de la Estación Experimental La Argelia.*

#### 6.1.1. *Material Parental*

El suelo que se encuentra en esta zona está formado por un depósito aluvial procedente de 2 formaciones; La Quillollaco que son conglomerados con pocas intercalaciones de arenisca, constituidos por clastos redondeados de rocas metamórficas como filitas, cuarcitas, esquistos. Así la formación San Cayetano que son de origen sedimentario. (Anexo 13).

**Formación Quillollaco** La formación yace en la Quebrada Quillollaco al este y oeste de la cuenca de Loja, sobrepuesto al resto de formaciones por una discordancia angular. La formación alcanza espesores hasta un máximo de 600 m, al este de la ciudad de Loja. La formación está dominada por conglomerados muy granulados con pocas intercalaciones de areniscas. (Calderón et al., 2020).

**Formación San Cayetano** Aflora en el Barrio San Cayetano en la parte occidental de la ciudad de Loja y está presente solo al este del Río Zamora. (Jaramillo, 2012).

Así mismo con una formación San Cayetano que según Macas & Mora (2006), son de origen sedimentario y debido a las condiciones de la cuenca se prestan para la formación de depósitos de arcilla y limos con ciertas alteraciones, producto de la hipergénesis de rocas primarias.

#### 6.1.2. *Clasificación Taxonómica*

El suelo se encuentra en el orden Entisol, suborden Fluvents, gran grupo Udifluvents, siendo de clasificación Typic Udifluvents, no existe diferencia entre perfiles.

#### 6.1.3. *Descripción de Paisaje y Perfiles de la Calicata.*

**Clasificación Taxonómica** Typic Udifluvents

**Ubicación del perfil:** 4° 2'20.03"S y 79°11'57.97"O ; **Altitud:** 2140 m.s.n.m.;

**Paisaje:** base (plano); **Tipo de relieve:** terraza aluvial ; **Forma del terreno:** pendiente baja ; **Drenaje superficial:** Pobre; **Pendiente:** 3%; **Material Parental:** Deposito Aluvial

## **Descripción General**

Suelo joven con presencia de tres depósitos aluviales, siendo el 3C el más antiguo con el 70% de grava, sin estructura, textura arenosa (Ao), que va desde los 45 cm hasta los 100 cm, donde se distingue tres coloraciones, el siguiente depósito compuesto por la capa 2C que se extiende desde los 25 cm hasta los 45 cm, de textura arcillo-limoso (AcLo), de dos tipos de coloración y presencia de manchas, con una fractura gleysada, que denota una lámina de agua colgada, observándose en la parte inferior una capa de suelo oxidado y el depósito más reciente formado por los horizontes Ap que se extiende desde los 0 cm hasta los 10 cm de textura franco (Fo), de coloración oscura y un AC que va desde los 10 cm hasta los 25 cm de textura franco-arcilloso-limoso (FoAcLo) de coloración oscura, estructurados y sin presencia de gravas. Presenta una profundidad efectiva de 50 cm, donde en todos los horizontes se observó que no hay presencia de sales solubles ni restos de actividad humana, pero sí de fragmentos minerales como piritas en el horizonte 3C. (Anexo 14)

### **6.1.4. Características Químicas**

En la tabla 8, la reacción del suelo (pH) es ácido; contenido medio en materia orgánica; la conductividad eléctrica presenta valores bajos lo que quiere decir que es un suelo no salino; con una capacidad de intercambio catiónico baja, el calcio intercambiable bajo, el magnesio intercambiable bajo; el potasio intercambiable medio, el sodio intercambiable bajo; la suma de bases se encuentra en un rango bajo. En lo referente a la relación de cationes del suelo se encuentra en  $Ca/Mg = 2,4$ ;  $Mg/K = 7,98$  y  $(Ca+Mg)/K = 27,07$ .

**Tabla 8.** Características químicas de suelos del SAF de La Argelia

Sector La Argelia Bloque 2		
<b>Profundidad</b>	(cm)	00-25
<b>pH</b>		5,1
<b>Al<sup>+3</sup>+H<sup>+</sup></b>	meq/100 g	4,96
<b>M.O</b>	%	3,3
<b>C.E</b>	mS/cm	0,2
<b>CIC</b>	meq/100 g	9,2
<b>Ca<sup>++</sup></b>	meq/100 g	3,90
<b>Mg<sup>++</sup></b>	meq/100 g	1,63
<b>K<sup>+</sup></b>	meq/100 g	0,31
<b>Na<sup>+</sup></b>	meq/100 g	0,17
<b>Σ bases</b>	meq/100 g	5.6
<b>Saturación de Bases</b>	%	65,10
<b>Ca/Mg</b>		2,4
<b>Mg/K</b>		7,98
<b>(Ca+Mg)/K</b>		27,04

Potencial de Hidrogeno (pH); Aluminio intercambiable (Al+H); Conductividad eléctrica (C:E); Materia Orgánica (M:O); Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C); Calcio Intercambiable (Ca<sup>++</sup>); Magnesio intercambiable(Mg<sup>++</sup>);Potasio intercambiable(K<sup>+</sup>);Sodio intercambiable(Na<sup>+</sup>).

**Fuente:** Autor

### 6.1.5. Determinación de Nutrientes Disponibles.

Suelo ácido con alto contenido de N, P, Ca, Mg, Fe y Mn; medio en K, Zn y Cu; y bajo en S y B.

**Tabla 9.** Fertilidad Actual del suelo del SAF de la estación experimental La Argelia.

Suelo	Fertilidad										
	N	P	S	B	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn
<b>Bloque 2</b>	ppm	ppm	pmm	pmm	Meq/100 g	Meq/100 g	Meq/100 g	ppm	ppm	ppm	ppm
	172	31,3	8,3	0,4	0,2	3,8	1,6	3,1	3,8	950,3	16,2
<b>Interpretación</b>	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Medio	Medio	Alto	Alto

Nitrógeno (N); Fósforo (P); Potasio (K); Azufre (S); Calcio (Ca); Magnesio (Mg); Zinc (Zn); Cobre (Cu); Hierro (Fe); Manganeseo (Mn); Boro (B).

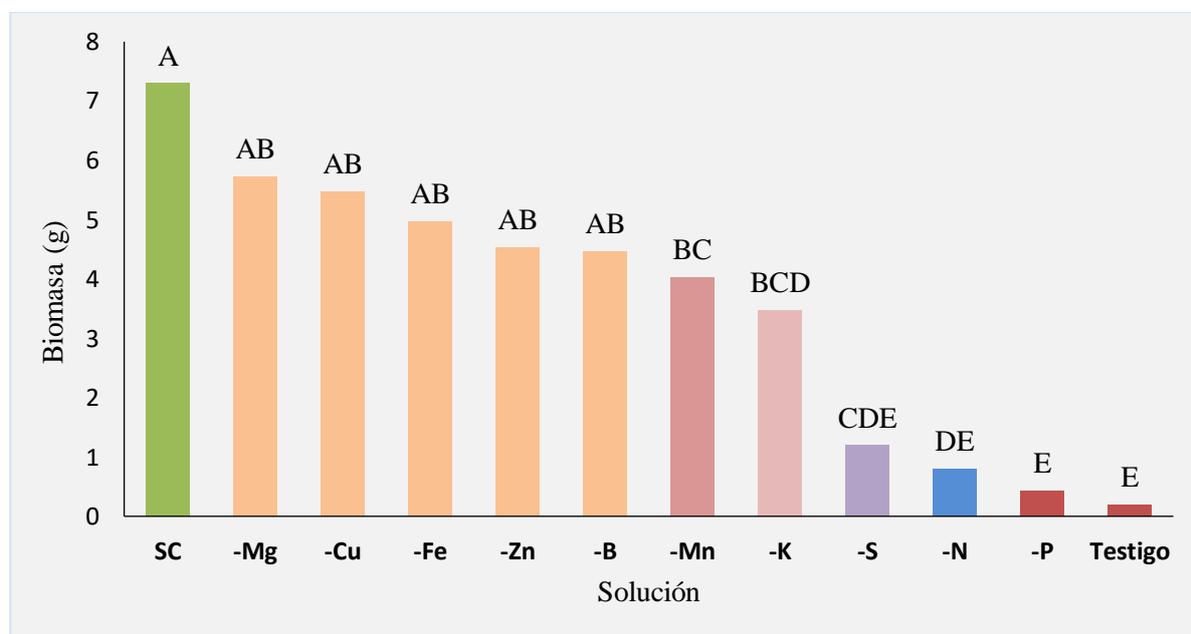
**Fuente:** Autor

## 6.2. Evaluación Biológica de la Fertilidad del Suelo.

### 6.2.1. Peso de la Biomasa Seca.

En la (figura 2), muestra las diferencias significativas obtenidas con la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 5 % (Anexo 6 ) para los valores de biomasa de la planta indicadora. Se evidencia que la SC difiere estadísticamente del resto de lassoluciones. Las soluciones Mg, Cu, Fe, Zn y B son estadísticamente iguales, no hay diferencias entre las soluciones Mn y K. Las soluciones S, N, P y T son estadísticamente diferentes a todas las soluciones con la menor altura.

**Figura 2.** Biomasa seca



Fuente: Autor

**Aspecto de la planta indicadora.** En la (Figura 3) se evidencia las principales deficiencias de P, N y S

**Figura 3.** *Aspecto de la planta indicadora*



**Fuente:** *Autor*

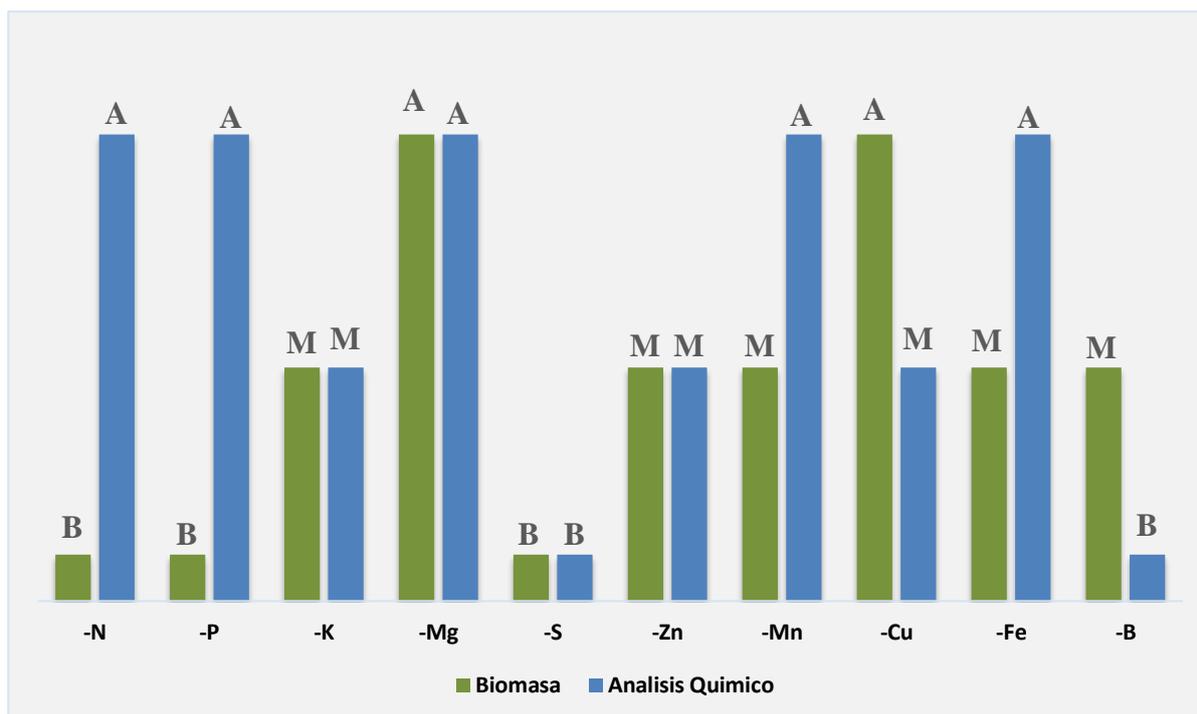
### **6.3. Correspondencia entre Análisis Químico y Evaluación Biológica del Suelo de la Estación Experimental La Argelia.**

En la (Figura 4), se establece la correspondencia entre la interpretación de los resultados de la evaluación biológica (biomasa seca) y la interpretación contenida de cada elemento químicamente analizado.

En el promedio de los 3 bloques del sector de estudio la correspondencia entre los elementos N, P, Mn, Cu, Fe y B no presentaron similitud entre sus interpretaciones de la evaluación biológica y los análisis químicos.

El K, Mg, S y Zn, fueron los elementos que si presentaron correspondencia entre la evaluación biológica y los análisis químicos.

**Figura 4.** Correspondencia entre la evaluación biológica y análisis químico.



Fuente: Autor

#### 6.4. Fertilización para cafetales.

El plan de fertilización de macro y micronutrientes para el sistema agroforestal con café se lo realizó para el año, considerando los requerimientos del cultivo. Los fertilizantes utilizados para el plan de fertilización fueron: Sulpomag, kieserita, Sulfato de Zinc, 18-46-0, Bórax y para encalar cal dolomita, para suplir los requerimientos del cultivo de café de N:200; P:60; K:100; Mg:60; S:25; Zn:3; B:5; kg ha<sup>-1</sup>, para el sector La Argelia.

##### 6.4.1. Fertilización para el SAF con café del sector La Argelia.

En la Tabla 10 se muestran los valores de las bases intercambiables, antes y después que se realizara la enmienda al suelo; el Ca<sup>++</sup> tenía un valor de (3,90 cmolkg<sup>-1</sup>) al realizarla enmienda este tuvo un incremento de (2,65 cmol kg<sup>-1</sup>), dando un total de (6,55 cmol kg<sup>-1</sup>), el Mg<sup>++</sup> tenía un valor inicial de (1,63 cmol kg<sup>-1</sup>) al realizar la enmienda este tuvo un incremento de (0,68 cmol kg<sup>-1</sup>), dando un total de (2,30 cmol kg<sup>-1</sup>); el K<sup>+</sup> tenía un valor de (0,3 cmol kg<sup>-1</sup>) al realizar la enmienda este tuvo un incremento de (0,10 cmol kg<sup>-1</sup>) dando un total de (0,40 cmol kg<sup>-1</sup>), el Na<sup>+</sup> se mantiene con el valor inicial de (0,17 cmolkg<sup>-1</sup>), así mismo el valor inicial de la CICE fue de (11 cmol kg<sup>-1</sup>) y el valor final (9,42 cmol kg<sup>-1</sup>).

**Tabla 10.** Cálculo de la CICE del suelo del SAF con café de La Argelia.

B. Intercambiables	Cmol kg <sup>-1</sup>	Cmol kg <sup>-1</sup>	Total
Ca <sup>++</sup>	3,90	2,65	6,55
Mg <sup>++</sup>	1,63	0,67	2,30
K <sup>+</sup>	0,3	0,10	0,40
Na <sup>+</sup>	0,17	-	0,17
Al <sup>+++</sup> +H <sup>+</sup>	5	-	-
<b>CICE</b>	<b>11,00</b>	<b>CICE 2</b>	<b>9,42</b>

Fuente: Autor

#### 6.4.2. Enmienda y Relación de Cationes del SAF con Café de La Argelia.

En la tabla 11 se observa que para el Ca el porcentaje de saturación de bases es de fue de 35.55% luego de la enmienda este incrementó a 69,43 %, entrando en el rango optimo. Para el Mg el porcentaje de saturación de bases fue de 14,81 y luego de la enmienda este aumento a 24,34% entrando en el rango optimo, de igual forma para el potasio el porcentaje inicial fue de 2,85 elevándose después de la enmienda a 4.43%.

Con respecto a la relación de cationes para el Ca Mg<sup>-1</sup> el valor fue de 2,40 cmol kg<sup>-1</sup> y después de añadir calcio esta relación aumento a 2,85 cmol kg<sup>-1</sup>, entrando al rango óptimo de 2,6 -8,0 cmol kg<sup>-1</sup>. Para el Mg K<sup>-1</sup> el valor inicial fue de 5,20 al añadir K y Ca , aumentó a 5,50 cmol kg<sup>-1</sup>. Para (Ca+Mg)/K el valor inicial fue de 17,65 después después de añadir Ca y Mg este incremento a 21,17 cmol kg<sup>-1</sup>.

**Tabla 11.** Enmienda y relación de cationes para el suelo del SAF con café de La Argelia.

SB	Enmienda			Relación de cationes				
	Antes (%)	Después (%)	R. Optimo (%)	Antes cmol kg <sup>-1</sup>	Agregar	Después cmol kg <sup>-1</sup>	R. Optimo cmol kg <sup>-1</sup>	
Ca	35,55	69,43	60,0-70,0	Ca Mg <sup>-1</sup>	2,40	Ca	2,85	2,6 -8,0
Mg	14,81	24,34	15,0-25,0	Mg K <sup>-1</sup>	5,20	K y Ca	5,50	7,5-15,0
K	2,85	4,43	5,0-10,0	$\frac{(Ca + Mg)}{K^{-1}}$	17,65	Ca y Mg	21,17	27,5-55,0

Fuente: Autor

En la tabla 12 se muestra el contenido en gramos por planta que se hizo en base a los requerimientos del cultivo del café, basándose en la relación de cationes adecuada para el cultivo, y los requerimientos para cafetales en crecimiento hasta los 18 meses, con una densidad de siembra de 1,25 m entre hileras y 2, m entre plantas.

**Tabla 12.** Nutrientes recomendados para el cultivo de cafetales en crecimiento en el suelo del SAF de La Argelia.

Elemento	kg/ha	g/planta	Fuente	Formula
N	200	50	DAP 18-46-0	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>
P	60	34,35	DAP 18-46-0	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>
K	100	30	Sulpomag	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .2MgSO <sub>4</sub>
Mg	60	24,9	Kieserita	MgSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O
Zn	3	0,9375	Sulfato Zn	ZnSO <sub>4</sub>
B	5	1,25	Bórax	Na <sub>2</sub> (B <sub>4</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> ).8H <sub>2</sub> O
S	25	6,25	Sulpomag	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .2MgSO <sub>4</sub>
Ca	4712	0,118	Cal dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>

**Fuente:** Autor

En la tabla 13 se muestra el plan de fertilización diseñado para los 12 meses del año 2022, se fertiliza cada 30 días, en el caso del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en el primer mes se coloca el 65% respecto a los 11 meses restantes. Con respecto al resto de fertilizantes, estos de los colocó en la fase inicial, es decir en la fertilización de base.

**Tabla 13.** Plan de fertilización para cafetales en producción de La Argelia.

Fertilizantes	2022												Total (kg/ha)
	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	
N	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	19,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8,6	2,3	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,2
Cal dolomítica	4711,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4711,7
Sulpomag	706,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	706,97
Kieserita	254	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	254
Sulfato Zn	13,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,04
Bórax	45,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45,45

**Fuente:** Autor

## 7. Discusión

### 7.1. *Condiciones Químicas.*

#### 7.1.1 *pH*

De acuerdo con los resultados el pH del suelo, varía de muy ácido a ácido lo que quiere decir que el suelo presenta dificultad para el desarrollo de cultivos sensibles a pH bajos que dificultan la disponibilidad de los macroelementos (Agropal, 2016).

Así mismo, Garrido (2003) menciona que si el suelo es excesivamente ácido entonces en el complejo de cambio del suelo abundan los hidrogeniones y el aluminio, impidiendo que otros elementos necesarios tales como el calcio, magnesio, sodio o potasio permanezcan en él, pasando a la fracción soluble y siendo fácilmente eliminados con el agua de lluvia o de riego. Lo antes mencionado toma relevancia en el presente estudio al ser Loja una ciudad con precipitaciones altas al largo del año, incluso en los meses más secos (julio y septiembre) hay mucha lluvia (29 mm) y por ello teniendo precipitaciones promedio anual 1453 mm (INAMHI, 2014).

Con base a lo mencionado en el párrafo anterior y analizando el pH del suelo de La Estación La Argelia se evidencia que no cumple con los requerimientos del cultivo de café ya que para el correcto desarrollo del mismo debe tener una acidez de 5.5 a 6.5. (Girón, 2018). La disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, se reduce conforme disminuye el pH, mientras que se incrementa el aluminio.

Según Vanegas (2016) al café no le convienen suelos con valores de la acidez por debajo de 5.5, pues se dificulta la nutrición del cultivo. Cuando es menor de 5.5, se debe evaluar los contenidos de manganeso (Mn) y de aluminio (Al), entre otros nutrientes, ya que si el nivel de estos elementos es alto provoca toxicidad en la planta (Cenicafe, 2016). Es por todo ello que se debe realizar la práctica del encalado es decir la aplicación de algún material alcalinizante al suelo, cuyo objetivo es reducir la acidez del mismo e incrementar la disponibilidad de nutrientes. (Díaz, 2006).

El encalado mejora la respuesta del cultivo a la aplicación de fertilizantes en suelos ácidos. Esto debido a las mejores condiciones físicas y químicas que el suelo adquiere después de la aplicación de la cal, produciendo un mejor ambiente para el desarrollo radicular. Una mejor exploración del suelo da lugar a que la planta absorba los nutrientes de los fertilizantes aplicados al suelo, incrementando los rendimientos del cultivo y la eficiencia de los fertilizantes. (Sadeghian, 2021).

### **7.1.2. Acidez Intercambiable**

La acidez por sí misma no constituye un factor limitante para el desarrollo de las plantas, sino que en realidad es el efecto tóxico del aluminio en la solución suelo, cuando la concentración de éste es mayor a 1 ppm es el que ocasiona serios problemas ecológicos. Entre más bajo sea el pH del suelo habrá más  $Al^{3+}$  y las altas concentraciones de aluminio intercambiable  $Al^{3+}$  en el suelo resultan tóxicas para las plantas (Sadeghian, 2016).

Los resultados de la siguiente investigación (5,30 meq/100g) indican que el contenido de  $Al^{3+}+H$  es tóxico, así mismo lo corrobora Macas (2021), mencionando que un contenido de  $Al^{3+}+H$ , de 0.5 cmol (+)  $kg^{-1}$  son considerados tóxicos para el cultivo de café. Cuando el valor de acidez intercambiable es mayor de 0,5 cmol(+)/l, algunas plantas pueden presentar problemas moderados de crecimiento, y un contenido mayor a 1 cmol(+)/l se considera muy alto. El valor óptimo de acidez intercambiable debería ser inferior a 0,3 cmol(+)/l. (Molina & Meléndez, 2002).

De esta manera, en los suelos ácidos la toxicidad por el aluminio se presenta como un factor primario que reduce los rendimientos de los cultivos de interés agrícola; a valores de pH menores a 5 en el suelo, los iones  $Al^{3+}$  se disuelven de los minerales de arcilla y son bastante tóxicos para las raíces de las plantas, inhibiendo su crecimiento y su función de la raíz (Intagri, 2020). La fitotoxicidad por aluminio reduce la longitud de raíces afectando la absorción de agua y nutrientes y, por ello, disminuye el rendimiento como lo menciona Kochian (2015).

### **7.1.3. Materia Orgánica (MO)**

Según los resultados de la investigación realizada en el área de estudio, se encontró que el suelo tiene un contenido medio de materia orgánica (MO). No obstante, según Vanegas (2016), los suelos óptimos para el cultivo de café deben tener contenidos de MO superiores al 8%. Esto indica que, en el área de estudio, la MO se encuentra por debajo de los niveles recomendados, lo que tiene un impacto negativo en las condiciones físicas del suelo y afecta la retención de humedad, perjudicando así la productividad vegetal.

La importancia de la materia orgánica en el crecimiento vegetal ha sido destacada por Nigoulde (2006), quien menciona que influye en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Desempeña una función nutricional, ya que sirve como fuente de nutrientes como nitrógeno y fósforo, esenciales para el desarrollo de las plantas. También tiene una función biológica significativa, ya que afecta profundamente las actividades de organismos de microflora y microfauna en el suelo.

De acuerdo con Ibáñez (2006), la materia orgánica también influye en las funciones físicas y químicas del suelo, promoviendo una estructura adecuada del mismo. Esto se traduce en mejor labranza, aireación y retención de humedad, así como en un aumento de la capacidad amortiguadora y del intercambio de nutrientes en el suelo.

En resumen, los resultados de la investigación muestran que el contenido de materia orgánica en el suelo del área de estudio no es óptimo para el cultivo de café, lo que impacta negativamente en las condiciones físicas y en la retención de humedad. Es importante considerar la importancia de la materia orgánica en el crecimiento vegetal y cómo afecta tanto a las propiedades del suelo como a la actividad biológica, lo que subraya la necesidad de mejorar los niveles de MO para incrementar la productividad y la calidad del cultivo.

#### **7.1.4. Conductividad Eléctrica**

García (2010) explica que los problemas relacionados con las sales en un suelo surgen cuando su Conductividad Eléctrica (C.E.) supera el valor de  $2 \text{ dS cm}^{-1}$ . Además, sugiere que es recomendable mantener la CE de un sustrato en niveles bajos, idealmente por debajo de  $1 \text{ dS m}^{-1}$ .

En concordancia con los resultados obtenidos en cuanto a la conductividad eléctrica, se constata que el suelo exhibe un nivel de salinidad bajo. Esto implica que no hay presencia significativa de sales disueltas en las áreas cercanas a las raíces, lo que se traduce en la ausencia de efectos adversos sobre el crecimiento y rendimiento normal de los cultivos.

En efecto, según las investigaciones de Yepes y Flórez (2013), una baja CE facilita la gestión de la fertilización y previene posibles problemas de fitotoxicidad en los cultivos, siendo aconsejable mantenerla por debajo de  $1 \text{ dS m}^{-1}$  siempre que sea posible.

#### **7.1.5. Capacidad de intercambio Catiónico**

Según los resultados obtenidos, el suelo exhibe una capacidad de intercambio catiónico baja, lo que indica su empobrecimiento y la necesidad de aportes de materia orgánica. Esta situación también señala una disponibilidad reducida de nutrientes en el suelo, lo que podría derivar en deficiencias nutricionales en las plantas que se desarrollen en él. Los suelos de textura gruesa, como los arenosos, presentan una capacidad de intercambio catiónico inferior, lo que resulta en una retención limitada de cationes en proporciones reducidas (Camberato, 2007).

La relevancia agronómica de evaluar la capacidad de intercambio catiónico se sustenta

en la teoría de que el suelo actúa como reserva y fuente de suministro de nutrientes. Esta capacidad incrementa a medida que se logra aumentar la CIC del suelo. Una elevada capacidad de intercambio catiónico en los suelos se considera una característica crucial, ya que implica la posibilidad de acumular iones nutritivos de manera efectiva. Gracias a la CIC del suelo, las raíces de las plantas pueden absorber los nutrientes minerales esenciales para su crecimiento (Arévalo y Gauggel, 2014).

#### **7.1.6. Fertilidad Actual**

Se ha señalado a la fertilidad del suelo como uno de los atributos conectado con la sustentabilidad, la cual debe permitir el mantenimiento de su productividad mediante un adecuado manejo, mejorando la estructura, el contenido de materia orgánica y la aireación, adecuado contenido de humedad, el pH apropiado y un óptimo nivel de nutrientes (Astier-Calderón et al., 2002).

Los análisis químicos, indican que los elementos disponibles; (N, P, Mg, Fe y Mn) se encuentran en el rango alto; (K, Zn y Cu) se encuentran en el rango medio y, el (S y B) son contenidos bajos.

La fertilidad es vital para que un suelo sea productivo, aunque un suelo fértil no necesariamente es productivo, debido a que existen otros factores de tipo físico como el mal drenaje, escasa profundidad, piedra superficial, déficit de humedad, etc, que pueden limitar la producción, aun cuando la fertilidad del suelo sea adecuada. El grado de potencial productivo de un suelo está determinado por sus características químicas y físicas (Molina, 2011).

La fertilidad del suelo puede potenciarse incorporando cultivos de protección que agreguen materia orgánica al suelo, lo que mejora su estructura y promueve un suelo sano y fértil. (Lara y Orellana, 2021).

Un suelo es fértil cuando: su consistencia y profundidad permiten un buen desarrollo y fijación de las raíces; contiene los nutrientes que la vegetación necesita; es capaz de absorber y retener el agua, conservándola disponible para que las plantas la utilicen; está suficientemente aireado y no contiene sustancias tóxicas. (Sacsá, 2016).

#### **7.2. Correspondencia entre Análisis Químico y Evaluación Biológica**

De acuerdo con los resultados obtenidos del peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico, (anexo 8); no existe correspondencia en los siguientes elementos N, P, Mn, Cu, Fe y B, pero si existe una

paridad de estas dos variables en el elemento K, Mg, S y Zn lo que conlleva a cuestionar la precisión de la determinación de la disponibilidad de estos elementos con la solución de Olsen Modificada. Aucatoma (2017) 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 del pH del suelo es ácido.

Así mismo, Bertsch et al. (2006) afirman que el uso de soluciones básicas como Olsen Modificado, en suelos ácidos, pueden disolver los fosfatos de Fe y Al, extrayendo formas que en realidad no son disponibles.

Estudios realizados en suelos ácidos y ligeramente ácidos varios autores como; Loaiza (2013), en su investigación en suelos de la amazonia concluyó que no existe correspondencia en los elementos como el N, P y B; ya que en la evaluación biológica son bajos mientras que en los análisis químicos son altos. También, Castillo y Salinas (2014), mencionan que en su estudio realizados en suelos de Los Ríos y Esmeraldas no existe correspondencia en elementos como N, P, K y Mg.

Aguirre (2017), en su investigación en el sector San Vicente, Chuquiribamba en unidades de suelo con uso de maíz, los elementos como N, P y Zn se encontraron en rango bajo en la evaluación biológica y en los análisis químicos en rango alto; el Fe en la evaluación biológica es medio mientras que en los análisis químicos se encuentra en rango alto; no existiendo correspondencia entre estos dos.

Tandazo (2019), en sus estudios realizados en Chaguarpamba menciona que no hubo correspondencia ya que en la evaluación biológica el P, N y K está en rango bajo; el S, B y Fe rango medio y el Zn es mientras tanto que, en la concentración de nutrientes disponibles del análisis químico, el B es bajo; el P, N y K y Zn son medios y el S y Fe son altos. Para el suelo de Lozumbe el N, P, S, Mg y B, no presentaron correspondencia entre análisis Químico y biológico

En Pueblo Nuevo, Espíndola, la evaluación realizada por Zambrano (2019), dedujo que elementos como P, K, Mn, Zn Fe y Cu no presentaron correspondencia.

Todos estos estudios concuerdan con esta investigación que no existe correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico para N, P, K, Zn, Cu, Fe, Mn.

En la evaluación biológica, el N, P y S resultaron ser los elementos más deficientes.

La falta de nitrógeno está relacionada con el tipo de suelo y es típica de los suelos arenosos y bien drenados con una rápida lixiviación de los nutrientes. Un nivel bajo de materia orgánica significa también un nivel bajo de nitrógeno disponible para las plantas, ya que la materia orgánica es una fuente natural para los cultivos (Cherlinka, 2022).

La disponibilidad de fósforo se reduce tanto en suelos muy ácidos, con pH inferior a 5,5, el fósforo reacciona con el hierro y el aluminio, disminuyendo así su disponibilidad e incluso dejando de estar aprovechable para las plantas (Sela, 2021).

El azufre es móvil en el suelo y puede lixiviarse fácilmente con el movimiento del agua, esto explica porque la deficiencia está asociada a los suelos con poca materia orgánica, como lo corrobora Messick et al. (2005) quienes mencionan que las deficiencias de azufre son más probables en los suelos arenosos con bajo nivel de Materia Orgánica y bajo condiciones de alta precipitación.

En el sector de estudio el S se encuentra en un rango bajo tanto en la evaluación biológica, como análisis químico; un motivo de esta deficiencia sería por la falta del proceso de mineralización impedido por dos factores; temperatura y humedad; Fassbender (1982), indica que la mineralización se inicia a 10°C y aumenta hasta alcanzar su máximo entre 30 y 40°C. De esto resulta que a temperaturas relativamente bajas se producen más residuos de los que se mineralizan, así el suelo de estudio que se encuentra a una temperatura de 15,5 °C se puede deducir que no realiza por completo el proceso de mineralización impidiendo la disponibilidad de azufre para la planta, por ende, se obtiene como resultado la deficiencia de este elemento en el suelo.

### **7.3. Relación de Cationes**

Enríquez y Duicela (2014) indican que el rango de pH adecuado para el café se encuentra entre 5,6 y 6,5. Si el pH cae por debajo de 5,4, es necesario aplicar cal al suelo. Para cumplir con los requerimientos del cultivo, se sugiere la aplicación de cal dolomita (4712 Kg) al momento de plantar los cafetos. Son varios los beneficios que se obtienen con el encalado. Además de corregir el pH, aporta calcio (Ca) y magnesio (Mg), elementos esenciales para el buen desarrollo radicular de la planta y, en consecuencia, mejora la absorción de otros nutrientes a través de la CIC. La cal dolomita es un carbonato doble de calcio y magnesio, conteniendo en su forma pura 21.6 % de Ca y 13.1 % de Mg. Es un material de reacción más lenta que la calcita, pero tiene la ventaja de aportar magnesio, elemento que frecuentemente se encuentra deficiente en suelos ácidos. (Espinosa, 1999).

El pH del suelo en el SAF con café de La Argelia es de 5,1, lo que se realizó la aplicación de 0,5 cmol (+) kg<sup>-1</sup> de Ca por cada unidad de Al<sup>+3</sup>, equivalente a 635 kg ha<sup>-1</sup> Ca. Para 5.3 cmol kg<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup> que está presente en el suelo hay 2,65 cmol(+) kg<sup>-1</sup> de Ca dando como resultado 1683 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, recomendación similar a Tandazo 2019 que aplicó por cada unidad de Al<sup>+3</sup>; 0,5 cmol kg<sup>-1</sup> de Ca, es decir 655 kg ha<sup>-1</sup> de Ca.

La mayoría de reacciones de los cationes Ca, Mg y K en los suelos depende de las proporciones en que estos iones intercambiables se encuentren en el complejo de cambio. Para mejorar la proporción de cationes se aumentó 2,65 meq/100g de Ca, 0.10 meq/100g de K y 0.67 meq/100g. Esto se relaciona con el estudio realizado por Macas (2021) que menciona que la aplicación de cal incrementó las concentraciones de las bases intercambiables  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{++}$  en la capa 00 – 25 cm, a los 120 días de (3.06-4.35 cmol(+)  $\text{kg}^{-1}$ ), (0.27-0.31 cmol(+)  $\text{kg}^{-1}$ ) y (0.72-0.90 cmol(+)  $\text{kg}^{-1}$ ), respectivamente, con la aplicación de 1960 Kg  $\text{ha}^{-1}$  de cal Dolomita.

Los valores de la relación de cationes Ca/Mg, Mg/K, (Ca+Mg)/K, se aumentaron hasta el punto que corresponden con las relaciones ideales para el desarrollo de café propuestas por Enríquez y Duicela (2014), Ca/Mg= 2,6-8; Mg/K= 7,5-15; (Ca + Mg)/K= 27,5-55, el incremento se atribuye a la aplicación de Ca, K y Mg.

Según (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA],1992), es difícil determinar los niveles críticos para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ ; porque en la mayoría de los casos se debe tener en cuenta no sólo la fracción intercambiable, sino también el porcentaje de saturación en el complejo de cambio y el pH del suelo. Esta entidad asegura que “uno de los problemas más comunes en los suelos es el de la relación Ca/Mg en el complejo coloidal”; por lo tanto, recomienda tenerla presente, especialmente en los suelos ácidos que requieren de encalamiento; siendo el valor mínimo de esta relación igual a 1,0. Si el cociente entre estos dos elementos es amplio (más de 4), y se necesita encalar, se sugiere aplicar 1250kg  $\text{ha}^{-1}$  de cal dolomítica por cada cmol(+)  $\text{kg}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$ . En el mismo sentido se considera “normal” la siguiente relación Ca:Mg:K: 3:1:0,25.

Bear y Toth (1948) analizaron el efecto del  $\text{Ca}^{+2}$  sobre la disponibilidad de otros cationes del suelo. En este trabajo, los autores afirman que idealmente el suelo debería tener los siguientes niveles de saturación de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{K}^+$  en los complejos de intercambio para asegurar un buen rendimiento: 65%, 10% y 5%. De igual forma se determinan las relaciones entre estos elementos: Ca:Mg 6.5:1, Ca:K 13:1 y Mg:K 2:1.

#### **7.4. Fertilización de cafetales.**

Villavicencio (2018) señala que el manejo de la fertilización es una cuestión frecuentemente descuidada por muchos productores, lo cual tiene un impacto directo en la producción y en el ciclo de vida productiva de las plantaciones. Asimismo, destaca la necesidad de iniciar la fertilización de los cafetales desde los primeros meses de establecimiento del cultivo para lograr un rendimiento óptimo.

Para sustituir los requerimientos del cultivo de café en crecimiento en la Estación experimental La Argelia se utilizó los siguientes nutrientes: Nitrógeno (N) 200 kg ha<sup>-1</sup>; Fósforo (P) 60 kg ha<sup>-1</sup>; Potasio (K) 100 kg ha<sup>-1</sup>; Magnesio (Mg) 60 kg ha<sup>-1</sup>; Zinc (Zn) 3 kg ha<sup>-1</sup>; Boro (B) 5 kg ha<sup>-1</sup>; Azufre (S) 25 kg ha<sup>-1</sup>. Estos valores se basan en trabajos de evaluación biológica similares realizados por Tandazo (2019), donde se aplican los mismos requerimientos, y en el estudio de Zambrano (2019), quien, para satisfacer las necesidades del cultivo de café, empleó los siguientes valores: N: 200; P: 30; K: 50; Mg:20; S: 150; Zn: 3; B: 5; kg ha<sup>-1</sup>.

Los requerimientos de fertilización para el cultivo de café varían según la variedad.No obstante, respecto al arábico, Molina (2002) establece las siguientes dosis por hectárea por elemento: 125 kg de Nitrógeno; 3 kg de Fósforo; 126 kg de Potasio; 40 a 80 kg/ha de Magnesio; 30 a 60 kg/ha de Azufre; 3 a 6 kg/ha de Boro; 5 a 10 kg/ha de Zinc.

Guerrero, (2012) menciona que para obtener un rendimiento promedio de 4000 Kg de café u 80 quintales/ha (el cual se considera como bueno), se brinda la secuencia de nutrientes, indicando desde aquellos que se han extraído en mayor cantidad hasta los de menor cantidad, lo cual no debe confundirse necesariamente con esencialidad. Así recomienda los nutrientes y las cantidades expresadas en Kg/ha: K (216 Kg)> N (174 Kg)> Ca (86 Kg)> Mg (18Kg)> P (15 Kg)> S(11).

Meléndez y Molina (2001), mencionan que el cultivo de café de alta producción es demandante de una fertilización óptima para sus estándares. Así mismo, mencionan que los nutrientes esenciales para su nutrición en orden de importancia son N>K>Mg>Ca>S>Zn=B>P. Se han estimado programas de fertilización y se ha creado una recomendación de fertilización general para el cultivo de café como: N 150-300, P 30-50, K 100-200, Mg 40-80, S 30-60, B 3-6, Zn 5-10 kg/ha-1.

Según Amores, (2004), el café tiene altos requerimientos de nitrógeno (N) y potasio (K). El requerimiento de fósforo (P) es más bien bajo, pero todos son igualmente esenciales para su nutrición. En cafetos de tres años de edad se ha reportado necesidades nutritivas de 125 kg de N, 13 kg de P y 126 kg de K por hectárea; dichos valores configuran la relación 10:1:10 y confirman la elevada demanda de N y K por el cultivo.

En relación con las recomendaciones de Sadeghian y González (2012), para un año, proponen las siguientes cantidades: 300 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (N), 260 kg ha<sup>-1</sup> de potasio (K<sub>2</sub>O) y 50 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), magnesio (MgO) y azufre (S), para el cultivo del café

tecnificado con alta densidad (7 500 y 10 000 plantas ha<sup>-1</sup>).

González et al. (2012) sugieren que, durante la etapa de crecimiento vegetativo, se apliquen entre 50 y 60 g de N por planta (250 a 600 kg ha<sup>-1</sup>), dependiendo de la densidad de siembra. Esta aplicación de nitrógeno es crucial para el crecimiento temprano del cultivo, principalmente en las fases de desarrollo foliar y floración. No obstante, no se debe aplicar nitrógeno en las etapas tardías del ciclo, ya que podría reducir el tamaño de las plantas y los frutos.

Así mismo Zerna (2023) menciona que con la fertilización edáfica aplicada (N: 150, 200, 250 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; P: 137.4 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; K: 120 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; Mg: 198.73 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, Zn: 3 kg. kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> S: 25 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y B: 5 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), los elementos N, P, K, S, se encuentran en un nivel normal para el cultivo del café: P, S, Ca, Mg, Cu, Fese mantienen en rango óptimo.

En Honduras, Palma (1989) sugiere utilizar 125 kg ha<sup>-1</sup> año de N, en los primeros tres años de cultivo y aumentar a 250 kg ha<sup>-1</sup> año del cuarto año en adelante, dicha fertilización mejora el rendimiento del café.

Las cantidades de fósforo requeridas para la fertilización varían según la edad del cultivo. En el primer año, se recomienda 20 kg P/ha; en el segundo año, 60 kg P/ha; y a partir del tercer año en adelante, 80 kg P/ha (Fertilab, 2017). El fósforo es especialmente importante durante la fase de establecimiento y antes de la floración, para fomentar el crecimiento de las raíces. En suelos con fijación de fósforo, se pueden aplicar hasta 100 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo por año (Yara Ecuador, 2018).

## 8. Conclusiones

- Las condiciones químicas del suelo dieron como resultados; pH ácido; conductividad eléctrica (no salino); Materia orgánica (medio); capacidad de intercambio catiónico (bajo); y saturación de base (medio), dando un suelo con una fertilidad de media a alta
- En la evaluación biológica se encontraron los elementos más deficientes N, P y S, mientras que Mg y Cu no presentaron síntomas de deficiencia en las plantas indicadoras debido a la disponibilidad de estos nutrientes en los suelos estudiados.
- El N, P, Mn; Cu; Fe y B, no presentaron correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico, mientras que el K, Mg, S y Zn, si presentaron similitud entre los dos métodos.
- Para incrementar el pH del suelo del área de estudio y pasar de un estado ácido a ligeramente ácido y neutralizar el  $Al^{3+}$ , se propuso aplicar  $4712 \text{ kg ha}^{-1}$  de cal dolomita; con una la relación de cationes  $Ca \text{ Mg}^{-1}: 2,85$  ;  $Mg \text{ K}^{-1} :5,50$  ;  $(Ca+Mg) \text{ K}^{-1} 21,17 \text{ cmol kg}^{-1}$  .
- Para el adecuado crecimiento del cultivo de café, en los suelos del área de estudio se realizó la propuesta de aplicación de nutrientes para cafetales en crecimiento de acuerdo a los siguientes valores: N: 200 ; P: 60 ; K:100 ; Mg:60 ; Zn:3 ; B:5 y S: 5.

## 9. Recomendaciones

- Realizar el ensayo de la evaluación biológica en un ambiente controlado.
- Tomar en cuenta que la solución nutritiva debe estar en contacto con el recipiente que contiene en el suelo para que permanezca húmedo.
- Se recomienda colocar el experimento en un sitio bien iluminado para evitar competencia por luz, evitando la competencia entre las plantas.
- En el transcurso del ensayo, se recomienda ventilar el lugar, dos veces al día. Así mismo mantener la humedad adecuada, evitando que la plantas padezcan de estrés hídrico.
- Debido a la falta de consistencia, se recomienda realizar análisis químicos y pruebas de evaluación biológica para determinar qué método es más efectivo.
- Realizar los análisis químicos con otras soluciones extractoras y no solo con Olsen Modificado para poder comparar con la evaluación biológica.

## 10. Bibliografía

Abad Cordero, P. A. (2023). Caracterización físico química del suelo en dos pisos altitudinales, dedicados a la producción orgánica de café (*Coffea arabica* L.), en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe [Bachelor Thesis, Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/27542>

Academia Lab. (2024). Material parental. Enciclopedia. Revisado el 4 de enero del 2024. <https://academia-lab.com/enciclopedia/material-parental/>

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 Loja*. 108 p. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja. Ingeniería Agrícola, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales renovables, Loja, Ecuador.

Agusti, M. (2010). *Importancia del Magnesio en Frutales*. 507 p. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/importancia-del-magnesio-en-frutales>

Agropal. (2016). *El pH del suelo en la agricultura*. Le pH du sol. Agropal. <http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/>

Amores, F. (2004). *Resumen de las investigaciones sobre nutrición y fertilización del café en el Ecuador*. In Seminario-Taller Internacional sobre suelos, fertilización y nutrición del café. (1991, Quevedo, Ecuador) 1992. (Memorias). Quito, Ecuador, INIAP/FUNDAGRO/INPOFOS/GTZ. p.84-87.

Andrade, C., & García, C. (2017). *Impacto del proceso de reactivación cafetalero en las exportaciones del café en el periodo 2011-2014*. 115 p. Tesis de Grado. Universidad de Guayaquil. Ingeniería en Comercio Exterior Facultad de Ciencias Administrativas. Guayaquil, Ecuador.

Alarcón, A. L. (2001). *El boro como nutriente esencial*. Departamento de Producción Agraria. Área Edafología y Química Agrícola. ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena.

Aucatoma, B. (2017). Elaboración y caracterización de un material de referencia intercambio de suelos para los macro elementos P, K Ca y Mg extraídos con Olsen Modificado para análisis en suelos cañeros del orden inceptisol, entisol y vertisol de la cuenca baja del Rios Guayas (Escuela Superior Politécnica del Litoral). Recuperado de:

<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/102821/D-CD102872.pdf>

Arévalo, G., C. Gauggel. (2014). Manual de prácticas. Curso de manejo de suelos y nutrición vegetal. Zamorano, Honduras, 3ra edición. p 71

Astier-Calderón, M.; M. Maass-Moreno; J. Etchevers-Barra. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620

Banegas Sanmartín, D. F. (2014). Evaluación de un compost maduro y su influencia FísicoQuímica en el cultivo experimental de brócoli (*Brassica oleracea* L.) (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca.

Bear, F. E.; Toth, S.J. (1948). Influence of Ca on availability of other soil cations. *Soil Sci.*, 65:69–75.

Bennett, W.F (1997). Nutrient deficiencies & toxicity's in cropplants. APS PRESS. The American Phytopathological Society. St. Paul. Minnesota. Disponible <file:///D:/CONSULTAS%203/CONSULTAS%202/CONSULTAS/Metodo-universal-depreparacion-de-soluciones-nutritivas.htm>.

Bertsch, F., Bejarano, J., & Corrales, M. (2006). Correlación ente las soluciones extractoras KCL-Olsen Modificado y Mehlich 3, usadas en los laboratorios de suelos de Costa. *Agronomía Costarricense*, 29.

Bertsch, F. (2009). Absorción De Nutrimientos Por Los Cultivos. <https://doku.pub/documents/absorcion-de-nutrimientos-por-los-cultivos-2009pdfd0nxknmjjglz>

Briceño, J.A. y Carvajal, J.F (1973). El equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinoterreos en el suelo, asociado con la respuesta del cafeto al potasio. *Turrialba* 23 ( I), 56-7 1 (1973

Briceño, P., & Pacheco, G. (1984). Muestreo de suelos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

Bonta, A. (2011). Interpretación de análisis de suelo. *Revista Frutícola* (3), 20-25.

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/30594/NR38194.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. Cajuste, L.I. 1986. El fósforo aprovechable en los suelos. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados de Chapingo, Centro de Edafología. 20 p. (Serie Cuadernos de Edafología 6.) Disponible [biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2447.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2447.pdf).

Camberato, J. (2007). Cation exchange capacity-everything you want to know and much more. Clemson, University, Crop and Soil Environmental Science. Clemson, USA. Calderon, P.,

Castillo, H., Ojeda, F., Castillo, D., & Zambrano, O. (2020). Zonificación de periodos fundamentales del suelo, mediante vibraciones ambientales, de la zona urbana en la cuenca de Loja, provincia de Loja Ecuador. 3(3), 5745-5763 p. <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n3-14>

Carrera, G. (2008). Avances de los resultados de la estandarización metodológica en la Red de Laboratorios de Análisis de Suelos del Ecuador (RELEASE). XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. SECS, 10.

Carter, M.R., 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94, 38-47.

Castillo, F., & Salinas, J. (2014). Correspondencia entre la Evaluación química y biológica de la fertilidad actual de suelos de origen volcánico en dos unidades productivas de las provincias de Los Ríos y Esmeraldas. 164 p. Tesis de grado Universidad Nacional de Loja. Agronomía. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales renovables, Loja, Ecuador.

Cenicafe. (2010). Programa de Investigación Científica. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0359.pdf>

Cenicafe (2016). La acidez, una limitante común para la producción de café. Avances Técnicos 466. CENICAFE, Colombia. 12 p

Chen, J. (2022). La función del manganeso en el cultivo de plantas | PRO-MIX. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-manganeso-en-el-cultivo-de-plantas/>.

Cherlinka, V. (2022). Deficiencia De Nitrógeno En Las Plantas: Cómo Repararlo.

<https://eos.com/es/blog/deficiencia-de-nitrogeno-en-las-plantas/>

Chonay, P., Herrera, E., Sabaja, A., Carias, A., & Santos, I. (2000). Evaluación de soluciones extractoras en la fertilidad de los suelos para las regiones fisiográficas: Llanura costera del Pacífico y pendiente volcánica reciente de Guatemala. 136 p. Tesis de grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía, Guatemala.

Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, (83), 5-71.

COFENAC (2013). Situación del Sector Cafetalero Ecuatoriano, Manabí, Ecuador.

Disponible en:

<http://www.cofenac.org/wp-content/uploads/2010/09/situación-sector-café-ecu.>

Condori. (2010). Efecto De La Fertilización Foliar en el Cultivo de dos Variedades de brócoli, bajo diferentes concentraciones en el Altiplano Central [Universidad Mayor de San Andrés]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5204/T1430.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Díaz M., C. (2006). Efecto del escalamiento sobre el crecimiento de las plantas de café en la etapa de almácigo. Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 246 Duicela, L., & Farfán, D. (2016). Calidad organoléptica del café en las zonas centro y sur de la provincia de Manabí, *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, n.º 244, (15-34).

Enríquez, G., & Duicela, L. (2014). Guía técnica para la producción y poscosecha de café arábigo. Portoviejo, Ecuador.

Espinosa, J. (1999). Acidez y Encalado de los Suelos. International Plant Nutrition Institute. Quito, Ecuador. 47 p. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/los-materiales-para-el-encalado-de-suelos-acidos> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C.,

Espinoza, J. (1995). Acidez y encalado de los suelos. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito-Ecuador. *Informaciones Agronómicas* N° 20: 6-14.

Espinoza, J., & Molina, E. (2015). Acidez y encalado de los suelos (Soil acidity and liming).

Disponible en: <https://doi.org/10.13140/2.1.3888.9281>. (Consultado en febrero de 2022)

FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy. p 83. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>. (Consultado en febrero de 2022)

Fassbender, H. (1982). Factores Climáticos que intervienen en la Mineralización. En Química de Suelos; con énfasis en suelos de América Latina (pág. 422)

Fassbender, H. W., Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica. 1era Edición. Talleres gráficos de Trejos Hnos.Sucs.S.A. Pag.173,183.

FECD. (2011). Fondo Ecuatoriano de Cooperación para el Desarrollo. Disponible en : <https://fecd.org.ec>

Fernández, (2015). iAgua. Importancia de la estructura del suelo en la agricultura. Obtenido: <https://www.iagua.es/blogs/iriego/importancia-estructura-suelo-agricultura>

Fertibox, Á. G. J.-T. L. (2019). El potasio y su importancia en el crecimiento vegetal. Fertibox. Disponible en: <https://www.fertibox.net/single-post/potasio-agricultura>.

Fertilab (2017). Datos de referencias nutrimentales en cultivo de café para la etapa vegetativas hasta antes de floración. Área de investigación del laboratorio de análisis agrícolas “Fertilab”.

García, O. A. (2010). Manejo de la degradación de suelo. En: Burbano, H. y Siva, F., eds. Ciencia del Suelo. Principios básicos. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 309 - 356 p.

Garrido S. (2003). Interpretación de análisis de suelo. España. Secretaría General de Estructura Agraria.

Girón, J. (2018). Enmienda del suelo en el cultivo café. Boletín Técnico. Centro de Investigaciones en Café de Anacafé [https://www.anacafe.org/uploads/file/996fa6415cbe41348b940a42c43eb57e/Bol etin-Tecnico-CEDICAFE-Abril-04.pdf](https://www.anacafe.org/uploads/file/996fa6415cbe41348b940a42c43eb57e/Bol%20etin-Tecnico-CEDICAFE-Abril-04.pdf)

González, H. (2012). Opciones para el manejo eficiente de los fertilizantes: actualidad y perspectivas. En: Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé. CHINCHINÁ.

COLOMBIA. Informe anual de actividades Disciplina Suelos. Chinchiná, Cenicafé. p 28-38.

González, H., & Sadeghian, S. (2012). Volatilización del nitrógeno a partir de diferentes fuentes fertilizantes en la etapa de crecimiento vegetativo del café. Cenicafé. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5nspe8/2007-0934-remexca-5-spe8-1433.pdf>.

Guayllas, J. (1988). Estado nutricional de los suelos de Cañicapac y Ñamarin, mediante un método biológico. 98 p. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja, Agronomía. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales renovables, Loja, Ecuador.

Guerrero, J. (2012). El cultivo del café. Agrobanco, 28. Asistencia técnica dirigida en: Toma de muestras y recomendaciones de fertilización en cultivos tropicales. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/039-a-tropicales.pdf>

Henríquez, M., Pérez, J., Gascó, J. M., & Rodríguez, O. (2005). Determinación de la capacidad de intercambio catiónico en arena y caolín usando acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. *Bioagro*, vol.17, n.1. 62 p. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S131633612005000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S131633612005000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

Hernández, C. (2011). Temas de granja de la calidad y seguridad alimenticia. Mejorando la seguridad y calidad de frutas y hortalizas frescas. 31 p. Manual de formación para instructores.

Holdridge, L. (1967). Ecología basada en zona de vida. 1 ed. IICA. San José, Costa Rica. Obtenido de: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/20573/1/CLAUDIA%20TATIANA%20MERINO%20HIDALGO.pdf>

Ibáñez, J. (2006). Humus y la Clasificación del Humus de los Suelos. Recuperado: <http://www.madrimanr.org/blogs/universo/2006/08/18/>

Instituto Colombiano Agropecuario ICA. (1992). Fertilización en diversos cultivos, Quinta aproximación. Manual de Asistencia técnica N° 25. 64 p.

INAMHI. (2014). Red de estaciones automáticas Hidrométricas. Instituto Nacional de Meteorológica E Hidrología. Obtenido de: <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>

Infoagro. (2017). Composición química del suelo y su pH. Revista Infoagro México.

Obtenido de:<https://mexico.infoagro.com/composicion-quimica-del-suelo-y-su-ph/>

Intagri. (2015). La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo. 3 p. Serie Suelos. Núm. 09. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. Obtenido de: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo> (Consultado en febrero de 2022).

Intagri. (2017). Uso Eficiente del Fósforo en la Agricultura. Serie Nutrición Vegetal Núm. 105. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura>.

Intagri (2017). La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos. Serie Suelos. Núm. 26. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. Extraído de: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>

Intagri. (2020). El Cobre en la Nutrición Vegetal. 4 p. Serie Nutrición Vegetal. Núm. 135. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. Obtenido de: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-cobre-en-la-nutricion-vegetal>.

Jaramillo, R. (2018). La Red Nacional de Laboratorios de suelos busca reforzar el servicio de calidad para los productores ecuatorianos. ECUADOR ES CALIDAD -Revista Científica Ecuatoriana, Vol. 5. Article 1. Obtenido de: <https://revistaecuadrescoalidad.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadrescoalidad/index.php/revista/article/view/56>

Kyrby, E., & Rómbeld, V. (2007). Micronutrientes en la fisiología de las plantas: Funciones, absorción y movilidad. 21 p. Obtenido de: <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/MicronutrientesenlaFisiologia.pdf>. (Consultado en febrero de 2022).

Kochian, L.V., Piñeros, M.A., Liu, J., y Magalhaes, J.V. (2015). Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance. *Annual Review of Plant Biology*, 67, 571-598.

Lara, G., & Orellana, Y. (2021). Fertilidad del Suelo. En *Manejo y Conservación del Suelo*. (p. 53). Tecnología Superior en Agroecología. Instituto Superior Tecnológico “Manuel Encalada

Zúñiga”.

<https://instipp.edu.ec/Libreria/libro/s3MANEJO%20CONSERVACION%20DE%20SUELOS.pdf>

Lema, V. (2019). Informe de rendimientos objetivos de café (grano oro) 2019. Ministerio de Agricultura y Ganadería.

León, L. (1981). Fertilización fosfórica del arroz.40 p. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia Obtenido de:

[https://books.google.com.ec/books?id=WcXubF8SCUUC&lpg=PA21&ots=aCS1bP3\\_0j&dq=El%20agua%20es%20una%20de%20las%20soluciones%20extractoras%2C%20como%20tambi%C3%A9n%20la%20mezcla%20de%20C3%A1cido%20clorh%C3%ADrico%200.05%20N%20con%20C3%A1cido%20sulf%C3%BArico%200.025%20N%20\(muy%20usada%20en%20Carolina%20del%20Norte%20y%20conocida%20como%20Mehlich%201&pg=PA4#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=WcXubF8SCUUC&lpg=PA21&ots=aCS1bP3_0j&dq=El%20agua%20es%20una%20de%20las%20soluciones%20extractoras%2C%20como%20tambi%C3%A9n%20la%20mezcla%20de%20C3%A1cido%20clorh%C3%ADrico%200.05%20N%20con%20C3%A1cido%20sulf%C3%BArico%200.025%20N%20(muy%20usada%20en%20Carolina%20del%20Norte%20y%20conocida%20como%20Mehlich%201&pg=PA4#v=onepage&q&f=false)

Loaiza, G. (2013). Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado en granodiorita, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el sur de la Amazonía Ecuatoriana.140 p. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja. Ingeniería Agronómica, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales renovables, Loja, Ecuador.

Macas, K. (2021). Efecto de los diferentes niveles de Nitrógeno en el crecimiento del café en el cantón Loja.106. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Loja. Ingeniería Agrícola, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales renovables, Loja, Ecuador.

Macas Leonardo., Mora Emilio (2006). Caracterización Geológica-estructural de las Formación San Cayetano de la Hoya de Loja., Tesis (Ingeniero en Geología y Minas)., Loja, Ecuador. Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Geología y Minas., p. 114.

Masís, W. F. & Rodríguez, O. G. (2007). Estimación de la mineralización neta de Nitrógeno del suelo en sistemas Agroforestales y a pleno sol en el cultivo del Café (*Coffea Arabica* L.), En El Pacífico De Nicaragua, Departamento De Carazo. Managua, Nicaragua. Obtenido de : <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp34f954.pdf>

Mata, G. E. (2006). Nutrientes esenciales para las plantas. 14 p. DROKASA. Perú. Obtenido de: [http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Nutrientes\\_Esenciales\\_para\\_las\\_Plantas.pdf](http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Nutrientes_Esenciales_para_las_Plantas.pdf)

Meléndez, G. & Molina, E. (2001). Fertilidad de Suelos y Manejo de la Nutrición de Cultivos en Costa Rica. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas. Laboratorio de Suelos y Foliare.

Mendes, F. (2022). Encalado de Suelos: ¿Cuándo hacerlo? BoosterAgro Blog. <https://boosteragro.com/blog-esp/encalado-de-suelos-cuando-hacerlo/>

Mengel, K. (2000). Principios de Nutrición Vegetal. 597 p. 4ta. Edición, 1ra en español. Instituto Internacional de la Potasa, Basilea, Suiza. Obtenido de: [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod\\_resource/content/2/principios%20de%20nutrici%c3%93n%20vegetal.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/principios%20de%20nutrici%c3%93n%20vegetal.pdf)

Messick, DL, Fan, MX y Brey, C. (2005). Necesidad mundial de azufre y fertilizante de azufre. Número especial. 283. Es: Procedimientos del primer taller chino-alemán sobre el aspecto de la nutrición azufración de las plantas. L. De Kok y E. Schnug (eds). 23-27 mayo 2004,Shenyang, China. págs. 97-104.

McKean, S. J. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Una guía teórica y práctica de metodologías.

Molina, E. (2002). Fertilización foliar: Principios y Aplicaciones. Costa Rica.

Molina, E (2011) Análisis de suelos y su interpretación (en línea). Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. 8p. Consultado 6 sep. 23. <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documentos/Suelos/SUELOSAMINOAGROWanalisisinterpretacion.pdf>

Molina, E. y Meléndez, G. 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Mimeo

Monge, L. (1999). Manejo de la nutrición y fertilización del cultivo del café orgánico en Costa Rica. 17.

Murillo, A., Llobet, J., Serra, Á., & Martín, A. (2010). Tecnología de suelos estudio de casos (Primera, Ed, p. 353). Prensa universitaria Zaragoza. Zaragoza, España, Obtenido de: <https://books.google.com.ar/books?id=b2h1gY9dPuoC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Navarro. S. (2003). Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la

vida vegetal. Segunda Edición. Ediciones Mundi prensa. 438 p. Madrid, España. Obtenido de:  
<https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2018/10/QUIMICA-AGRICOLA.pdf>

Navarro, G., & Navarro, S. (2013). Química Agrícola. España: Mundi-Prensa.

Navarro, G. (2014). Fertilidad actual y potencial del suelo . Fertilizantes: química y acción  
<http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POMCH/Rio%20SambingoHatoviejo/Fertilidad%20de%20los%20Suelos.pdf>

Nigoulse Fernandine (2006). Función de la materia orgánica en el suelo. México, compañía Editorial continental S.A. 2006. 87 P <http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/11880.html>.

Padilla, W. (2009). Métodos químicos para el análisis de suelos y foliar. Clínica Agrícola. Quito, Ecuador. Ed. 4. 327 p. Obtenido de:  
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12501/1/Fernando%20Mauricio%20Castillo%20Cevallos.pdf>

Palma, M. (1989). Respuesta del café Coffea arabica a diferentes niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en dos localidades de Honduras. Honduras.

Pardo, A. (2021). La esencialidad del hierro en la nutrición vegetal.Metroflor.  
<https://www.metroflorcolombia.com/la-esencialidad-del-hierro-en-la-nutricion-vegetal/>.

Pérez, E. (2014). Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. 15 p. InterSedes, Vol. 14, N #29. Obtenido de:  
<https://doi.org/10.15517/isucr.v14i29.13496>

Pérez, F. (2017). Fisiología Vegetal. 175.

Piaggese, A. (2004). Microelementos en la nutrición vegetal (p. 57). VALAGRO. Spa. Italia.  
Obtenido de:  
[https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4781/sistemas\\_de\\_produccion\\_vegetal\\_2.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4781/sistemas_de_produccion_vegetal_2.pdf)

Pilozo, W., Indacochea, B., Castro, A., Vera, M., & Ortega, G. (2022). Principales enfermedades causantes de la pérdida de rendimientos de los cultivos de café arábigo (Coffea Arabica L.) en la Zona Sur De Manabí, Ecuador. Revista Científica Multidisciplinaria, 6(2), 117-134. Obtenido de <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unsumciencias/article/view/632/531>

Porta, J., López Acevedo, M., Roquero, C. “Edafología para la agricultura y el medio ambiente”. 2003. Ed. Mundi prensa, pp. 167-202

Posada, C (2003). Respuesta de plántulas de café a la fertilización foliar y la aplicación de pulpa de café compostada. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.

Pulgarín, G. A. (2005). Determinación de nitratos y amonio en muestras de suelo mediante el uso de electrodos selectivos. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 58 (1), 2733–2740.

Quimagro (2022). La importancia de realizar un análisis de suelo. QUIMAGRO INDUSTRIAL. <https://www.quimagro.com.mx/blog/al-servicio-de-la-agricultura-1/la-importancia-de-realizar-un-analisis-de-suelo-11>

Ramírez, C. (1997). Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas de los Suelos. Bogotá.

Ramírez, G.(1980). Análisis químico del suelo como guía para la fertilización del cafeto. Noticiero del Café Costa Rica 6 (187), 1-4 (1980)

Ramos, F. (2011). Nutricion Vegetal. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Obtenido de: <http://fernandoramos.net/nutricion/manual.pdf>

Ramos, N. (2003). Evaluación del fosforo extraído con dos soluciones extractoras en suelos del altiplano occidental de Guatemala. 51 p. Tesis de grado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Guatemala. Obtenido de: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2124.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2124.pdf)

Ravet K, Pilon M (2013). Copper and iron homeostasis in plants: the challenges of oxidative stress. Antioxid Redox Sign 19 (9):919-932.

RELEASE. (2016). Informe de gestión correspondiente al año 2015. <https://books.google.com.ec/books?id=AegjDhEIVAQC&pg=PA301&dq=el+nitrogeno+en+las+plantas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiZ9vfhv4zkAhUPx1kKHcoCBKgQ6AEIMDAB#v=onepage&q=el%20nitrogeno%20en%20las%20plantas&f=false>

Romero, C. (2008). Fertilización natural. Obtenido de: <https://agrilab.com.co/recomendacion/>

Rosales, A. P., Spínola, A. G., Montoya, R. B., Mendoza, T. M. H., & Peña, A. V. (2017). Capacidad de intercambio catiónico: Descripción del método de la tiourea de plata. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.8 Núm.1.7 p. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263149891022.pdf>

- Sadeghian, K. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. 43 p. Chinchiná Caldas, Colombia Obtenido de: <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot032.pdf>
- Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. Programa de Investigación Científica, Fondo Nacional de Café, 12.
- Sadeghian, K. S. y González, O. H. (2012). Alternativas generales de fertilización para cafetales en etapa de producción. Avances técnicos Cenicafé Número 4244 <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/1107/3/avt0424.pdf>
- Sadeghian, S. (2021). Acidez del suelo para el cultivo de café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, Guía más agronomía, más productividad, más calidad (3a ed., pp. 95–99). Cenicafé. [https://doi.org/10.38141/10791/0014\\_6](https://doi.org/10.38141/10791/0014_6) ORCID Sadeghian, S. <https://orcid.org/0000-0003-1266-0885>
- Salamanca S., R. (1990). Suelos y fertilizantes. Universidad Santo Tomás, Bogotá. 345 p Cenicafé (Colombia) 55(4):330-340. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8983/16077856.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, P. (1981). Suelos del trópico, características y manejo. 634 instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. Universidad de Texas. Obtenido de: <https://books.google.com.ec/books?id=2ZNgAAAAMAAJ>
- Sela, G. (2019). El nitrógeno en las plantas. Cropaia. Obtenido: <https://cropaia.com/es/blog/nitrogeno-en-las-plantas/>
- Sela, G. (2019). El cobre en las plantas | Cropaia. <https://cropaia.com/es/blog/cobre-en-las-plantas/>.
- Sela, G. (2021). El pH y la acidez del suelo | Cropaia |. <https://cropaia.com/es/blog/el-ph-del-suelo/>
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2008). Principios de análisis instrumental (6ta. Ed.). México, D.F.: Cengage Learning.
- SINTRAINUSCAFE (2020). Obtenido de <https://sintrainuscafe.org/secciones/interpretacion-segun-los-requerimientos-nutricionlaes> del

cafeto/

Statista. (2022). Producción mundial de café 2003-2022. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/635187/mercado-del-cafe-produccion-mundial/>

Tandazo, K. F. (2019). Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Chaguarpamba y Lozumbe. 97 p. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja. Ingeniería Agrícola, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales renovables, Loja, Ecuador. Recuperado 8 de febrero de 2022, de: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22567/1/Karina%20Fabiola%20Tandazo%20Tandazo.pdf>

Torres, Martin. (2008). «¿Qué es la Fertilidad del Suelo?: Fertilidad Física, Química y Biológica - Un Universo invisible bajo nuestros pies». <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/29/83481>.

Valencia, G. (1989). Interpretación de análisis de suelos para café. Colombia. Cenicafe 32(1): 3.14

Vanegas, F. (2016). Coffee Media. Obtenido de; El suelo óptimo para el cultivo de café.

Vignola, V., Watler, W., Poveda, P., & Vargas, A. (2018). Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de café en costa rica. <Http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8206.pdf>

Villamagua, M. (2021). Efecto del encalado sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y crecimiento del (cafeto Coffea Arábica L.). 180 p. Pueblo Nuevo, Cantón Loja, Ecuador.

Villavicencio, L. D. (2018). "Propuesta de mejoramiento en el anejo del cueltivo de acfe en el barrio Cango Viejo Parroquia Mercadillo Canton Puyango UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, Loja. Obtenido de: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/20854/1/LUIS%20DAVID%20ARIAS%20VILLAVICENCIO.pdf>

Yara Ecuador. (2018). Nutrición vegetal del café: Suelo y agua para café. <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/cafe/suelo-y-agua-para-cafe/>

Yepes V., L. F. and V. J. Flórez R. (2013). Analysis of the electric conductivity and pH

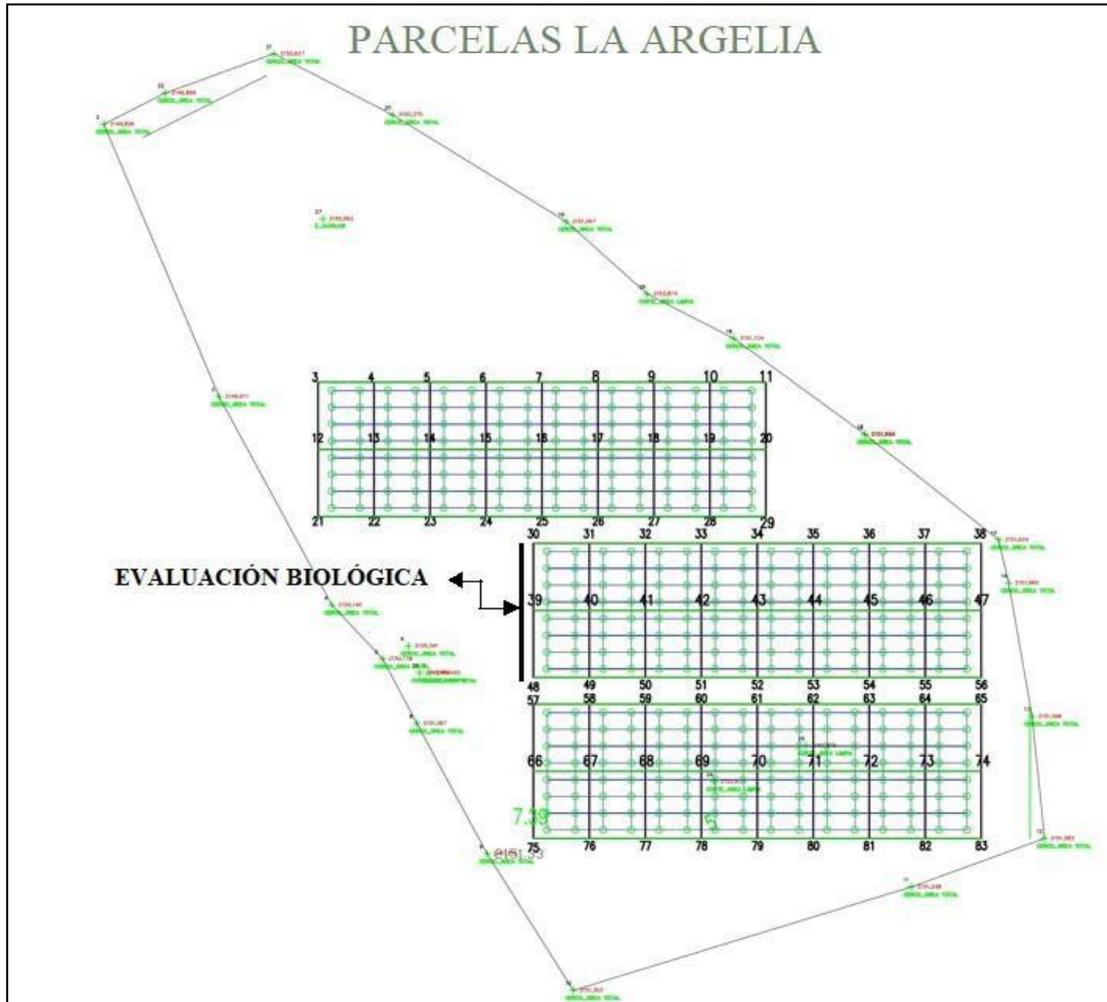
behaviors in recycled drainage solution of rose cv. Charlotte plants grown in substrate. Agron. Colomb. 31: 352-361.

Zambrano, P. (2019). Evaluacion 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 [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22576/1/PAOLA%20LOURDES%20ZAMBRA%20NO%20SARANGO.pdf>

Zerna, J. (2023). Efectos de los Niveles de Nitrógeno (0 – 150 –200 – 250 Kg Ha-1) en la fase inicial de crecimiento del cultivo del café (Coffea arábica L.) En La Estación Experimental La Argelia en el Cantón Loja. 81.

## 11. Anexos

### Anexo 1. Croquis del Diseño de Investigación.



### Anexo 2. Preparación de las muestras del suelo



**Anexo 3.** *Preparación de los recipientes.*



**Anexo 4.** *Preparación de las soluciones nutritivas*



**Anexo 5. Interpretación de correspondencia química**

<b>Elemento</b>	<b>Biomasa</b>	<b>Interpretación</b>	<b>Análisis Químico</b>	<b>Interpretación</b>
<b>-N</b>	11,18	B	172	A
<b>-P</b>	5,96	B	31,3	A
<b>-K</b>	46,66	M	0,2	M
<b>-Mg</b>	78,35	A	1,6	A
<b>-S</b>	16,79	B	8,3	B
<b>-Zn</b>	63,01	M	3,1	M
<b>-Mn</b>	55,50	M	16,2	A
<b>-Cu</b>	74,84	A	3,8	M
<b>-Fe</b>	66,00	M	950	A
<b>-B</b>	61,02	M	0,4	B

**Anexo 6. Análisis de varianza para los valores de biomasa seca**

<b>Fuente de variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	181,74	11	16,52	17,43	<0,0001
Solución	181,74	11	16,52	17,43	<0,0001
Error	22,75	24	0,95		
Total	204,49	35			

**Coefficiente de variación 27.43**

Anexo 7. Tríptico Divulgativo entregado a los asistentes en el Día de Campo.

### DISEÑO EXPERIMENTAL

- ✓ Se utilizó el Diseño Bifactorial completamente al Azar
- ✓ Se realizó tres repeticiones de 11 tratamientos y la festigo llegando a un total de 36 plantas por parcela.

**Variables a evaluar**

- ✓ Altura de la planta (cm)

### RESULTADOS

Análisis de resultados tomando en cuenta la altura a los 45 días de haber iniciado el ensayo en el herbario de la Universidad Nacional de Loja

#### Bloque 2 Repeticion 3



Treatment	Height (cm)
Sol. Comp	35
Fe	30
Cu	29
Mg	26
Zn	26
Mn	25
K	24
B	23
S	22
N	18
P	15
T	11



### CONCLUSIONES

- ✓ El pH del suelo de la Estación Experimental la Argelia cuenta con suelos muy ácidos a ligeramente ácidos (pH 4.9 a 5.26).
- ✓ En el bloque 2 R1 las que se desarrollaron mas fueron SC, Cu, Zn y Fe, las que tuvieron desarrollo medio fueron B, Mg, K, Mn y los que presentaron deficiencia fueron S, N y la T.
- ✓ En el bloque 2 R2 las que se desarrollaron mas fueron SC, Mn, Zn y Mg, las que tuvieron desarrollo medio fueron Fe, K, Cu y B y los que presentaron deficiencia fueron S, N, P y la T.
- ✓ En el bloque 2 R3 las que se desarrollaron mas fueron SC, Fe, Cu y Mg, las que tuvieron desarrollo medio fueron Zn, Mn, K y Bi y los que presentaron deficiencia fueron S, N, P y la T.



**“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”**  
Carrera de Ingeniería Agrícola



### “PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (Coffea Arabica L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA”



**TESISTA:**  
Adriana Andrade

**DIRECTOR:**  
Ing. Jimmy Cordero.

**LOJA – ECUADOR**

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo principal, evaluar química y biológicamente la disponibilidad de los nutrientes mediante la técnica del elemento faltante para determinar la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo.

Con el transcurso del tiempo el suelo pierde su capacidad productiva y la disponibilidad de nutrientes causando una disminución en el rendimiento de los cultivos. Los análisis químicos que realizan los laboratorios de suelo del país, para evaluar la disponibilidad de los nutrientes, no siempre reflejan con veracidad la cantidad de elementos aprovechables, por lo cual se planteó evaluar la fertilidad actual del suelo de la estación experimental la Argelia, mediante el método del elemento faltante desarrollado por Cowel (1980) y adaptado por Valarezo (1985), utilizando como planta indicadora el tomate riñón.

Varias investigaciones, corroboran lo mencionado, Castillo y Villavicencio (2015), concluyeron que en suelos del trópico cultivados con *Gliricidia sepium*, el N, P, K y Mn son bajos en la evaluación biológica y en el análisis químico es alto. Aguirre (2017), en los suelos de Chuquiribamba, concluyó que el N y P son deficitarios y en el análisis químico alto.

## OBJETIVOS

### Objetivo general:

Contribuir al incremento de la producción de café mediante un plan de fertilización para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la Estación Experimental La Argelia.

### Objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar las propiedades Químicas del suelo del sistema Agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en la Estación Experimental La Argelia.
- ✓ Determinar los nutrientes disponibles mediante la técnica del elemento faltante.
- ✓ Proponer un plan de fertilización para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la Estación Experimental La Argelia.

## METODOLOGÍA

### Ubicación del ensayo

Las muestras recolectadas para la evaluación biológica, fueron tomadas en la estación experimental la Argelia y se desarrollo en el herbario de la Universidad Nacional de Loja.

### Materiales

108 tarrinas de plástico de 600ml, 108 vasos de plásticos de 250 ml, semillas de tomate riñón, recipientes de plástico de 6L, sales y balanza de precisión.

### Metodología

#### Evaluación biológica:

- ✓ Se tomaron muestras de suelo en el sector de estudio a una profundidad de 25 cm
- ✓ Instalación y seguimiento del ensayo: Preparación de soluciones madres y nutritivas

Sales	(g/l)	Sales	g/l
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	118	MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	1,81
KNO <sub>3</sub>	101	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,86
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136	ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0,22
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	120	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0,16
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	87	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0,04
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	123	NaFe-EDTA	32,75
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	101		
CaCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	109		

Volúmenes de las soluciones madre que se necesita para 1 L en las diferentes soluciones nutritivas

SOLUCIÓN STOCK	Mililitros de soluciones madre que se debe adicionar											
	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe	
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	
KNO <sub>3</sub>	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>				2,0								
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,0	2,0			1,8							
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	1,5	1,5	1,5	1,5			1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O							1,5					
CaCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	6,0											
NaCl	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
NaFe-EDTA	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> · 4H <sub>2</sub> O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	

- ✓ Colocación de soluciones nutritivas en los recipientes (600ml).
- ✓ Siembra de tomate riñón (Siembra 07 de Octubre).
- ✓ Reposición de soluciones nutritivas de las 108 plantas fue: en el periodo de los 0– 15 días fue de 0,92 L/día; 15 – 30 días 1,51 L/día; y de 30 - 45 días 2,62 L/días; y de 45 - 53 días el consumo fue de 6,82 L/días.
- ✓ Medición de la altura a los 45 días.

Vea Config

## Anexo 8. Difusión de resultados

### Planificación del evento de difusión de resultados

**Tipo de evento:** Día de campo.

**Tema:** “PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA”.

**Lugar:** Ciudad de Loja.

**Fecha:** 1 de diciembre de 2022

**Participantes:** Director de tesis, tesista, docentes y estudiantes de segundo ciclo de la carrera de Ingeniería Agrícola Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables





UNL

Universidad Nacional de Loja

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES AGRÍCOLA

REGISTRO DE ASISTENCIAS DEL DIA DE CAMPO DE LA TESIS TITULADA: PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (Coffe arabiga L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA

Nombres y Apellidos	Nro. De Cédula	Firma de Responsabilidad
Emely Yadira Montañó Quezada	1950152197	
Yoliana Del Cisne Macanachi Sanmartín	1150110920	
Stuardo Fabrizio Vasquez M.	1105822359	
Luis Miguel Espejo Orellano	1150052266	
Zindy Verónica Gómez Ochoa	1150475053	
Luis Andrés Quichimbo Chavéz	0706764412	
Anthony Ariel Morito Ponce	110562423-0	
Francis Alejandro Alvarado Sisalima	1150554630	



UNL

Universidad Nacional de Loja

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES AGRÍCOLA

REGISTRO DE ASISTENCIAS DEL DIA DE CAMPO DE LA TESIS TITULADA: PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (Coffe arabiga L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA

Nombres y Apellidos	Nro. De Cédula	Firma de Responsabilidad
Karina Mercedes Lima Yopitiqui	1150015103	
Mauricio Vladimir Soto Andre	1150287611	
Angely Liliana Valdiviazo Ramirez	1150440723	
Leonie Rafael Ochoa González	1105636953	
Enelin Adriana Maldonado Maldonado	0706174547	
Evelyn Vanessa Pachá Álvarez	1150945521	
Jhoslin Alejandro Elizalde Viltaf.	1106179417	
Diego José Pinedo Aguado	1105660375	

**Anexo 9. Evaluación biológica del suelo del SAF de la Estación Experimental LaArgelia**



**Anexo 10. Equivalente químico**

Fertilizante	Peso Molecular g	eq	Solubilidad g/L	Fertilizante	Peso Molecular g	Eq	Solubilidad g/L
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O	236,15	118,08	1020	NH <sub>4</sub> Cl	53,50	53,5	--
KNO <sub>3</sub>	101,11	101,11	133	KCl	74,56	74,5	255
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115,03	115,03	282	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	147,02	147,02	75
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	246,48	123,24	260	MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	203,30	101,65	--
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80,04	80,04	183	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	142,05	142,05	--
Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	256,41	128,21	423	NaCl	58,45	58,45	--
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136,09	136,09	269	Fe-EDTA	430	430	90
Mg(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .3H <sub>2</sub> O	272,33	136,00	--	MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	169	84,5	39
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132,15	132,15	760	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	62	31	5,7
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174,27	174,27	110	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	287	143,5	86
NaN <sub>3</sub>	85,00	85,00	--	CuSO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O	250	125	32
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	119,90	119,9	--	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub>			
				4H <sub>2</sub> O	1236	1236	63,5

*Anexo 11. Concentración de sales.*

Concentración de los fertilizantes (%)																		
Fertilizante/Nutriente	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	S	MgO	Ca	P	K	Mg	Zn	B	Fe	Mn	Mo	Cu	CL	Na
Azufre micro ionizado					90													
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>												18						
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		52	34					22,36	28,22									
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> . 4H <sub>2</sub> O	7														54			
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O	15,5			26			19											
KNO <sub>3</sub>	13,5		46						38,18									
Fe-EDTA													13					
CuSO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O					12											25		
MgSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O					13	16				9,6								
ZnSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O					13						23							
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	21				24									25				
MnSO <sub>4</sub> . H <sub>2</sub> O					18													
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			50		18				41,5									
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		60						26,2										
Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	11									9								
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O							19										29	
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>					18				45									
NaCl																	60	40
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O														28			36	
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O										12							35	
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>								26										20

**Anexo 12.** Cálculo de cantidad de nutrientes.

**Solución completa (SC)**

• **Requerimiento del Nitrógeno**

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	(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	Ver
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 5

(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		(CaNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O ppm o mg/L	N meq/L		KNO <sub>3</sub> 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 (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. 4H<sub>2</sub>O</b>			<b>Cálculo del 13,5 % de N en KNO<sub>3</sub></b>		
(CaNO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O Ppm		KNO <sub>3</sub> ppm	KNO <sub>3</sub> meq/L		N ppm
100	→	15,5	100	→	13,5
708,48	→	X =	202,2	→	X =
$X = \frac{708,48 * 15,5}{100} = 202,22 \text{ ppm}$			$X = \frac{202,22 * 13,5}{100} = 27,30 \text{ ppm}$		

$(NH_4)_6 (Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$																									
<p><b>Pasar los g de N a ppm</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: center;">(Mo) mg</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 70%; text-align: center;"><math>(NH_4)_6</math> <math>(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O</math> mg</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">95.96</td> <td style="text-align: center;">→</td> <td style="text-align: center;">1235,3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,02</td> <td style="text-align: center;">→</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><math>X = \frac{0,02 * 1235,3}{95.96} = 0.26 \text{ mg}</math></td> </tr> </table>	(Mo) mg		$(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$ mg	95.96	→	1235,3	0,02	→	X	$X = \frac{0,02 * 1235,3}{95.96} = 0.26 \text{ mg}$			<p><b>Cálculo del 7 % de N en</b> <math>(NH_4)_6 (Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O</math></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%; text-align: center;"><math>(NH_4)_6</math> <math>(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O</math> mg</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 60%; text-align: center;">N mg</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1235.3</td> <td style="text-align: center;">→</td> <td style="text-align: center;">64</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.26</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><math>X = \frac{0.26 * 64}{1235.5} = 0,013 \text{ mg N}</math></td> </tr> </table>	$(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$ mg		N mg	1235.3	→	64	0.26		X	$X = \frac{0.26 * 64}{1235.5} = 0,013 \text{ mg N}$		
(Mo) mg		$(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$ mg																							
95.96	→	1235,3																							
0,02	→	X																							
$X = \frac{0,02 * 1235,3}{95.96} = 0.26 \text{ mg}$																									
$(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$ mg		N mg																							
1235.3	→	64																							
0.26		X																							
$X = \frac{0.26 * 64}{1235.5} = 0,013 \text{ mg N}$																									
<p><b>Requerimiento total de N de la planta indicadora</b> = 109,81+ 27,30+ 0,013= 135.127 <math>\cong</math> 135 ppm de N</p>																									

- **Requerimiento del Fosforo**

Para el cálculo del requerimiento de P se utilizó la sal: fosfato mono potásico  $[KH_2PO_4]$ .

Propiedades	$KH_2PO_4$	Ver
Peso molecular (g)	136,09	Anexo 10
Equivalente químico	136,09	Anexo 10
Concentración en la sal (%)	22,36	Anexo 11
Cantidad (ml/L o meq/L)	2	Tabla 5

$KH_2PO_4$																									
<p><b>Pasar los 2 meq/L de P a ppm</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: center;"><math>KH_2PO_4</math> meq/L</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 70%; text-align: center;"><math>KH_2PO_4</math> ppm o mg/L</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">→</td> <td style="text-align: center;">136,09</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">→</td> <td style="text-align: center;">X =</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><math>X = \frac{2 * 136,09}{1} = 272,18 \text{ ppm}</math></td> </tr> </table>	$KH_2PO_4$ meq/L		$KH_2PO_4$ ppm o mg/L	1	→	136,09	2	→	X =	$X = \frac{2 * 136,09}{1} = 272,18 \text{ ppm}$			<p><b>Cálculo del 22,36 % de P en <math>KH_2PO_4</math></b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%; text-align: center;"><math>KH_2PO_4</math> ppm</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 60%; text-align: center;">P ppm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: center;">→</td> <td style="text-align: center;">22,36</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">272,18</td> <td style="text-align: center;">→</td> <td style="text-align: center;">X =</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><math>X = \frac{272,18 * 22,36}{100} = 60,86 \text{ ppm P}</math></td> </tr> </table>	$KH_2PO_4$ ppm		P ppm	100	→	22,36	272,18	→	X =	$X = \frac{272,18 * 22,36}{100} = 60,86 \text{ ppm P}$		
$KH_2PO_4$ 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 =																							
$X = \frac{272,18 * 22,36}{100} = 60,86 \text{ ppm P}$																									
<p><b>Requerimiento total de P de la planta indicadora</b> = 60,8 ppm de P</p>																									

- **Requerimiento del Potasio**

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

$KH_2PO_4$			$KNO_3$		
<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 =
$X = \frac{2 * 136,09}{1} = 272,18 \text{ ppm}$			$X = \frac{2 * 101,11}{1} = 202,22 \text{ ppm}$		

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

**Requerimiento total de K de la planta indicadora**

$$= 76,80 + 77,20 = 154,02 \approx 154 \text{ ppm de K}$$

- **Requerimiento del Magnesio**

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

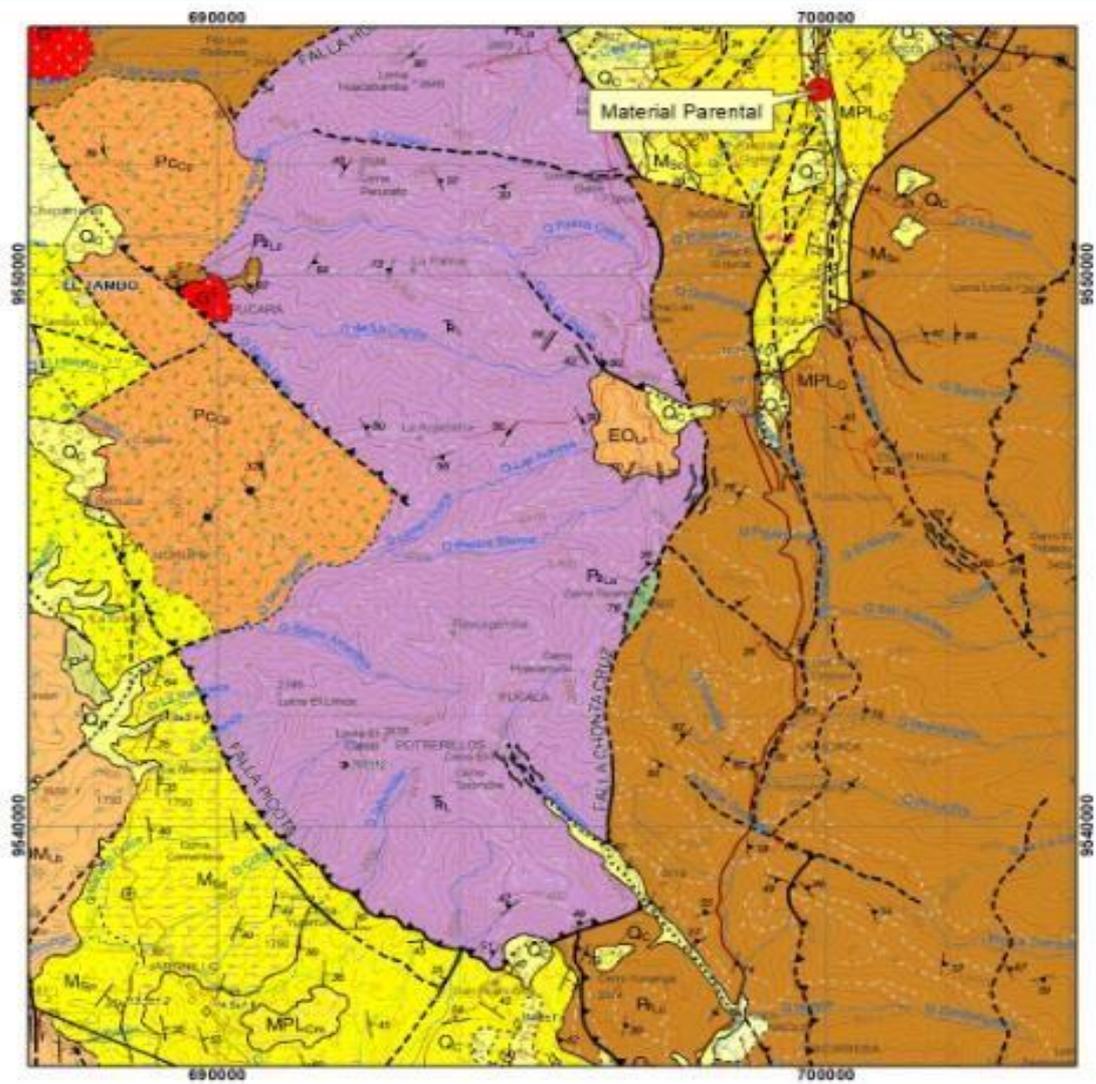
Propiedades	Sal	
	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Ver
Cantidad (ml/L o meq/L)	1	Anexo 10
Peso molecular (g)	246,48	Anexo 10
Equivalente químico	123,24	Anexo 11
Concentración de en la sal (%)	9,6	Tabla 5

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$				
Pasar 1 meq/L de Mg a ppm			Cálculo del 9,6% de Mg en $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 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 =
$X = \frac{1 \times 123,24}{1} = 123,24 \text{ ppm}$			$X = \frac{100 \times 9,6}{100} = 9,6 \text{ ppm Mg}$	
<b>Requerimiento total de Mg de la planta indicadora</b>				
= 17,7 ppm de Mg				

- **Requerimiento de S y Micronutrientes**

<u>Elemento</u>	<u>Cálculo</u>
-S	31,41
-Zn	0.05
-Cu	0.50
-Mn	0.04
-B	5.0
-Fe	0.50

Anexo 13. *Material Parental*



	<b>Universidad Nacional de Loja</b>
	Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
	Carrera de Ingeniería Agrícola
	Tesis: Plan de fertilización para el sistema agroforestal con café ( <i>Coffea arabica</i> L.) en la Estación Experimental La Argelia
Autora:	Adriana Mikneh Andrade Carrion



**ROCAS METAMORFICAS**



**FILITA**



**CUARCITA**



**ESQUISTOS**

**ROCAS METAMORFICAS**



**Anexo 14.** *Descripción del perfil del suelo de La Argelia*

**Código:** M<sub>02</sub>      **Fecha:** 04/05/2022    **Autores:** Fernanda Livisaca, Estudiantes cuarto ciclo, Adriana Andrade, Alexis Cañar, July Obaco    **Sitio:** Molinos

**Altitud (msnm):** 2140    **Coordenadas:** 4° 2'20.03"S y 79°11'57.97"O

**Pendiente:** 3%    **Paisaje:** base (plano)    **Tipo de relieve:** terraza aluvial

**Forma del terreno:** pendiente baja

**Uso actual o cobertura vegetal:** Alisos (*Alnus glutinosa*), canutillo (*Commelina diffusa*), lengua de vaca (*Dracaena trifasciata*)

**Condiciones de humedad: Húmedo**

**Pedregosidad superficial: 0%**

**Afloramientos rocosos: No Tipo: No**

**Material parental: Deposito aluvial**

**Profundidad de la capa freática:**

**Fluctuación N° \_\_\_\_\_ cm**

**Presencia de Sales o Alcalis: libre**

**Drenaje: pobre**



### **DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL ( M02)**

Suelo joven con presencia de tres depósitos aluviales, siendo el 3C el más antiguo con el 70% de grava, sin estructura, textura arenosa (Ao), que va desde los 45 cm hasta los 100 cm, donde se distingue tres coloraciones, el siguiente depósito compuesto por la capa 2C que se extiende desde los 25 cm hasta los 45 cm, de textura arcillo-limoso (AcLo), de distintos tipos de coloración y presencia de manchas, con una fractura gleysada, que denota una lámina de agua colgada, observándose en la parte inferior una capa de suelo oxidado y el depósito más reciente formado por los horizontes Ap que se extiende desde los 0 cm hasta los 10 cm de textura franco (Fo), de coloración oscura y un AC que va desde los 10 cm hasta los 25 cm de textura franco-arcilloso-limoso (FoAcLo) de coloración oscura, estructurados y sin presencia de gravas. Presenta una profundidad efectiva de 50 cm, donde en todos los horizontes se observó que no hay presencia de sales solubles ni restos de actividad humana, pero sí de fragmentos minerales como piritas en el horizonte 3C

**(Ap) 0 – 10** Color marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; sin presencia de manchas, textura al tacto franco (Fo); estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares medios y finos; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo ligeramente platica y friable; cantidad de poros: muchos y de diámetro fino; raíces finas y comunes, límite de horizonte neto y topografía plana.

**(AC) 10 – 25** Gris oliva oscuro (5 Y 3/2) en húmedo; pocas manchas pequeñas, indistintas y nitidez difusa; textura al tacto Franco-arcillo-limosa (FoAcLo); estructura débil en bloques subangulares medios y finos; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo platica y friable; cantidad de poros: muchos de diámetro muy grueso y pocos de fino; presencia de pocas raíces finas, así como de medias y comunes; límite de horizonte neto y topografía plana.

**(2C) 25 – 45** Presencia de dos colores gris oscuro (2,5 Y 4/1) y (10 YR 4/2) marrón grisáceo oscuro en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto arcilloso-limoso (AcLo); sin estructura; fragmentos rocosos visibles: muchas gravas y pocas piedras de forma redonda; sin consistencia en mojado y húmedo; cantidad de poros: muchos de diámetro mediano; sin presencia de raíces; límite neto y topografía interrumpida.

**(3C) 45 – 100** Presencia de tres colores gris oscuro (10 YR 4/1), (10YR 4/2) marrón grisáceo oscuro y (7,5 YR 4/6) marrón fuerte en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto arenosa (Ao); sin estructura; fragmentos rocosos visibles: frecuentes gravas, pocas piedras redondas y arena; sin consistencia en mojado y húmedo; cantidad de poros: muchos y diámetro mediano; sin presencia de raíces; presencia de fragmentos minerales (piritas).

**Anexo 15. Certificado de traducción Abstract**



**CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN**

Mgtr. Cecivel Jackeline Jiménez Castillo  
**MAGÍSTER EN PEDAGOGÍA DE LOS IDIOMAS NACIONALES Y EXTRANJEROS  
MENCION ENSEÑANZA DE INGLÉS**

**Certifico:**

Que he traducido minuciosamente el resumen de Trabajo de Titulación titulado: **“PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (Coffea arabica L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA”**, de autoría de la estudiante **ADRIANA MIKAELA ANDRADE CARRIÓN**, con cédula de identidad número 1900731553, previo a la obtención del título de Ingeniería Agrícola.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, autorizando al interesado, hacer uso del presente en lo que estime conveniente.

Mgtr. Cecivel Jackeline Jiménez Castillo.  
**MAGÍSTER EN PEDAGOGÍA DE LOS IDIOMAS NACIONALES Y EXTRANJEROS  
MENCION ENSEÑANZA DE INGLÉS**  
CI: 1900787647  
Registro Senescyt Traductor Intérprete: MDT-3104-CCL-248516