



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO
EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ (*COFFEA ARÁBIGA*
L.) EN LA HACIENDA EL CRISTAL, SECTOR PUEBLO NUEVO DEL
CANTÓN LOJA.**

Trabajo de Titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Agrícola.

AUTORA:

Paola Alexandra Aguirre Caraguay

DIRECTOR:

Ing. Miguel Villamagua, M. Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 22 de septiembre del 2022

M. Sc. Miguel Ángel Villamagua

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración de Trabajo de Titulación denominado: **EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ (*COFFEA ARÁBIGA L.*) EN LA HACIENDA EL CRISTAL, SECTOR PUEBLO NUEVO DEL CANTÓN LOJA**, de autoría del estudiante **Paola Alexandra Aguirre Caraguay**, con cedula de identidad **Nro. 1150405403**, previo a la obtención del título de Ingeniería Agrícola. Una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, apruebo y autorizo su presentación para los tramites de titulación.



M. Sc. Miguel Ángel Villamagua

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Paola Alexandra Aguirre Caraguay**, 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 y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de identidad: 1150405403

Fecha: 18 de enero del 2024

Correo electrónico: paola.aguirre@unl.edu.ec

Teléfono: 0997239646

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, **Paola Alexandra Aguirre Caraguay**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **“EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ (*COFFEA ARÁBIGA L.*) EN LA HACIENDA EL CRISTAL, SECTOR PUEBLO NUEVO DEL CANTÓN LOJA.”**, como requisito para optar el 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 de la siguiente manera en el Repositorio Digital 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 dieciocho días del mes de enero de dos mil veinticuatro.



Firma:

Autor: **Paola Alexandra Aguirre Caraguay**

Cédula: **1150405403**

Dirección: Catamayo, Loja Ecuador

Correo electrónico: paola.aguirre@unl.edu.ec

Teléfono celular: (+593) 997239646

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Miguel Villamagua M. Sc.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios y la virgen del Cisne por estar siempre y cuidarme en todas las adversidades de mi vida. A mis amados padres Delia y Javier quienes supieron llevarme por el camino del éxito y darme la oportunidad de alcanzar mis metas, a mis hermanos por estar pendientes y brindarme sus consejos, a mis sobrinos por ser mi inspiración y motor de vida, a mis amigas Lady y Ximena por su apoyo incondicional, a mi novio Darío por darme su tiempo y motivación lo largo de mi carrera Universitaria.

Paola Alexandra Aguirre Caraguay

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja, a la facultad Agropecuaria de Recursos Renovables Naturales y de manera muy especial a la carrera de Ingeniería Agrícola, con toda su planta docente por haberme formado como profesional para el servicio de la comunidad

Mi agradecimiento al Ing. Miguel Villamagua por su dirección, al Ing. Ramiro Vásquez y a la Ing. Yajaira Arévalo, por su ayuda desinteresada en la presente investigación

Finalmente, agradecer a mis padres por su apoyo moral y económico, y a todos y cada una de las personas que han aportado a lo largo de este proyecto universitario, mis más sinceros agradecimientos.

Paola Alexandra Aguirre Caraguay

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas:	xi
Índice de figuras:	xii
Índice de anexos:	xiii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract.....	1
3. Introducción	3
4. Marco Teórico	5
4.1. El suelo y sus propiedades físicas del suelo	5
4.1.1. Concepto de suelo	5
4.1.2. Porosidad.....	5
4.1.3. Densidad aparente	5
4.1.4. Densidad real.....	5
4.1.5. Estructura	5
4.1.6. Textura	5
4.1.7. Color.....	6
4.2. Propiedades químicas del suelo	6
4.2.1. pH.....	6
4.2.2. Capacidad de intercambio catiónico	6
4.2.3. Saturación de bases	7
4.3. Métodos de análisis químico de la fertilidad de los suelos.	7

4.3.1. Solución extractora Olsen.....	7
4.3.2. Solución extractora Olsen Modificada.....	7
4.3.3. Extracción con dietilentriamina penta-acético DPTA.....	7
4.3.4. Utilización de la solución Olsen Modificado en el Ecuador.....	7
4.3.5. La red de laboratorios de suelos en el Ecuador (RELASE).....	8
4.4. Evaluación química y biológica en suelos del Ecuador.....	8
4.5. Los nutrientes esenciales para las plantas cultivadas.....	10
4.5.1. Función de los elementos minerales.....	10
4.5.2. Potasio, K.....	10
4.5.3. Fósforo, P.....	11
4.5.4. Calcio, Ca.....	11
4.5.5. Magnesio, Mg.....	12
4.5.6. Azufre, S.....	13
4.5.7. Zinc, Zn.....	13
4.5.8. Cobre, Cu.....	14
4.5.9. Hierro, Fe.....	14
4.5.10. Manganeseo, Mn.....	14
4.5.11. Boro, B.....	14
4.6. Evaluación química de la fertilidad del suelo.....	15
4.7. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo.....	15
4.8. El cultivo de Café (<i>Coffea arabica L.</i>).....	15
4.8.1. Clasificación y Taxonomía.....	16
4.9. Requerimientos edafo-climáticos y nutricionales del café.....	16
4.9.1. Condiciones Edafoclimáticas.....	16
4.9.2. Altitud.....	16
4.9.3. Pluviosidad.....	16
4.9.4. Suelo.....	17
4.9.5. Temperatura.....	17
4.9.6. Humedad.....	17
4.9.7. Elementos esenciales para la nutrición del café.....	17

4.9.8. Elementos mayores	17
4.9.9. Elementos secundarios	17
4.9.10. Elementos menores	18
4.10. Fertilización de cafetales	18
4.10.1. Requerimientos de nutrimentos del café.....	18
4.10.2. Relaciones entre cationes intercambiables.....	19
5. Metodología	21
5.1. Ubicación política, geográfica y características biofísicas del Sector Pueblo Nuevo.	21
5.1.2. Localización del ensayo	22
5.1.3. Materiales y equipos	22
5.2. Evaluación biológica	22
5.2.1. Diseño experimental.....	22
5.2.2. Especificaciones del ensayo.....	23
5.2.3. Modelo mixto lineal.	23
5.2.4. Variables a evaluar.....	24
5.3. Para el primer objetivo: Evaluar biológicamente las unidades de suelo seleccionado...24	
5.3.1. Preparación de soluciones Nutritivas	24
5.3.2. Preparación de las muestras de suelo.....	25
5.3.3. Preparación de los recipientes.....	26
5.3.4. Instalación del experimento.	26
5.3.5. Siembra y raleo de la planta indicadora.	26
5.3.6. Reposición de la solución nutritiva.....	26
5.3.7. Registro del crecimiento y peso seco de la planta.....	26
5.3.8. Análisis de la fertilidad química en el laboratorio	27
5.4. Para el segundo objetivo: Establecer la correspondencia entre la evaluación química y biológica.....	27
5.5. Difusión de los resultados	29
5.6. Metodología para el tercer objetivo: Proponer un plan de fertilidad para el cultivo de café en el sector Pueblo Nuevo.....	29
6. Resultados	31

6.1. Características morfológicas, químicas y de fertilidad del suelo en el sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo.....	31
6.1. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo.....	31
6.1.1. Altura y biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo.....	31
6.1.2. Peso de la Biomasa Seca.....	33
6.2. Análisis de la correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica.....	34
6.3. Fertilización para cafetales.....	35
6.4. Fertilización para el suelo del sistema Agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo.....	36
6.4.1. Enmienda y relación de cationes.....	36
7. Discusión.....	39
7.1. Fertilidad Actual.....	39
7.2. Aspecto de la planta indicadora.....	39
7.3. Establecer la correspondencia entre la evaluación Biológica y química.....	45
7.4. Proponer un plan de fertilidad para el cultivo de café del sector Pueblo Nuevo.....	46
8. Conclusiones.....	47
9. Recomendaciones.....	48
10. Bibliografía.....	49
11. Anexos.....	57

Índice de tablas:

Tabla 1. Requerimientos de macro y micro nutrientes en cafetales en producción.....	18
Tabla 2. Relaciones entre cationes intercambiables adecuados para el café.	19
Tabla 3. Descripción de factores y niveles de estudio del diseño de bloques al azar.	23
Tabla 4. Tipos de sales y las cantidades expresadas en gramos para preparar las soluciones madres 1N de los macro elementos.	24
Tabla 5. Concentración de la solución madre y cantidades de sales expresadas en gramos para la preparación de un litro de la solución madre de micronutrientes.	24
Tabla 6. Volúmenes de las soluciones madre que se necesita para 1 L en las diferentes soluciones nutritivas	25
Tabla 7. Interpretación de valores de biomasa (%) de la planta indicadora.	29
Tabla 8. Cálculo de la CICE (capacidad de intercambio catiónico) del suelo del SAF del sector Pueblo Nuevo.....	36
Tabla 9. Enmienda y relación de cationes para el suelo del sector Pueblo Nuevo.	37
Tabla 10. Fertilizantes recomendados y costos para el cultivo de café en producción para el suelo del SAF para el sector Pueblo Nuevo.....	37
Tabla 11. Plan de fertilización para los cafetales en producción para el sector pueblo Nuevo.	38

Índice de figuras:

Figura 1. Identificación de la zona de estudio en el Sector Pueblo Nuevo.....	21
Figura 2. Promedio y prueba de Tukey al 5% de la altura de la planta de tomate (cm) a los 60 días de edad de sector Pueblo Nuevo.....	32
Figura 3. Altura y aspecto de la planta indicadora de las tres zonas del sector Pueblo Nuevo.	33
Figura 4. Promedio y prueba de Tukey al 5% de biomasa seca de la planta de tomate (gr) a los 60 días de edad de sector Pueblo Nuevo.....	34
Figura 5. Correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica para el suelo de SAF con café del sector Pueblo Nuevo.....	35
Figura 6. Difusión de resultados en la Universidad Nacional de Loja.	76

Índice de anexos:

Anexos 1. Descripción del perfil del uso del suelo en el SAF con café, en el sector Pueblo Nuevo.....	57
Anexos 2. Resultados de análisis químicos del sector pueblo nuevo	59
Anexos 3. Promedio de biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo.	60
Anexos 4. Porcentaje de biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo.	61
Anexos 5. Análisis químicos del suelo en el suelo del SAF con café de Pueblo Nuevo.....	61
Anexos 6. Peso molecular y equivalente químico de los fertilizantes.....	62
Anexos 7. Concentraciones de cada uno de los fertilizantes	62
Anexos 8. Mililitros de la solución stok que se debe adicionar y consumo de cada una de los elementos	63
Anexos 9. Cálculos de la cantidad de nutrientes en la solución nutritiva.....	63
Anexos 10. Cantidad de elementos para preparar la solución completa.	72
Anexos 11. Contenido de nutrientes del suelo expresados por la altura de la planta indicadora de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).	72
Anexos 12. Composición química de los fertilizantes utilizados para el plan de fertilización	73
Anexos 13. Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo	74
Anexos 14. Planificación del evento de difusión de resultados.....	75
Anexos 15. Certificado del Abstract.....	79

1. Título

**EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN
LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ (*COFFEA ARÁBIGA L.*) EN LA
HACIENDA EL CRISTAL, SECTOR PUEBLO NUEVO DEL CANTÓN LOJA.**

2. Resumen

En el sector Pueblo Nuevo de la parroquia Malacatos del cantón Loja, se ha observado a lo largo del tiempo un problema relacionado con la restitución y la aplicación desmedida de fertilizantes sin un criterio técnico adecuado. La baja producción de café a nivel nacional es uno de los problemas del sector cafetalero, atribuido a causas como; reducción de áreas cultivadas, prevalencia de cafetales viejos, otro problema importante es la acidez del suelo que ha llevado al deterioro progresivo de la fertilidad de los suelos, lo que a su vez ha resultado en una disminución en los rendimientos agrícolas, afectando la economía de los agricultores de la zona. La presente investigación se planteó llevar a cabo una evaluación tanto biológica como química de la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Esto se hizo con el propósito de comparar los resultados obtenidos mediante la solución extractora de Olsen Modificada, que es el método oficialmente utilizado en el país por la Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador. Con el fin de desarrollar un plan de fertilización adaptado a un sistema agroforestal específico dedicado al cultivo de café, la evaluación de las condiciones físicas del suelo reveló que este se encuentra en la categoría de pobre, se observó que el pH del suelo es ácido (4,3) y la capacidad de intercambio catiónico es baja, lo que hace que el suelo se bloquee y no absorba ningún nutriente, por lo cual la planta muestra síntomas de deficiencia de los nutrientes, como un limitado crecimiento, manchas amarillentas, tallos débiles, hojas pequeñas y pocos pelos absorbentes. Además, se analizaron los contenidos de varios nutrientes, incluyendo Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Azufre (S), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Boro (B). Al comparar los resultados de la evaluación biológica y los del análisis químico, se evidenció que el N, P, S, Zn, Mg, K y B no mostraron correspondencia entre el peso de la materia seca en la evaluación biológica y la concentración de los nutrientes disponibles en el análisis químico. Otros resultados del estudio, se identificaron deficiencias en varios elementos nutricionales, a saber: N, P, S, Zn, Mg, K y B. Para abordar estas deficiencias, se propuso la restitución de estos elementos con Cal Dolomita, Kieserita, Yararafos, $ZnSO_4$ y Bórax.

Palabras clave: evaluación biológica, plan de fertilización, sistemas agroforestales, cultivo de café, fertilidad de suelos.

Abstract

In the Pueblo Nuevo sector of the Malacatos parish in the Loja canton, a problem has been observed over time related to the restitution and excessive application of fertilizers without adequate technical criteria. The low production of coffee at a national level is one of the problems of the coffee sector, attributed to causes such as; reduction of cultivated areas, prevalence of old coffee plantations, another important problem is the acidity of the soil that has led to the progressive deterioration of soil fertility, which in turn has resulted in a decrease in agricultural yields, affecting the economy of farmers in the area. The present research aimed to carry out a biological and chemical evaluation of the availability of nutrients in the soil. This was done with the purpose of comparing the results obtained using the Modified Olsen's extractive solution, which is the method officially used in the country by the Soil Laboratory Network of Ecuador. In order to develop a fertilization plan adapted to a specific agroforestry system dedicated to coffee cultivation, the evaluation of the physical conditions of the soil revealed that it is in the poor category. It was observed that the soil pH is acidic (4.3) and the cation exchange capacity is low, which causes the soil to block and not absorb any nutrients, so the plant showed symptoms of nutrient deficiency, such as limited growth, yellowish spots, weak stems, small leaves and few absorbent hairs. Furthermore, the contents of several nutrients were analyzed, including Nitrogen (N), Phosphorus (P), Potassium (K), Sulfur (S), Magnesium (Mg), Zinc (Zn), Copper (Cu), Iron (Fe), Manganese (Mn) and Boron (B). When comparing the results of the biological evaluation and those of the chemical analysis, it became evident that N, P, S, Zn, Mg, K and B showed no correspondence between the weight of dry matter in the biological evaluation and the concentration of available nutrients in the chemical analysis. Other results of the study, deficiencies in several nutritional elements were identified, namely: N, P, S, Zn, Mg, K and B. To address these deficiencies, restitution of these elements with Dolomite Lime, Kieserite, Yaraafos, ZnSO₄ and Borax was proposed.

Key words: biological evaluation, fertilization plan, agroforestry systems, coffee cultivation, soil fertility.

3. Introducción

La evaluación biológica es una técnica rápida, eficiente que involucra el uso de ciertos procedimientos analíticos e interpretaciones para determinar el estado de distintos nutrientes a fin de corregirlos y obtener resultados más reales, para realizar la evaluación biológica se utilizó, tomate de mesa (floradade) como planta indicadora, a campo abierto, la misma que se utilizó por ser una planta que se desarrolla de forma rápida, lo que permite obtener resultados en corto tiempo, las mismas que constan de poca cantidad de reservas nutritivas en la semilla por lo que permite que los resultados sean más reales en relación a excesos y deficiencia de los elementos (Bouma, 1965).

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria ESPAC (2017), En Ecuador el cultivo de café se encuentra dentro de las principales actividades que se realizan, debido a su importancia económica y social en la generación de divisas y empleo. Se ubica entre los diez cultivos con mayor superficie; además, es cultivado en 21 provincias del país, las principales son, Manabí, Sucumbios, Orellana y Loja; tienen el 87% de la superficie sembrada.

En la provincia de Loja en el año 2016 la producción de café fue positiva en un 30% para Espíndola con 10 qq/ha de café y 10% para Puyango con 6,6 qq/ha de café, mayor al año anterior, mientras que en el cantón Loja, (Vilcabamba, San Pedro), los rendimientos fueron menores 9 qq/ha, el volumen decreció en 40% (Monteros, 2016).

Por otro lado, la mayoría de los cafetales se encuentran bajo cultivos agroforestales o bajo sombra y solo algunas hectáreas se encuentran en monocultivo (Maldonado, 2014). Siendo así que en la parroquia, y sobre todo en la Hacienda el Cristal, cultivo de café está siendo llevado en un sistema agroforestal (árboles + café.), utilizando los árboles de Alisos (*Alnus acuminata* H.B.K.) por regeneración natural para sombra, además que este árbol tiene las características de fijar nitrógeno por medio de su raíz. El porcentaje de sombra que se maneja es del 40 % de cobertura. Además, los cultivos de la zona tienen un período de crecimiento joven, aproximado de cincuenta meses, muestran un bajo crecimiento y desarrollo (Ortega 2014). Mostrando así, que la fertilidad del suelo en la agricultura tiene gran relación e importancia con la producción, ya que al conseguir mantener la fertilidad en niveles óptimos es lo que dará buenos resultados, tanto a corto como a largo plazo (FAO, 2002).

Las formas de determinar la fertilidad del suelo de los campos se la puede realizar por análisis de suelo, que por lo general son costoso, difíciles de obtener e interpretar, y hay otro método que corresponde a métodos de control biológico con el desarrollo en campo de

nutrientes disponibles en el suelo, en el siguiente proyecto se hizo uso de un método del elemento faltante y en evaluación biológica, que se lleva desarrollando en la Universidad Nacional de Loja desde hace muchos años atrás, con la finalidad de encontrar correspondencia entre los contenidos extraídos por la solución referida y la evaluación biológica dándonos como resultados finalmente que no existe una correspondencia total entre ambas metodologías para los elementos de N, P, K, S, Mg y B.

La presente investigación contribuye al sector agrícola especialmente a los agricultores que desean producir cultivos comerciales mejorando la calidad, con la fertilización se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobreexplotados, todo ello promoverá el bienestar de las comunidades y del país. Por los motivos expuestos, en el presente trabajo de investigación se planteó los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Evaluar química y biológicamente la disponibilidad de los nutrientes para generar un plan de fertilización en el sistema agroforestal con café en el sector de Pueblo Nuevo “Hacienda El Cristal” del cantón Loja.

Objetivos específicos

- Realizar la evaluación química y biológica de las unidades de suelo seleccionados.
- Establecer la correspondencia entre la evaluación química y biológica.
- Proponer un plan de fertilidad para el cultivo de café en el sector.

4. Marco Teórico

4.1. El suelo y sus propiedades físicas del suelo

4.1.1. *Concepto de suelo*

Según la FAO (2023), el suelo es componente esencial de la tierra y ecosistemas, en los cuales abarcan la vegetación, el agua y el clima en el caso de la tierra, también abarca consideraciones sociales y económicas en el caso de los ecosistemas.

4.1.2. *Porosidad*

Se expresa como el porcentaje de poros en el volumen del suelo, en donde el porcentaje de volumen de suelo no está ocupado por sólidos y de determina directamente en muestras de suelos no perturbados, sin deformaciones que cambien la posición de las partículas sólidas (Rucks, 2004).

4.1.3. *Densidad aparente*

Es la relación existente entre el peso seco (150°) de una muestra de suelo y el volumen que ocupa en el suelo de la misma.

4.1.4. *Densidad real*

Es el promedio ponderado de las densidades de las partículas sólidas del suelo y se denomina, obteniendo el peso seco de la muestra de suelo y el volumen de los sólidos de la muestra.

4.1.5. *Estructura*

Es la forma como se agregan las partículas del suelo y se encarga de las relaciones de aireación, infiltración, humedad y temperatura del suelo. Se caracteriza por la resistencia que crean los agregados del suelo para evitar ser destruidos, la estructura y estabilidad del suelo están involucradas en muchos procesos y sus interacciones con plantas: erosión, infiltración de agua, exploración de raíces y resistencia mecánica (Leon, 2011).

4.1.6. *Textura*

Es la característica más persistente del suelo y afecta directamente a otras propiedades como: estructura, consistencia, estado de humedad, permeabilidad, tasa de infiltración, tasa de

escorrentía superficial, erosionabilidad, trabajabilidad, fertilidad y la distribución de tamaño de partículas y grupos de tamaño de partículas dentro de un rango específico, para la determinación de la textura se utiliza el diagrama textural para lo cual se requiere porcentajes de arena, limo y arcilla (Valarezo, 2012).

4.1.7. Color

Es una de las propiedades morfológicas más importantes, fácilmente identificable y ordenada en la identificación taxonómica del suelo. El color del suelo está relacionado con el contenido de sólidos (materia orgánica, textura, composición mineral, morfología), el color del suelo se determina por la comparación de este con los diferentes patrones de color establecidos en la tabla Munshell (Dominguez, 2012).

4.2. Propiedades químicas del suelo

Estas propiedades se determinan en el laboratorio, a través de equipos y reactivos; estas son pH, Capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases (Fernandez L. , 2013). Según FAO (s.f.) describe las propiedades químicas del suelo como:

4.2.1. pH

El pH (potencial de hidrógeno) determina el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y, de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo. El valor del pH en el suelo oscila entre 3,5 (muy ácido) a 9,5 (muy alcalino). Los suelos muy ácidos ($<5,5$) y neutros (7) (Piedrahita, 2009).

4.2.2. Capacidad de intercambio catiónico

Se define como la cantidad total de carga negativa por unidad de masa de suelo o como la suma total de los cationes intercambiables. Esto es expresado en unidades de centimoles de la carga de catión por kilogramo (cmol/Kg) o mil equivalentes de carga por 100 gramos de suelo (meq /100g).

Se considera que los suelos con alta CIC > 20 meq/100g, son categorizados como más fértiles, ya que pueden retener más nutrientes que fueron absorbidos por las plantas o lixiviadas fuera de la zona radicular (Padilla , 2007).

4.2.3. Saturación de bases

En el suelo se encuentran los cationes ácidos y los cationes básicos. La fracción de los cationes básicos que ocupan posiciones en los coloides del suelo se refiere al porcentaje de saturación de bases. Cuando el pH del suelo indica 7 (estado neutral), su saturación de bases llega a un 100 por ciento y significa que no se encuentran iones de hidrógeno en los coloides. La saturación de bases se relaciona con el pH del suelo. Se utiliza únicamente para calcular la cantidad de limo requerida en un suelo ácido para neutralizarlo (Padilla, 2007).

4.3. Métodos de análisis químico de la fertilidad de los suelos.

4.3.1. Solución extractora Olsen.

Según Díaz (1982), citado por Aguirre (2017), este método ha sido utilizado a lo largo del tiempo para un amplio rango de pH, de ácido hasta alcalino; el método de extracción de Olsen 0,5N $NaHCO_3$ ajustada a pH 8,5 con una solución de 0,1N de NaOH para la extracción de fósforo en el suelo. Esta solución sirve para indicar cuál es el estado de disponibilidad de P y de K que el suelo presenta.

4.3.2. Solución extractora Olsen Modificada

Según Aguirre (2017), solución está compuesta por los siguientes reactivos: 0,5 Normal de $NaHCO_3$, 0,01 Molar $C_{10}H_{16}N_2O_8 \rightarrow$ (EDTA) y 0,5 g de superfloc 127, la cual es utilizada para determinar P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe y Mn.

4.3.3. Extracción con dietilentriamina penta-acético DPTA

Solución 0.05 M de ácido dietilentriamina penta-acético 0.01 M de $CaCl_2$ y 0.1 M detrietanolamina ajustada a pH 7.3 con HCl. La extracción se realiza agitando durante dos horas 10 g de suelo con 20 ml de solución donde en el extracto se determina el Hierro (Fe) y el Cobre (Cu) por absorción atómica (Torres & Hernández, 1988).

4.3.4. Utilización de la solución Olsen Modificado en el Ecuador

Actualmente, la mayoría de los laboratorios que pertenecen a la Red de Laboratorios de Análisis Químico de Suelos del Ecuador (RELASE) utilizan la solución extractante Olsen Modificado.

El extractante para suelos de uso más generalizado en la Costa y Sierra ecuatoriana es Olsen Modificado con el que se extrae previo a su cuantificación el contenido disponible de

los macroelementos P, K, Ca y Mg y de los microelementos Zn, Cu, Fe y Mn, no obstante Olsen Modificado no es de uso generalizado en el Mundo, aparte de Ecuador se usan solo en determinadas regiones de países como Costa Rica y Argentina, lo cual ha dado como resultado que no sea atractivo comercialmente preparar materiales de referencia certificados (Aucatoma, 2017)

4.3.5. La red de laboratorios de suelos en el Ecuador (RELASE).

Según Jaramillo (2018), 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, actualmente 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.

4.4. Evaluación química y biológica en suelos del Ecuador

Según Zhunaula (2016), ejecuto la evaluación química y biológica de la fertilidad actual de un suelo, desarrollado sobre andesita en seis unidades productivas del Sistema de riego La Era, Cantón Catamayo. Finaliza el experimento que tanto en la evaluación biológica de la altura de la planta como el peso de la muestra seca evidenciaron que el N, P y S son los elementos más deficientes, excepto en el suelo con pasto que no presento deficiencia del S, mientras que el Mn, Cu, K y el B se encontraron en un rango medio. La correlación entre la biomasa seca y los elementos disponibles del análisis químico del suelo fue: elevada para el -N y -S ($r = 0,9$), moderada para los elementos -Cu y -Mg ($r = 0,8$ y $0,7$); y baja para el -K, -Mn, -Zn, -P y -Fe.

Guayllas (1988), valoro el estado de los suelos provenientes de Cañicapac y Ñamarim, perteneciente al cantón Saraguro, mediante el método biológico con la técnica del elemento faltante, empleando plantas indicadoras de tomate (*Solanum lycopersicum*) y trigo (*Triticum vulgare*), en donde los resultados indican que el N y P son los elementos deficientes en Cañicapac, y los mejores promedios de altura de la planta de tomate se consiguió 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: - Zn con 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 y -K 13,1 % en Cañicapac, indicándose también que los valores más bajos de materia seca se obtuvieron en los tratamientos de P y N.

Burneo (2012), evaluó la fertilidad del suelo proveniente de Panguintza, del cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes. En esta investigación concluyeron que el N, P y B resultaron ser los elementos deficientes en los suelos de los doce tratamientos del experimento de campo. Además, la correlación de biomasa seca y los correspondientes contenidos de los nutrientes extraídos con la Solución de Olsen Modificada es muy baja y hasta negativa, con excepción para el K y Mg ($r=0.68$ y 0.56). Lo que recomienda se revise para el caso de los análisis de laboratorio de los elementos disponibles en los suelos del sur de la Amazonía Ecuatoriana. El método biológico fue sensible para evaluar la disponibilidad de los nutrientes en correspondencia con los factores: fertilización, especies arbóreas y dosis de biocarbón, lo que no ocurrió con el análisis de laboratorio.

Mendoza (2013), ejecuto 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 Panguí, 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 $-0,59$.

Loaiza (2013), evaluó la fertilidad de doce tratamientos instalados en un suelo desarrollado sobre granodiorita en el cantón Zamora, después de 18 meses de haber sido tratado con carbón vegetal, cal, nutrientes, en una plantación de pachaco y melina, utilizando como planta indicadora el tomate de mesa, donde concluye que el B, N y P, reflejaron ser los elementos mayormente deficientes, el Zn, Mn y Cu se encuentran en niveles altos; mientras que los otros elementos Mg, Fe, S y K se ubican en un rango de medio a bajo. La correlación entre la biomasa seca y los contenidos de los nutrientes extraídos mediante la solución extractora de Olsen Modificado es muy baja y en algunos casos negativa, con excepción del Cu y K ($r=0,52$ y $0,53$ respectivamente).

4.5. Los nutrientes esenciales para las plantas cultivadas

Las plantas necesitan una serie de nutrientes esenciales para su completo desarrollo en proporciones adecuadas, ya que tanto una deficiencia como un exceso de alguno de ellos afectan seriamente al desarrollo de la planta y provoca síntomas de desnutrición o toxicidad. Los nutrientes esenciales se clasifican normalmente en macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (Fe, Mn, B, Mo, Zn, Cl), de acuerdo con su concentración relativa en el tejido vegetal (Rodríguez & Flórez, 2004).

4.5.1. Función de los elementos minerales

Las sales minerales suministran los elementos nutritivos que las plantas requieren para el desarrollo de su ciclo vital, estos son incorporados a través de las raíces. Las sales en su mayoría proceden de las rocas de la litosfera, las cuales y a través de muy diversos procesos de meteorización se van degradando lentamente hasta convertirse en compuestos solubles. Con el agua del suelo, estos compuestos se disocian en mayor o en menor grado en cationes y aniones.

El nitrógeno es un elemento necesario en la síntesis de la clorofila, ya que es un componente de vitaminas y sistemas energéticos (Iñiguez, 2010).

Las plantas absorben el nitrógeno bajo las formas amoniacales (NH_4^+) y nítrica (nitrito NO_2^- y nitrato NO_3^-). La absorción de la forma iónica (NO_3^-) es la predominante, ya que en condiciones normales es la más abundante y se mueve libremente en la solución suelo, en tanto en forma amoniacal (NH_4^+) es adsorbida ampliamente por los coloides del suelo y si no es absorbida, rápidamente pasa a la forma de NO_2^- y NO_3^- (Iñiguez, 2010).

4.5.2. Potasio, K.

Siendo el potasio el catión más abundante en el citoplasma, este es necesario para el desarrollo máximo catalizador, para que un suelo no presente síntoma de deficiencia en la planta debe estar bien dotado de la presencia de K_2O para asegurar la disponibilidad de K^+ , forma en que es absorbido por las raíces. Desempeña una importante función en la fotosíntesis, en la economía hídrica, de la planta y muy especialmente como activador enzimático (Iñiguez, 2010).

La concentración K^+ en la solución suelo permanece constantemente, de tal manera que cuando la planta absorbe K^+ de la solución suelo disminuye su concentración. Debido a que el K^+ no se mueve mucho en el suelo, es vital mantener una fertilidad de K^+ adecuada en el mismo (Masis, Hernández y Piedra, 2017).

4.5.3. Fósforo, P.

Según Iñiguez (2010), las funciones de este macroelemento en los cultivos son esencial para las plantas para su crecimiento actúa en la floración, fructificación y formación de semillas, contrarresta el efecto producido por el exceso de nitrógeno que retarda la madurez de las plantas, interviene en el desarrollo de las raíces y actúa sobre la calidad de forrajes. Las plantas absorben la mayor parte del fósforo en forma de iones fosfatos $PO_4H_2^-$ (monovalente) y $PO_4H_2^-$ (divalente), y en cantidades menores en forma de fosfatos orgánicos solubles.

El fósforo puede incorporarse a los suelos por medio de la fijación bioquímica por microorganismos, el fósforo tiene ayuda microbiana la cantidad total expresada como P_2O_5 en el suelo, en raras ocasiones sobrepasa el valor de 0.5 % (Navarro & Navarro, 2013).

Según Navarro (2013), el fósforo puede estar presente en el suelo en cuatro formas:

- En la solución del suelo, es decir, directamente asimilable.
- Fijado en el complejo arcillo-húmico, por tanto, cambiabile o hábil.
- Como componente de la materia orgánica, precipitado o adsorbido en los geles de hierro y aluminio, en suelos ácidos, y precipitado como fosfato cálcico en suelos básicos, muy lentamente asimilable.
- Formando parte de la roca madre, no asimilable.

De acuerdo a las formas en que se encuentra el fósforo en el suelo no es aprovechable por las plantas, debido a su gran insolubilidad. El elemento para que pueda ser asimilado, es necesario que se encuentre como PO_2H_2 o PO_4H^{-2} en la disolución del suelo.

4.5.4. Calcio, Ca.

Es absorbido por las plantas fundamentalmente bajo la forma de Ca^{++} . Este elemento puede actuar en la planta bajo dos formas: como componente estructural de paredes y membranas celulares y como cofactor de varios enzimas. El calcio es muy importante para el desarrollo de las raíces, en las cuales ejerce una triple función: multiplicación celular, crecimiento celular y neutralización de los hidrogeniones (García & García, 2013).

Según García y García (2013), manifiesta algunas funciones importantes del calcio como; regular la absorción de nitrógeno; actuar sobre la translocación de hidratos de carbono y proteínas en el interior de la planta; neutralizar los ácidos orgánicos que se pueden originar en el metabolismo vegetal. Está demostrada la influencia favorable en la formación de nódulos en las leguminosas, como cofactor enzimático son conocidos los efectos termo estabilizadores

del calcio en las α -amilasas. También actúa como activador de fosfatasas, ATPasas y fosfolipasas.

Su contenido total, puede variar ampliamente, en suelos considerados como suelos no calizos varía entre 0,1 y 0,2 %, mientras que en los calizos puede alcanzar hasta un 25 % (Navarro & Navarro, 2013).

4.5.5. Magnesio, Mg.

El magnesio es absorbido por las plantas como ion Mg^{2+} , es un elemento menos abundante en el suelo. Este elemento es muy móvil en la planta, asciende por la xilema formando compuestos con aniones como NO_3^- y en las hojas forma la clorofila, que se distribuye para cumplir su acción fotosintética, al captar la energía solar y transformarla en energía química (Serrano, 2017).

Guererro (2017), menciona los problemas de carencia de magnesio que pueden producirse en:

- Suelos demasiado ácidos con pH muy bajo.
- Suelos demasiado ricos en potasio cambiante (ión k^+), por lo que se denomina “antagonismo de iones”. La relación k^+/Mg^{++} expresada en meq/100 g, debe estar comprendida entre 0.2 y 0.3. Cuando esta relación es de 0.5, podría producirse falta de magnesio por antagonismo del ión k^+ . También la relación de 0.1, por el contrario, produce carencias de K.
- Suelos demasiado ricos en iones Ca^{++} , por la misma razón anterior. Recordemos que cuando hablamos de cationes de cambio si la relación Ca^{++}/Mg^{++} , expresada en meq/100 g es mayor de 10 se puede producir una carencia de Mg, por lo que esta relación debe estar alrededor de 5.
- Suelos sódicos.

Herrera (2007), expresa que el magnesio es móvil en la planta y su carencia se manifiesta en las hojas viejas. Se produce clorosis internervial típica de hoja vieja que en muy raras ocasiones manifiesta necrosis. El ápice y los márgenes de la hoja pueden curvarse hacia arriba, las hojas no se secan. En caso de deficiencias del magnesio, las hojas basales adultas lo entregan para el uso de los ápices y hojas nuevas, tornándose cloróticas desde los bordes hacia dentro, con fotosíntesis reducida, necrosis posterior y defoliación prematura (Gil & Pszczółkowski, 2015)

4.5.6. Azufre, S.

El azufre es absorbido por la planta casi exclusivamente en forma de SO_4^{+2} y en pequeñas cantidades, también es absorbido como SO_3^{+2} . La cantidad de azufre en forma asimilable depende, sobre todo de la riqueza en humus y de la actividad biológica de los suelos (Guerrero, 2017).

El contenido de azufre en los suelos oscila entre 0,02 y 0,05 % aunque los suelos de las regiones áridas pueden presentar contenidos de hasta un 1 % de azufre, normalmente en capas superficiales (Navarro & Navarro, 2013).

La deficiencia de este elemento impide la formación adecuada de proteínas reduciendo el desarrollo de la planta, el follaje adquiere un color verde pálido que se extiende en toda la planta, seguido de clorosis y marchitez (Guerra & Lozano, 2014). La deficiencia de azufre produce según plantas pequeñas y enclenques, tallos delgados, hojas amarillentas, muy similares a la coloración que toman cuando carecen de nitrógeno, esta coloración comienza en las hojas superiores (Graetz, 2010).

4.5.7. Zinc, Zn.

Este elemento tiene como principal función activar las enzimas enolasa, aldolasa decarboxilasa, oxalacética, lecitinasa, cistena, deshidropeptidasa y dipeptidasa glicil glicinas. El Zn es necesario para producir clorofila e hidratos de carbono. Es absorbido por la planta como catión Zn^{++} por vía foliar o radicular, este elemento participa en la formación y funcionamiento de diversos sistemas enzimáticos que intervienen en procesos vitales para la planta (Iñiguez, 2010).

En los suelos agrícolas, el contenido total puede oscilar normalmente entre 10 y 300 ppm, y de lo que se conoce el zinc asimilable o en el zinc en condiciones de ser asimilado por la planta está por debajo de 10ppm (Navarro & Navarro, 2013).

Las hojas viejas presentan color verde, mientras que las hojas jóvenes empiezan a amarillear, según avanza el estado carencial, se observa la característica clorosis intervenal solo quedan de color verde los vasos, contrastando el color amarillento o blanquecido del limbo, e caso de carencia fuerte el amarillamiento es total, aparecen zonas necróticas en los bordes del limbo, produciéndose una caída precoz de las hojas y finalmente la defoliación total (Iñiguez, 2010).

4.5.8. Cobre, Cu.

Es un componente de las enzimas y a su vez es necesario para la formación de sustancias que promueven el crecimiento. En los suelos, la cantidad de cobre es variable, pudiendo oscilar por lo general entre 5 y 50 ppm. Normalmente se halla como Cu^{2+} , en su mayor parte como constituyente de las estructuras cristalinas de los minerales primarios que todavía no han sufrido el proceso de edificación y los minerales secundarios (García & García, 2013).

Su deficiencia inhibe la lignificación del xilema, conducente al marchitamiento y enrollamiento de hojas nuevas con flacidez y clorosis de peciolo y tallos (Gil & Pszczólkowski, 2015).

4.5.9. Hierro, Fe.

Este micronutriente actúa en la respiración y reducción de nitratos y sulfatos, contenido de hierro en el suelo puede ser tóxico y en niveles muy bajo limita la productividad fotosintética. Es absorbido por las raíces en forma de Fe^{2+} , es de pequeña importancia, debido a la pequeña solubilidad de los compuestos férricos en la mayor parte de los suelos, es necesario para la actividad de las enzimas (Iñiguez, 2010).

Puede considerarse como uno de los elementos principales en la corteza terrestre como en los suelos. Su potencial en la corteza terrestre está alrededor del 5 % y después del silicio y aluminio es el elemento más abundante. Su contenido en los suelos templados varía entre 1 y 5 %, valores inferiores a 1 % suelen encontrarse en suelos ácidos de textura gruesa, en caso aislados, latosoles y lateritas, pueden hallarse valores cercanos al 10 % (Navarro & Navarro, 2013).

4.5.10. Manganese, Mn.

El manganeso se absorbe sobre todo como catión manganeso (Mn^{2+}), aunque en el suelo también puede existir como Mn^{3+} o Mn^{4+} , óxidos insolubles y quelatos. El manganeso actúa como activador de enzimas esenciales en los procesos de crecimiento. Apoya al hierro en la formación de clorofila, acelera la germinación y la maduración, aumenta el aprovechamiento del calcio, el magnesio y el fósforo, catalizador en la síntesis de clorofila (Roca, 2016).

4.5.11. Boro, B.

El boro es absorbido por la planta de varias formas: (BO_3) , (H_2BO_3) , (HBO_3) . El boro es un elemento muy poco móvil y participa en la mantención de la elasticidad de las paredes celulares (Duarte, 2017).

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 10 nutrientes en el suelo a través de análisis de suelos y/o plantas a través de un proceso de diagnóstico y posteriormente se definen estrategias de fertilización (Loaiza, 2013).

4.7. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo

La técnica del elemento faltante es un procedimiento rápido para la detección de carencias de nutrientes en el suelo, el cual incluye el uso de plantas indicadoras bajo condiciones de invernadero o campo. Esta técnica se fundamenta en el hecho de eliminar de la fórmula nutritiva completa que se añade a las plantas, un elemento metódicamente de manera tal, que permita el análisis de esta ausencia en la planta indicadora que se usa. El objetivo principal de esta práctica es el de establecer la capacidad de un suelo de proveer los elementos nutritivos para un adecuado desarrollo (Briceño & Pacheco, 1984). La técnica es rápida, eficiente y efectiva en la evaluación de la fertilidad del suelo; involucra el uso de ciertos procedimientos analíticos e interpretaciones para determinar el estado de distintos nutrientes a fin de corregirlo, y además para demostrar mediante procedimientos usados en el invernadero la efectividad de la interpretación de los resultados analíticos y de las medidas correctivas.

En esta técnica se debe reconocer que el crecimiento (producción de materia seca) bajo condiciones de invernadero no es comparable con el crecimiento bajo condiciones de campo, pero puede correlacionarse con el crecimiento en el campo, cuando otro factor que no sea el estado de fertilidad del suelo sea más limitante que la misma fertilidad.

Plantas de sorgo, arroz, trigo, girasol, maíz, rábano o tomate han sido usadas como plantas indicadoras en esta técnica, donde el sorgo se presenta como una de las mejores debido a que es sensible a la mayoría de las deficiencias, crece rápido, tiene semillas pequeñas y crece bien en un amplio rango de condiciones climáticas (Rodríguez & Rodríguez, 2011).

4.8. El cultivo de Café (*Coffea arabica* L).

Duran (2010), menciona que el café es originario del alto Egipto, de abisinia y en particular de Kaffa, lugar que probablemente obtuvo su nombre, existe confusión con antiguas leyendas y algunas costumbres que piensan que el café proviene de Arabia.

4.8.1. Clasificación y Taxonomía

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Sub-división: Angiospermae
- Clase: Magnoliata
- Sub-clase: Asteridae
- Orden: Rubiales
- Familia: Rubiaceae
- Género: Coffea
- Especie: arabica, canefora, iberica
- Nombre científico: *Coffea arabica*

4.9. Requerimientos edafoclimáticos y nutricionales del café

4.9.1. Condiciones Edafoclimáticas

Según Enriquez y Duicela (2014), el crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo del café, están relacionados con factores medioambientales y edáficos de las zonas cafetaleras tales como: ubicación del pedregal (altitud, latitud), el clima (temperatura, luz, humedad, precipitación) y tipo de suelos (características físicas y químicas).

4.9.2. Altitud

López (2012), menciona que la altitud óptima para el cultivo se localiza entre los 500 y 1700 msnm. Por encima de este nivel altitudinal se presentan fuertes limitaciones en relación al desarrollo de la planta.

4.9.3. Pluviosidad

La distribución de la lluvia durante el año es un aspecto importante para un buen desarrollo del café, con menos de 1000 mm anuales, se limita el crecimiento de la planta y por lo tanto la cosecha del año siguiente, un periodo de sequía muy prolongado propicia la defoliación y puede causar la muerte de la planta, con precipitaciones mayores a 3000 mm, la calidad física del café oro y la calidad de taza pueden comenzar a verse afectada, el control fitosanitario de la plantación resulta más difícil y costoso (López, 2012).

4.9.4. Suelo

Enriquez y Duicela (2014), menciona que los tipos de suelos adecuados para el cultivo de café son de textura franca, con buena fertilidad, drenaje y aireación, debe tener un pH ácido a ligeramente ácido, buena profundidad efectividad y alto contenido de materia orgánica.

4.9.5. Temperatura

La temperatura promedio anual favorable para el cafeto se ubica entre los 17 °C a 23 °C, temperaturas inferiores a 10 °C, provocan clorosis y paralización de crecimiento de las hojas jóvenes (López, 2012).

4.9.6. Humedad

Según Enriquez & Duicela (2014), la humedad relativa óptima para el café varía en función de la adaptación de las variedades, normalmente se encuentra entre los 70 a 95% de humedad relativa son apropiados para el café arábigo, cabe recalcar que el nivel del microclima en el cafetal, la alta densidad de los árboles se sombra, mantienen un ambiente con alta humedad relativa, por lo que se debe procurar un manejo equilibrado de sombra.

4.9.7. Elementos esenciales para la nutrición del café

El cafeto requiere al menos de 16 elementos nutritivos llamados elementos esenciales, tres de ellos (Carbono, hidrogeno y el oxígeno) la planta los extrae del agua y del aire, los trece restantes son tomados de los suelos mediante el sistema radical, que son absorbidos por vía foliar.

4.9.8. Elementos mayores

Pertenece a este grupo (nitrógeno, fósforo, potasio), estos tres elementos los absorbe la planta en altas cantidades, es por eso que las fórmulas de fertilizantes, especialmente para el café en producción, los incluyen como sus principales componentes (Enríquez & Duicela, 2014).

4.9.9. Elementos secundarios

Los más importantes (calcio, magnesio y el azufre), la planta los necesita en cantidades intermedias, es decir mesuradamente.

4.9.10. Elementos menores

Pertenecen a este grupo (boro, zinc, cobre, hierro, manganeso, cloro y molibdeno), es conveniente un balance en el suelo entre distintos elementos porque pueden ser perjudicial para el cultivo si existen excesos o carencias de estos elementos (Enríquez & Duicela, 2014).

4.10. Fertilización de cafetales

Es la Utilización de abonos en forma racional, en diferentes etapas del cultivo, como: en viveros, al momento de plantar, en la etapa de crecimiento (hasta los 18 meses después del establecimiento) y en la etapa de producción. Las recomendaciones de fertilización deben adaptarse a los objetivos de caficultor, si es producción convencional se pueden usar los abonos orgánicos y químicos, si se trata de la producción orgánica hay que cumplir los estándares de los países consumidores y usar solo los abonos, enmiendas y sustancias permitidas por la agencia certificadora. Para fertilizar cafetales se deben tener en cuenta los siguientes aspectos: requerimientos del cultivo, grado de acidez del suelo, composición química de los fertilizantes y enmiendas, compatibilidad de los fertilizantes, topografía del terreno, época de aplicación, recomendaciones técnicas y otras formas de mejorar la fertilidad (González, 2014).

4.10.1. Requerimientos de nutrimentos del café

Tabla 1. Requerimientos de macro y micro nutrientes en cafetales en producción.

Autores	I	N	P	K	S	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
Enrique y Duicela, 2014		200	60	150	150	340	15	3	3	3	1.5	10
COFENAC Y Dublinsa, 2012		300	60	150	150	340	15	3	-	3	1.5	3
Iñiguez, 2007	B	286	74	291	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		100	17	74.7	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		100	60	100	5	-	80	-	-	-	-	-
Enrique y Duicela, 2014		100	40	50	50	150	10	1.5	1.5	1.5	0.75	5

COFENAC Y Dublinsa, 2012		200	40	220	50	150	10	1.5	-	1.5	0.8	1.5
Iñiguez, 2007	M	208	57	10	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		50	9	37	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		50	30	50	3	-	60	-	-	-	-	-
Enrique y Duicela, 2014		50	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0
COFENAC Y Dublinsa, 2012		100	20	20	0	0	0	0	-	0	0	0
Iñiguez, 2007	A	130	40	140	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		2.5	15	25	0	-	20	-	-	-	-	-

Fuente: Tandazo (2019).

I= interpretación de los análisis químicos; A=Alto; M= Medio; B=Bajo

Es la dosis 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. A continuación, en la Tabla 1, indica los requerimientos de macronutrientes y micronutrientes, de acuerdo a la interpretación del análisis químico del suelo alto, medio y bajo (Enríquez & Duicela, 2014).

4.10.2. Relaciones entre cationes intercambiables.

Tabla 2. Relaciones entre cationes intercambiables adecuados para el café.

Relaciones entre cationes	Rangos óptimos (meq/100 ml)	Nivel crítico (meq/100 ml)	Recomendación
Ca/Mg	2,6 – 8,0	Si <2,6	Agregar Calcio
		Si >8,0	Agregar Magnesio
Mg/K	7,5 – 15,0	Si <7,5	Agregar Magnesio
		Si >15,0	Agregar Potasio
(Ca + Mg) /K	27,5 – 55,0	Si <27,5	Agregar Calcio y Magnesio

		Si >55,0	Agregar Potasio
		Si <15,0	Agregar K, Ca, Mg
Suma de bases (K+Ca+Mg)	15 – 30	Si 15 < 30	Suelo normal
		Si >30,0	Suelo rico en K, Ca, Mg

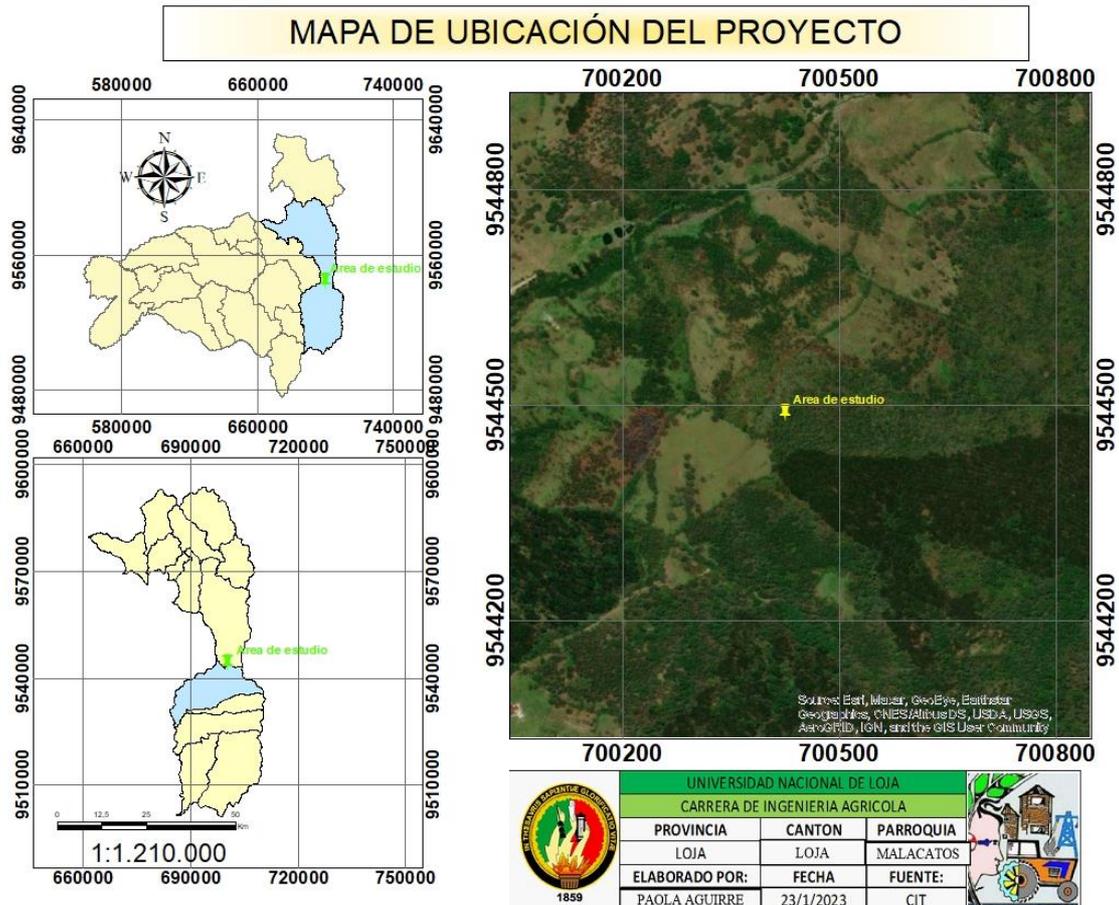
Fuente: (Enríquez & Duicela, 2014)

Con los resultados de los análisis químicos, se calcula la relación de cationes intercambiables: Ca/Mg, Mg/K, (Ca+Mg)/K. partiendo de esta información se evalúa el balance de cationes según la Tabla 2 y se toman decisiones pertinentes referidas a la adición de los fertilizantes que se encuentran en desequilibrio (Enríquez & Duicela, 2014).

5. Metodología

5.1. Ubicación política, geográfica y características biofísicas del Sector Pueblo Nuevo.

Figura 1. Identificación de la zona de estudio en el Sector Pueblo Nuevo.



Fuente: Centro de Investigaciones Territoriales (CIT)

Elaborado: el autor

La figura 1 muestra la zona de estudio, la misma queda ubicada dentro de la hacienda El Cristal, entre los barrios de Pueblo Nuevo y Tres Leguas de la Parroquia Malacatos, cantón Loja y provincia de Loja. La entrada principal a la hacienda se encuentra a 6 km aproximadamente de la entrada al Sendero la Cascarilla, vía Malacatos y a 20 km desde la ciudad de Loja (Zambrano, 2019).

La ubicación geográfica en las coordenadas planas son 9 544493 m S, 700429 m W a una altura de 2071 m.s.n.m. Geológicamente la zona de estudio se encuentra en la formación Rocas Metamórficas Indiferenciadas, caracterizada por lutitas, filitas, cuarcitas, esquistos e intrusivas, areniscas, limonita y tobas, esta formación ocupa la toda la zona de estudio. La

clasificación taxonómica preliminar USDA de suelo Kandudults (Ultisol), posee un clima tropical húmedo, cuenta con temperaturas promedio anual de 18 °C, con precipitaciones anuales de 1200 mm (Villamagua & Valarezo, 2021).

5.1.2. Localización del ensayo

El experimento se instaló con las muestras del sector de estudio, en el cantón Catamayo, la misma que está ubicada a 37 km de la ciudad de Loja, en las coordenadas planas 9531309 m N, 657250 m E a una altitud de 1238 msnm

5.1.3. Materiales y equipos

- 108 recipientes de plástico de 700ml
- 108 vasos de plásticos de 250 ml
- Semillas de tomate riñón
- Fundas de papel
- Fundas de plástico
- Recipientes de plástico de 20 L
- Barreno
- Baldes
- Tejido nylon
- Muestras de suelo
- Regla
- Marcadores
- Papeletas de identificación
- Libreta de campo
- Cinta adhesiva
- Probeta de 500 y 1000 ml
- Pipetas de 5 y 10 ml
- GPS
- Balanza de precisión 0.1 g
- Estufa

5.2. Evaluación biológica

El método que se utilizó en la investigación es el método experimental a campo abierto.

5.2.1. Diseño experimental.

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, porque los suelos fueron modificados por el propietario, se realizó 36 tratamientos (3 x 12) y tres repeticiones, con las siguientes especificaciones técnicas: número total de plantas 108, número de unidades de uso

de suelos 1, número de tratamientos de soluciones 12; cada muestra es extraída a una profundidad de 25 cm.

Tabla 3. Descripción de factores y niveles de estudio del diseño de bloques al azar.

FACTOR	NIVELES	
A. Soluciones Nutritivas	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	

Elaborado: el autor

5.2.2. Especificaciones del ensayo.

- Número total de unidades de uso de suelo: 1
- Número de niveles soluciones: 12
- Número total de unidades experimentales: 108
- Número de repeticiones: 3
- Número total de plantas: 108

5.2.3. Modelo mixto lineal.

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

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

μ = medida general del experimento.

α_i = es el efecto del i-ésimo nivel del factor soluciones nutritivas.

ϵ_{ij} = efecto de error experimental para el componente interacción.

5.2.4. Variables a evaluar.

- Altura de planta indicadora (cm).
- Peso de materia seca de la planta indicadora (g).

5.3. Para el primer objetivo: Evaluar biológicamente las unidades de suelo seleccionado

5.3.1. Preparación de soluciones Nutritivas

Tabla 4. Tipos de sales y las cantidades expresadas en gramos para preparar las soluciones madres 1N de los macroelementos.

Sales utilizadas	Peso molecular(g)	Cantidad de 1 L Sol 1N (g/l)
Ca (NO ₃) ₂ . 4H ₂ O	236	118
KNO ₃	101	101
KH ₂ PO ₄	136	136
NaH ₂ PO ₄	120	120
K ₂ SO ₄	174	87
MgSO ₄ . 7H ₂ O	246	123
MgCl ₂ . 6H ₂ O	202	101
CaCl ₂ . 6H ₂ O	218	109
NaCl	58	58

Recuperado: (Aguirre, 2017)

En la tabla 4 se indican los tipos de sales y las cantidades expresadas en gramos que se prepararan para las soluciones madres (1Normal) de los macroelementos

Tabla 5. Concentración de la solución madre y cantidades de sales expresadas en gramos para la preparación de un litro de la solución madre de micronutrientes.

Sales	g/l	ppm/Solución Madre
MnCl ₂ . 4H ₂ O	1,81	500
H ₃ BO ₃	2,86	500
ZnSO ₄ . 7H ₂ O	0,22	50
CuSO ₄ . 5H ₂ O	0,16	40
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O	0,04	20
NaFe-EDTA	32,75	5000

Recuperado: (Aguirre, 2017).

Una vez adquirida las sales y preparado las soluciones madre de acuerdo con las cantidades indicadas en las Tabla 4 y 5. En la tabla 6 se presenta los volúmenes de soluciones madre en ml para preparar 1 L de 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 ₃) ₂ . 4H ₂ O	6,0	-	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
KNO ₃	2,0	-	2,0	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
KH ₂ PO ₄	2,0	2,0	-	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
NaH ₂ PO ₄	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ SO ₄	-	2,0	2,0	-	1,0	-	-	-	-	-	-
MgSO ₄ . 7H ₂ O	1,5	1,5	1,5	1,5			1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
MgCl ₂ . 6H ₂ O	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-
CaCl ₂ . 6H ₂ 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	-
MnCl ₂ . 4H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0
H ₃ BO ₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0
ZnSO ₄ . 7H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	1,0
CuSO ₄ . 5H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Recuperado: (Tandazo, 2019)

5.3.2. Preparación de las muestras de suelo.

Las muestras de suelo se secaron al aire y sin contacto directo al sol, bajo un ambiente de cubierta libre de impurezas, posteriormente se realizó la trituration de agregados, se pasará por el tamiz de 2,5 mm.

5.3.3. Preparación de los recipientes.

En los vasos plásticos de 250 ml, se recortó la base y en su lugar se colocó un pedazo de tejido nylon sujetado con cinta y liga delgada, esto se hace 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 macetas de 700 ml, se recortó en forma circular del tamaño del diámetro de los vasos que contienen el suelo, asegurando que el fondo del vaso este en contacto con la solución nutritiva de la maceta (Zambrano, 2019).

5.3.4. Instalación del experimento.

Se procedió a llevar todos los materiales al sitio de estudio, adecuando un espacio físico con las condiciones para el desarrollo del experimento. Se colocaron las macetas sobre los mesones separadas por cada uno de los tratamientos, con sus respectivas repeticiones, identificadas con su respectiva etiqueta, siguiendo el diseño experimental. En las macetas se añadieron 600 ml de solución nutritiva, se colocó la tapa perforada y se introdujo en el vaso plástico que contiene los 200 g de suelo, tratando de que el vaso quede en contacto con la solución nutritiva a una profundidad de 1 cm.

5.3.5. Siembra y raleo de la planta indicadora.

En cada vaso se sembró tres semillas de tomate (*variedad floradade*), previamente se dejó un tiempo de 24 horas, para que la solución nutritiva por efecto de capilaridad ascienda y humedezca todo el suelo, esto sucede siempre y cuando el nivel del agua de la maceta este en contacto con el vaso pequeño, luego se realizó el raleo dejando una planta por vaso.

5.3.6. Reposición de la solución nutritiva.

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

5.3.7. Registro del crecimiento y peso seco de la planta.

Se registró la altura de las plantas por cada tratamiento a los 55 días después de la germinación, a los 60 días se registró la última medida de la altura de la planta y se realizó el corte a nivel del cuello separando la parte aérea de la raíz, luego se colocó en la estufa a 60 °C durante cuatro días donde se determinará la biomasa seca.

5.3.8. Análisis de la fertilidad química en el laboratorio

Se realizó el análisis químico de cada unidad experimental de los tres sectores donde se determinó: Nitrógeno (N), Fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), azufre (S), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B), hierro (Fe), se realizó mediante el extracto Olsen Modificado, Materia Orgánica, pH del suelo, CIC.

5.4. Para el segundo objetivo: Establecer la correspondencia entre la evaluación química y biológica

Para determinar la cantidad de nutrientes en la biomasa del cultivo se desarrolló las siguientes actividades.

- Se determinó la cantidad de agua consumida (litros = l) en el ciclo del cultivo en cada uno de los tratamientos, con el registro diario de solución nutritiva a cada unidad experimental (Anexo 10).
- Se transformó el requerimiento del cultivo de tomate expresado de los macronutrientes en meq/L a ppm.
- Se consideró las sales minerales utilizadas en las investigaciones (Tabla 4), la cantidad de meq/L de las sales para preparar las soluciones nutritivas o stock (Tabla 6), el equivalente químico (Anexo 6) y la concentración de cada sal (Anexo 7).
- Mediante relaciones aritméticas se calculó la cantidad de nutrientes o requerimiento del cultivo de tomate para el periodo de 60 días, para cada una de las 11 soluciones nutritivas. Teniendo en cuenta que para macronutrientes se calculaba en meq mientras que para micronutrientes se toma en cuenta mg/L, como ejemplo se muestra el fósforo y en él (Anexo 9) se encontraran los cálculos de los demás nutrimentos.
- Para el cálculo del requerimiento de P se utilizó la sal: fosfato mono potásico [KH₂PO₄].

Propiedades	Sal mineral	
	<i>KH₂PO₄</i>	Ver
Peso molecular (g)	136,09	Anexo 6
Equivalente químico	136,09	Anexo 6
Concentración en la sal (%)	22,36	Anexo 7

Cantidad (ml/L o meq/L)	2	Tabla 6
Consumó del P (L)	5,7	Anexo 8

<i>KH₂PO₄</i>					
Pasar los 2 meq/L de P a ppm			Cálculo del 22,36 % de P en <i>KH₂PO₄</i>		
<i>KH₂PO₄</i> meq/L		<i>KH₂PO₄</i> ppm o mg/L	<i>KH₂PO₄</i> Ppm		P Ppm
1	→	136,09	100	→	22,36
2	→	X =	272,18	→	X =
$X = \frac{2 * 136,09}{1} = 272,18 \text{ ppm}$			$X = \frac{272,18 * 22,36}{100} = 60,86 \text{ ppm P}$		
Requerimiento total de P de la planta indicadora = 60,86 ≅ 61 ppm de P* 5,7= 347 ppm					

- Se sumó los aportes de nutrientes de cada una de las sales para definir el contenido total del nutriente de la solución completa, por ejemplo, del P.
 - En función del volumen de la solución nutritiva consumida en cada tratamiento se determinó la concentración de nutrientes contenidos en cada uno (mg).
- Para el cálculo correspondiente se utilizó el volumen de agua consumida (L) y la cantidad de nutrientes de cada sal (mg/L), mediante una regla de tres simple, se determinó la concentración de cada elemento en mg de cada compuesto.

Tabla 7. Interpretación de valores de biomasa (%) de la planta indicadora.

Parámetro	%	Significado
Muy Bajo	< 25	MB
Bajo	25-50	B
Medio	50-75	M
Alto	>75	A

Fuente: (Valarezo, 1985).

5.5. Difusión de los resultados

A los 50 días después de la germinación de las plantas de tomate se realizó un día de campo con presencia del director de tesis, entregando un tríptico divulgativo, el cual contiene los resultados estadísticos de la altura de las plantas y la metodología, que se utilizará para la evaluación biológica.

5.6. Metodología para el tercer objetivo: Proponer un plan de fertilidad para el cultivo de café en el sector Pueblo Nuevo.

Para la elaboración del plan de fertilización se definió primero los nutrientes disponibles en el suelo, comparando entre el análisis químico y biológico de los nutrientes disponibles, utilizando las curvas de absorción, lo que permitió observar las etapas de café. En este caso de producción, como son: recuperación, floración, crecimiento del fruto y maduración, exactamente las curvas sirvieron para saber cuándo aplicar los nutrientes y en qué etapas. Los requerimientos de café se utilizaron para compararlos con la evaluación biológica y saber si el nutriente necesita restitución. Por ejemplo, el nitrógeno en la evaluación biológica resulta 137 ppm, ubicándolo según el requerimiento es bajo (Tabla 1), para tener alto contenido de nitrógeno se necesita tener (50 ppm), por lo cual este nutriente necesita ser restituido, cabe recalcar que también se debe recomendar fertilizantes que sean accesibles y económicos para el agricultor. Para la determinación del Ca, Mg, y K, se realizó por relación de cationes determinados por los análisis químicos para el cultivo de café, siendo Ca/Mg: 2,6-8; Mg/K:

7,5-15; (Ca+Mg)/K: 27,5-55 cmol/ kg, los nutrientes como: N, P, S, Zn, Cu, Mn, B y Fe se lo realizó por demanda y oferta.

6. Resultados

6.1. Características morfológicas, químicas y de fertilidad del suelo en el sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo.

El suelo de Pueblo Nuevo se encuentra en esta zona formada por vegetación que está compuesta de un total de 1620 árboles por hectárea, identificados comúnmente entre Alisos y principalmente café. Geológicamente, la zona de estudio se encuentra en formación de rocas metamórficas indiferenciadas, caracterizadas por lutitas, filitas, cuarcitas, esquistos e intrusivas, areniscas, limonita y tobas, esta formación ocupa toda la zona de estudio, esta zona de estudio no dispone de riego (Villamagua & Valarezo, 2021).

Características Químicas. En cuanto a las características químicas del suelo del sector, el valor de pH es de 4,3, considerado como suelo ácido, donde la acidez intercambiable (H^+ + Al^{3+}) y aluminio (Al^{3+}), corresponden a un rango tóxico. Esta acidez se explica por la génesis de estos suelos, además las altas precipitaciones en estas zonas laderasas ocasionan la lixiviación de cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na). El potasio y sodio son los dos cationes que se lixivian más fácilmente y dan lugar a ser sustituidos por el hidrógeno y el aluminio (Villamagua & Valarezo, 2021). Así mismo, el alto contenido de materia de M.O. (7 %) al descomponerse por la acción de los microorganismos del suelo, se libera dióxido de carbono que se transforma fácilmente en bicarbonatos, esta reacción libera hidrógeno y de esta manera el suelo se vuelve ácido (Intagri, 2016). El contenido de la C.I.C. es 8 meq/100gr considerado como bajo, el porcentaje de saturación de bases (42,7%), el cual indica una baja fertilidad de este suelo.

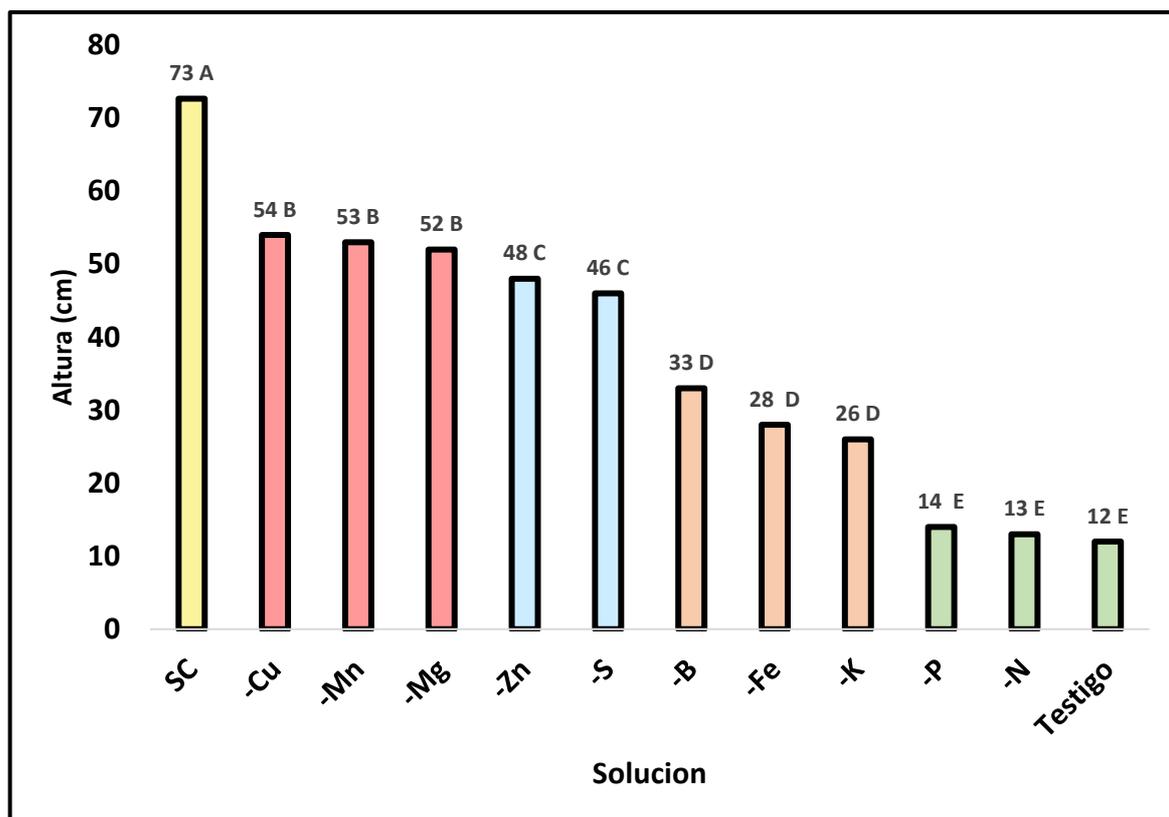
6.1. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo

6.1.1. *Altura y biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo*

En la (figura 2), muestra las diferencias significativas obtenidas con la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 5%, para los valores de altura de la planta indicadora. A los 60 días se obtuvo la medida final de las plantas, tratando de obtener datos precisos en la medición, obteniendo lo esperado, que la SC aumento significativamente con relación a las demás soluciones nutritivas en la que se ha suprimido unos de los elementos esenciales. Se evidencia que la SC difiere estadísticamente del resto de las soluciones.

Las soluciones Cu, Mn y Mg son estadísticamente iguales, no hay diferencia entre las soluciones Zn y S. Las soluciones B, Fe, K, P y N son estadísticamente diferentes a todas las soluciones con la menor altura.

Figura 2. Promedio y prueba de Tukey al 5% de la altura de la planta de tomate (cm) a los 60 días de edad de sector Pueblo Nuevo.



Fuente: *el autor*

Altura de la planta indicadora. En la (figura 3) se evidencia las alturas de cada zona a los 60 días de edad, siendo la zona 3 la que careció de altura, cabe recalcar que las alturas se promediaron para realizar las respectivas gráficas, cabe recalcar que la altura no será tomada en cuenta para realizar los cálculos finales, debido a que la altura es una variable no tan precisa y existe gran variedad en los resultados.

Figura 3. Altura y aspecto de la planta indicadora de las tres zonas del sector Pueblo Nuevo.



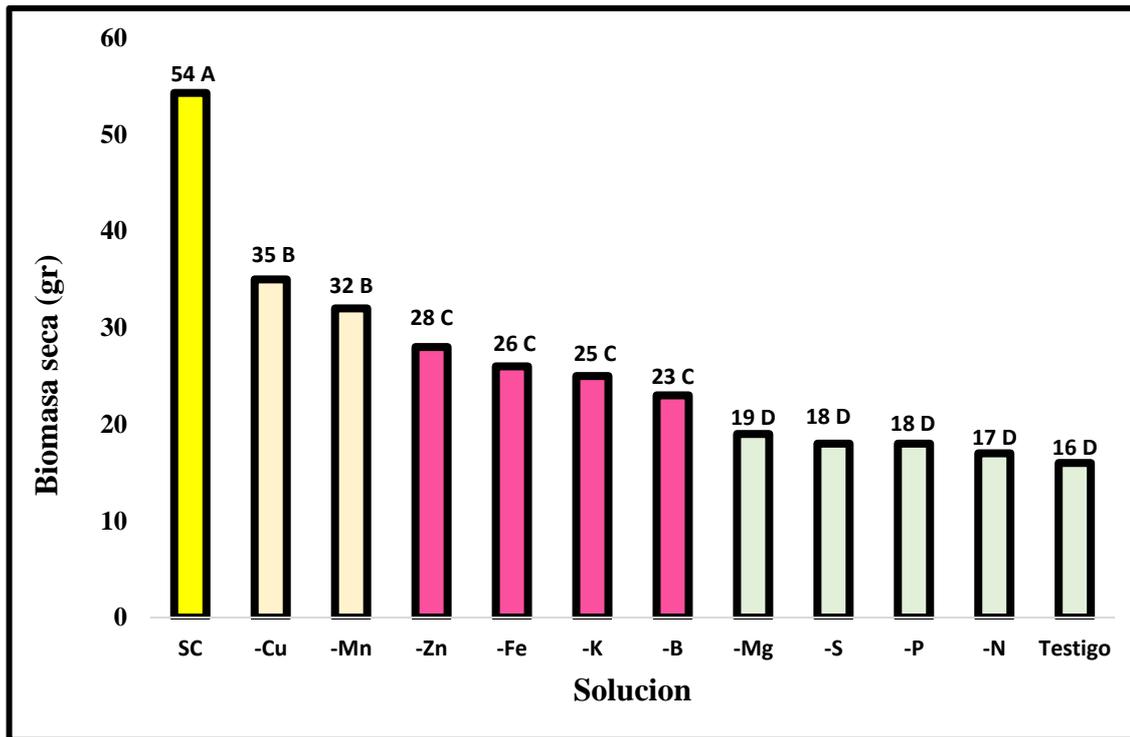
Fuente: *el autor*

6.1.2. Peso de la Biomasa Seca

En la (figura 4), muestra las diferencias significativas obtenidas con la prueba de TuKey, con nivel de significancia de 5%. Se evidencia que la SC difiere estadísticamente del resto de las soluciones. Las soluciones Cu y Mn son estadísticamente iguales, entre las soluciones Zn,

Fe, K y B no hay diferencias. Las soluciones Mg, S, P y N son estadísticamente diferente a todas las soluciones con la menor altura.

Figura 4. Promedio y prueba de Tukey al 5% de biomasa seca de la planta de tomate (gr) a los 60 días de edad de sector Pueblo Nuevo.



Fuente: *el autor*

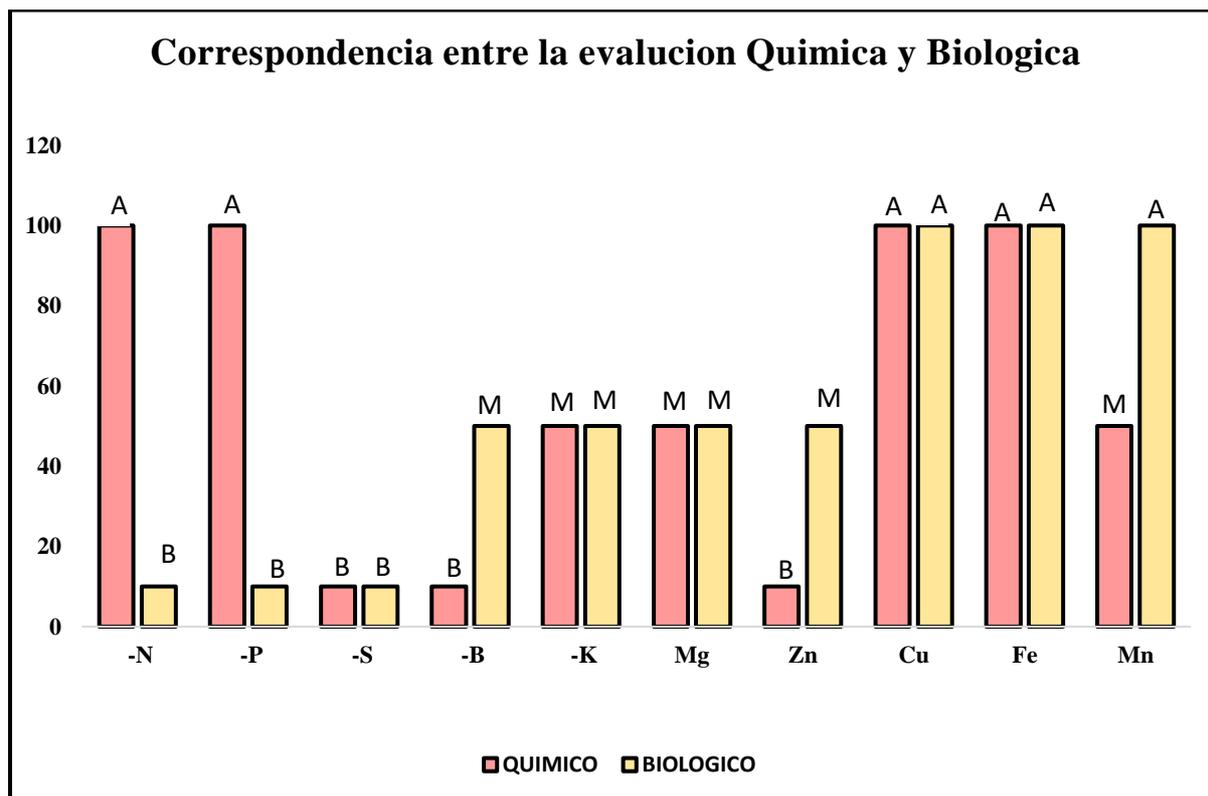
6.2. Análisis de la correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica

En la (figura 5), 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 las 3 zonas de sector de estudio, la correspondencia entre los elementos de N, P, Zn, Mn y B no presentaron similitud entre sus interpretaciones de la evaluación biológica y los análisis químicos.

El S, Mg, K, Fe y Cu fueron los elementos que sí presentaron correspondencia entre la evaluación biológica y los análisis químicos.

Figura 5. Correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica para el suelo de SAF con café del sector Pueblo Nuevo.



Fuente: *el autor*

I= interpretación de los análisis químicos; A=Alto; M= Medio; B=Bajo

6.3. Fertilización para cafetales

Si el contenido de nutrimentos requeridos por la planta es bajo (Figura 5), indica que las dosis de fertilización de macro y micronutrientes se deben programar anualmente. Los nutrimentos pueden ser aportados aplicando diferentes fertilizantes, en este caso los cálculos se basan en el costo de los fertilizantes disponibles en el mercado y de mayor disponibilidad, los fertilizantes utilizados para el plan de fertilidad fueron: kieserita, sulfato de Zinc, Bórax, Yararafos (12-24-12) y para encalar nos sirve la cal agrícola o la cal dolomita, en el Anexo 12, se muestra el porcentaje de nutrimento que presenta cada fertilizante, para suplir los requerimientos del cultivo de café de N: 200; P: 60; K: 150; Mg: 60; S: 25; Zn: 3; B: 5 Kg/ha para el sector.

6.4. Fertilización para el suelo del sistema Agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo

Enríquez & Duicela (2014), indican que el pH idóneo para el café oscila entre 5,6 a 6,5; si el pH está por debajo de 5,4; nos indica que se requiere encalar el suelo, según los requerimientos del cultivo, se recomienda aplicar cal agrícola o cal dolomita al momento de plantar cafetos y al inicio de la época lluviosa. Tanto en cafetales en crecimiento como en producción, la cal dolomita, la aplicación es por área ($1,25 m^2$), se debe aplicar en banda, bien esparcido que no entren en contacto en el cuello de los cafetos.

Tabla 8. Cálculo de la CICE (capacidad de intercambio catiónico) del suelo del SAF del sector Pueblo Nuevo.

B. Intercambiables	meq 100 g⁻¹	meq 100 g⁻¹	Total
Ca ++	3,26	3,11	6,37
Mg++	0,54	0,31	0,85
k+	0,29		0,29
Na+	0,18	-	0,18
Al ⁺⁺⁺ +H ⁺	4,6	-	7,69
Al ⁺⁺⁺	2,07	-	
CICE 1	6,34	CICE 2	7,69

Fuente: *el autor*

En la (tabla 8) se muestra que el Ca^{++} presenta el valor de (6,37 meq/100gr); el Mg^{++} tuvo un valor de (0,54 meq/100gr) al realizar la enmienda incremento (0,31 meq/100gr), dando un total de (0,85 meq/100gr); el K^{++} tuvo un valor de (0,29 meq/100gr) se mantiene el valor inicial, Na^{++} mantiene el mismo valor, el valor inicial del CICE es de (6,34 meq/100gr) y el valor final (7,69 meq/100gr). Según los resultados dados la CICE es <15 el cual es bajo (tabla 2) y se necesita agregar Ca (2,0 meq de Ca es decir 2048 Kg/ha) y Kieserita (96 kg/100gr).

6.4.1. Enmienda y relación de cationes

En la tabla 9 se puede observar que para el Ca el porcentaje de saturación de bases es de 51,42 % luego de la enmienda aumento a 82,80 % entrando en el rango óptimo, para Mg el

porcentaje de saturación de bases es de 4,57% luego de la enmienda este disminuyo a 3,77% el cual no entra al rango optimo, de igual forma para el K el porcentaje inicial es de 8,52% elevándose después de la enmienda a 14,67 %.

Con respecto a la relación de cationes para el Ca/Mg, el valor es de 6,04 Cmol/Kg, el cual necesito incremento de Ca con 7,5 Cmol/Kg, entrando al rango óptimo de 2,6-8,0 Cmol/Kg. Para el Mg/K, el valor inicial es de 1,86 Cmol/Kg al añadir Mg y K aumento a 2,9 Cmol/Kg. Para (Ca+Mg) /K el valor inicial es de 13,1 Cmol/Kg, después añadir Mg y K aumento el cual casi entra al rango óptimo

Tabla 9. Enmienda y relación de cationes para el suelo del sector Pueblo Nuevo.

SB	Enmiendas			Relación de Cationes				
	Antes (%)	Después (%)	R. Óptimo (%)	Antes Cmol kg ⁻¹	Agregar	Después Cmol kg ⁻¹	R. optimo Cmol kg ⁻¹	
Ca	51,42	82,80	(60-70)	Ca/Mg	6,04	Ca	7,5	(2,6-8)
Mg	4,57	3,77	(15-25)	Mg/k	1,86	Mg	2,9	(7,5-15)
K	8,52	14,67	(5-10)	Ca+Mg/k	13,1	Ca-Mg	26	(27,5-55)

Fuente: *el autor*

Tabla 10. Fertilizantes recomendados y costos para el cultivo de café en producción para el suelo del SAF para el sector Pueblo Nuevo.

Fertilizantes	kg/ha	g/planta	U. Sacos	V unitario (\$)	V total (\$)
Cal					
Dolomita	2048	512	41	13	532
Kieserita	96	24	2	25	48
Yararafos	858,75	214,69	17	54	927
ZnSO4	13,04	3,26	0,3	62	16
Borax	45,5	11,4	0,91	51	46
Total					\$ 1571

Fuente: *el autor*

En la tabla 10, muestra la cantidad en gramos por planta que se hizo a base de los requerimientos del cultivo de café, basándose en la relación de cationes adecuados 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 2,0 m entre plantas, así como se muestra en la tabla los valores de cada fertilizante como para tener una idea de cuanto el agricultor gastaría.

Tabla 11. Plan de fertilización para los cafetales en producción para el sector Pueblo Nuevo.

Fertilizantes	2022				2023								Total Kg/ha	
	Dic		ene		feb		Mar		abr		May			
	S1	S4	S1	S4	S1	S4	S1	S4	S1	S4	S1	S4		
Cal Dolomita	2048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2048
Kieserita	32	-	32	-	32	-	-	-	-	-	-	-	-	96
Yararafos	-	286,25	-	57,25	-	57,25	-	57,25	-	57,25	-	57,25	57,25	572,5
ZnSO4	13,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,04
Bórax	45,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45,4

Fuente: *el autor*

S1= semana 1, S4= semana 4

En la tabla 11, muestra el plan de fertilización diseñado para 6 meses del año 2022, se elaboró de acuerdo a la época de lluvias del sector Pueblo Nuevo, que es de diciembre a mayo, la aplicación de los fertilizantes se debe realizar alrededor de cada planta cada 30 días, en caso de la cal dolomita la aplicación es por área de (1.25 m²) de la planta, en la primera semana del mes de diciembre se propone realizar el encalado en una sola aplicación (2048 kg/ha), en la primera semana de los meses (diciembre, enero, febrero, marzo, abril, mayo), cabe recalcar que Yararafos tiene nitrógeno y no se la debe mezclar con cal dolomita, porque se volatilizan, es decir no se mezclan, se convierte en gas y puede volver el suelo tóxico (Intagri, 2001), es por eso que se empieza con la Cal dolomita y Yararafos se recomienda fertilizar por separado al pasar algunas semanas, la Kieserita se aplicara solo 3 meses seguidos y el sulfato de zinc y bórax se necesita una sola aplicación.

7. Discusión

7.1. Fertilidad Actual

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

García y García (2013), menciona que la deficiencia puede tener lugar tanto en suelos ácidos como alcalinos, es quizás mucho más común de la deficiencia de micronutrientes en suelos calizos, como consecuencia de una clorosis inducida por la cal. Además, un elevado pH disminuye la disponibilidad del hierro, fuertes concentraciones de calcio en la disolución del suelo pueden no solo disminuir la absorción de hierro en estos suelos.

7.2. Aspecto de la planta indicadora

Solución nutritiva completa (SC).

Es importante mencionar que la solución nutritiva completa contiene macro y micronutrientes esenciales para el crecimiento de la planta, razón por la que su desarrollo fue el más alto en altura como en peso seco, respecto a los elementos carentes de un elemento.

Zambrano (2019), Tandazo (2019), Zhunaula (2016) y Loaiza (2013), en sus investigaciones sobre Evaluación Biológica en diferentes lugares, concuerdan en que la solución nutritiva completa fue el más alto tanto en altura como en peso seco frente a los tratamientos carentes de un elemento.

Solución -N.

En la evaluación biológica se observó un limitado crecimiento en relación con la solución completa, que equivale a un porcentaje de 11% (Anexo 4), indicando un rango bajo, estos resultados coinciden con Rogel (2021), quien obtuvo un 14,7 % de N, evaluando los suelos de la parroquia Vilcabamba, Tandazo (2019), evaluó los suelos de Chuquiribamba y Lozumbé y obtuvo un 13% de N, al igual que Carreño (2023), menciona que obtuvo un 12% de N, evaluando los suelos del centro Binacional de Formación Técnica de Zapotepamba; estos resultados de las evaluaciones biológicas antes mencionadas aseveran que existe deficiencia de este elemento.

Iñiguez (2010) menciona que la deficiencia de nitrógeno, provoca vegetación raquílica, con hojas pequeñas y de color amarillento, el nutrimento se mueve con facilidad a las hojas jóvenes y produce plantas con crecimiento lento, con menor número de hojas y menos hijuelos.

Infanta (2020), menciona que a faltar este macronutriente la planta se muestra delgada, tallos erguidos, la baja disponibilidad de este elemento puede ser por el proceso de lixiviación, ya que este se encuentra disponible en nitrato y su pérdida es elevada por el movimiento descendente del agua en el perfil.

Solución -P.

Los tratamientos presentaron un menor peso de biomasa seca en relación con la solución completa, que equivale a un porcentaje de 10% (Anexo 4), lo cual lo interpreta como un rango bajo, según Zhunaula (2016), obtuvo un 18% de fósforo evaluando los suelos del sistema La Era en el cantón Catamayo, Zambrano (2019), menciona que obtuvo un contenido bajo de fósforo evaluando los suelos de Consapamba, al igual Burneo (2012), a través de la evaluación biológica, fue muy notorias las deficiencias de elemento fósforo, produciendo un retardo en el crecimiento, coloración púrpura oscuro en las hojas como menciona Iñiguez (2010), siendo estos los síntomas que presentó la planta indicadora de este elemento, Agrologica (2012) concuerda que con una deficiencia importante de fósforo, se observa hojas viejas unas tonalidades púrpuras inter venales verde oscuro tirando a azul y también sobre el envés, Navarro (2003), menciona que la planta toma un aspecto raquílico, crece lentamente y se produce un retardo en la fase de maduración, el fósforo normalmente presente en el suelo no es aprovechable por las plantas debido a su gran insolubilidad y para ser asimilado por la planta es necesario que se encuentre como $PO_4H_2^-$ o PO_4H^{-2} en la disolución del suelo.

Sanzano (2015), indica que una de las principales causas de pérdida del fósforo es por la erosión de las partículas de suelos que son arrastradas, de igual forma menciona que el fósforo no se fija debido a la materia orgánica, ya que en suelos ricos tiene poca capacidad de fijar fuertemente los iones de fosfato, por ende, su nivel fijación son bajos en todos los suelos por su alto contenido de materia orgánica.

Solución – K.

Los tratamientos presentaron menor peso de biomasa seca en lo que se refiere a la solución completa, que equivale en un porcentaje a 46% (Anexo 4), se evidenció en la evaluación biológica que existe deficiencia de K, que corresponde al rango medio, estos

resultados coinciden con Zhunaula (2016), quien evaluó los suelos del sistema la Era en el cantón Catamayo, obteniendo un 59% de K, lo cual indica que se encuentra en un rango medio, Zambrano (2019), menciona que al evaluar los suelos de Consapamba obtuvo un limitado crecimiento con el tratamiento de K, al igual que Carreño (2023) coincide con estos autores, ya que obtuvo un 42% de K, al evaluar los suelos del centro Binacional de Formación Técnica de Zapotepamba. Al tener deficiencia de este elemento ocasiona un débil crecimiento radicular, al tener menos pelos absorbentes, limita la absorción de agua y de los nutrientes, este elemento participa en procesos bioquímicos y fisiológicos, participa en la fotosíntesis, actividades enzimáticas, transporte en el floema, transferencia de energía

La deficiencia de este elemento muestra en las hojas como un moteado de manchas de color amarillento, Agrologica (2012), hace alusión que la deficiencia causa un color amarillento del borde de las hojas, primero las hojas viejas, que luego sufren una necrosis marginal curvándose hacia arriba, Padilla (2007), menciona que los primeros síntomas aparecen en los ápices y márgenes foliares adultos, continuando luego hacia el centro o base de la hoja. Como consecuencia de este deterioro, disminuye la actividad fotosintética y detiene la síntesis de almidón.

Solución - Mg.

Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca sobre la solución completa, que equivale a un porcentaje de 37% (Anexo 4), se percató en la evaluación biológica que el suelo presenta deficiencia de Mg, se encuentra en un rango medio, (Rogel, 2021), cita que obtuvo un 42% de K, colocándolo en un rango medio, al evaluar los suelos del sector Cucanama Alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba, Tandazo (2019), menciona que al evaluar los suelos de Chaguarpamba y Lozumbe obtuvo un 60% de Mg, indicando un rango medio, al contrario de lo que menciona (Carreño, 2023), al evaluar los suelos del centro Binacional de Formación Técnica de Zapotepamba obtuvo un 83% de Mg, indicando un rango algo, esto debido a que este suelo es alcalino, por ende es rico de Magnesio y no coincide con las investigaciones antes mencionadas.

Crosara (2020), menciona que el Mg no es fuertemente absorbido por los coloides del suelo y se pierde más fácil por lixiviación, donde existe el desplazamiento de sustancias solubles o dispérsales (arcilla, sales, humus), lo mismo que provoca que el horizonte superior pierdan sus componentes nutritivos, transportan los nutrimentos a los horizontes inferiores del

suelo, las cuales no llegan a las raíces de los cultivos, esto es muy común en climas húmedos, recalcando que es el caso de nuestra área de estudio.

Solución -S.

Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca con relación a la solución completa, que equivale a un porcentaje de 33% (Anexo 4), se observó en la evaluación biológica que el suelo presenta deficiencia de este elemento, se encuentra en un rango bajo, Rogel (2021), menciona que al evaluar los suelos del sector Cucanamá Alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba, obtuvo un 29% de S, ubicándolo en un rango bajo, Carreño (2023), cita que obtuvo un 17% de S, al evaluar los suelos en el centro Binacional de Formación Técnica de Zapotepamba, al igual que Zhunaula (2016), menciona que obtuvo un 30% de S, ubicándolo en un rango bajo al evaluar los suelos del sistema de la Era en el cantón Catamayo, la deficiencia de azufre en la planta muestra hojas amarillentas tal como menciona Graetz (2010), menciona que la deficiencia de este nutrimento produce tallos delgados, plantas pequeñas, hojas amarillentas, esta coloración comienza en las hojas superiores, al igual que Agrologica (2012), menciona que la deficiencia de azufre está asociada a los suelos con poca materia orgánica, suelos muy degradados, suelos arenosos o suelos con un pH alto.

Maldonado et al., (2014), concluye que los suelos calcáreos, pobres en materia orgánica y alcalinos, presentan poca disponibilidad de nutrientes, entre ellos el azufre y que las aplicaciones de azufre incrementaron la disponibilidad de nutrientes al corregir el pH.

Solución -Zn.

Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca, en lo que se refiere a la solución completa, que equivale a un porcentaje 55% (Anexo 4), se observó en la evaluación biológica que no hay alta deficiencia de Zn, ubicándolo en un rango medio, estos resultados coinciden con Rogel (2021), cita que obtuvo un 60% de Zn, evaluando los suelos del sector Cucanamá Alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba, colocándolo en un rango medio, a diferencia de lo que menciona Zhunaula (2016), que al evaluar los suelos del sistema de la Era en el cantón Catamayo, obtuvo un 84% de este elemento, ubicándolo en un rango alto, la cual no coincide con las investigaciones antes mencionadas. Las deficiencias de zinc suelen ser producida por exceso de cal o por una riqueza elevada en P₂O₅ (Guerrero, 2017).

En suelos arcillosos este elemento es fácil de retener, la deficiencia de Zn suele presentarse con mayor frecuencia en suelos arenosos, mientras que en los arcillosos es menos

frecuente por la capacidad de adsorción y retención de estos suelos, Agrologica (2012), menciona la disponibilidad de Zn se reduce al incrementar el pH, debido a la capacidad de absorción, los suelos alcalinos y calcáreos presentan mayor frecuencia de deficiencias de Zn.

Solución- Cu.

Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale a un porcentaje de 65% (Anexo 4), en la evaluación biológica indico que existe disponibilidad de cobre en el suelo, teniendo un rango medio, estos datos coinciden con algunas investigaciones como: Rogel (2021), menciona que obtuvo un rango medio 50% al evaluar los suelos del sector Cucanamá Alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba, Carreño (2023), cita que obtuvo un 58% de Cu, evaluando los suelos del centro Binacional de Formación Técnica de Zapotepamba, interpretando este resultado como un rango medio, esto puede deberse a que los estudios de análisis químicos indico que existe alto contenido de materia orgánica, Agrologica (2012), menciona que este nutrimento en el suelo es absorbido principalmente por la materia orgánica, este elemento puede ser precipitado como hidróxido, carbonato o fosfato, Ribeiro y Roque (2007), menciona que los suelos ácidos altamente lixiviados, suelos calcáreos y altos niveles de Ca, Mg y P inducen deficiencia de Cu, la deficiencia de Cu ocurren principalmente en plantas cultivadas en suelos orgánicos ácidos.

Intagri (2021), menciona que el Cu no se mueve dentro de la planta, por lo que los síntomas se los nota en las hojas nuevas, reducción del crecimiento con distorsión de las hojas jóvenes y los puntos de crecimiento, la floración y fructificación suele ser afectada por la falta de Cu, la deficiencia de Cu afecta el rendimiento o el crecimiento de la planta.

Solución – Mn.

Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca con relación a la solución completa, que equivale a un porcentaje de 59% (Anexo 4), se percató que existe disponibilidad media de Mn en el suelo respecto a la solución completa, estos resultados coinciden con Carreño (2023), menciona que obtuvo un rango medio, con un porcentaje de 58%, evaluando los suelos del centro Binacional de Formación Técnica de Zapotepamba, a diferencia de otros autores que no coinciden con estos resultados como; Rogel (2021); Zhunaula (2016); Tandazo (2019) y Zambrano (2019), menciona que obtuvieron rango de bajos a altos.

García y García (2013), menciona que la baja disponibilidad de Mn, con un pH elevado, se forma compuestos de manganeso de baja solubilidad y se reduce la solubilidad de

manganeso, un pH alto en el suelo, existe una mayor tasa de manganeso se absorbe a las partículas del suelo, y dan como resultado que la disponibilidad para las plantas disminuya.

Solución- Fe.

Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale un porcentaje de 48% (Anexo 4), se observó en la evaluación biológica que existe disponibilidad media de este elemento en comparación con la solución completa, estos resultados coinciden con Aguirre (2017), menciona que al evaluar los suelos de sector San Vicente de la parroquia Chuquiribamba, obtuvo un rango medio con un 54% de Fe, estos resultados difieren con los resultados de los siguientes autores: Rogel (2021); Carreño (2023); Zhunaula (2016); Tandazo (2019) y Zambrano (2019), quienes tuvieron unos rangos altos en sus investigaciones.

Intagri (2021), por lo general los síntomas por deficiencia de hierro son fáciles de reconocer en las hojas. Al inicio se observa clorosis intervenal, mientras que en estados más avanzados la clorosis se generaliza en toda la lámina con las nervaduras verdes. La clorosis o amarillamiento ocurre porque el Fe es necesario para la producción de clorofila, la cual es responsable de la coloración verde de las hojas.

Solución -B.

Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale a 42% (Anexo 4), en la evaluación biológica muestra que existe disponibilidad media de este elemento, los resultados coinciden con Rogel (2021), quien obtuvo un rango medio con un porcentaje del 45% de B, evaluando los suelos del sector Cucanamá Alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba, al igual que Zhunaula (2016), cita que al evaluar los suelos del sistema de la Era en el cantón Catamayo, obtuvo un rango medio con un porcentaje de 45% de B, los siguientes autores Aguirre (2017); Zambrano (2019); (Carreño, 2023) y Loaiza (2013), obtuvieron diferentes rangos de bajo a alto en el suelo, los cuales no coinciden con la investigación.

Intagri (2021), menciona que algunos de los síntomas de deficiencia de B se manifiestan con la presencia de hojas cloróticas o bien rojizas, presentando una leve quemadura de la punta. Mientras avanza la deficiencia, la hoja se expande mostrando una forma de copa distorsionada.

Por otra parte, la inflorescencia se vuelve compacta e irregular con flores estériles o con una polinización insuficiente. En el cuello de la raíz se genera un engrosamiento y se reduce la

elongación de la misma, provocando una menor ramificación y desaparición de yemas terminales. Asimismo, se generan fisuras longitudinales en el tallo durante su crecimiento activo. La deficiencia de B limita el crecimiento del tubo polínico, ocasionando una baja fertilización de las flores, y con ello fruta deforme y pequeña.

7.3. Establecer la correspondencia entre la evaluación Biológica y química

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de correlación (figura 5), entre los contenidos de biomasa seca de la planta indicadora de la evaluación biológica y los correspondientes contenidos de la forma disponible del elemento extraído con la solución de Olsen Modificada, se establece una interrelación fuerte; Cu, Mn y Fe, una correlación moderada; K y Mg, una correlación muy débil; S, y finalmente las correlaciones; El N, P, Zn y B fueron negativas.

Los estudios realizados de correlación en Ecuador, hasta el momento, han demostrado que la solución extractora de Olsen modificada, compuesta por bicarbonato de sodio, EDTA y 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 (Amores, 2004).

Esta solución extrae la cantidad de nutrientes de una manera similar a 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 absorbidos y la cantidad de nutriente extraído de los suelos por varios cultivos (Padilla, 2013).

Fernandez (2010), menciona que en España el método de Olsen Modificado es establecido como oficial por el Ministerio de Agricultura, como procedimiento de rutina por los laboratorios de análisis de suelos, siendo estos suelos ácidos, y recalando que este método fue desarrollado exclusivamente para suelos calcáreos.

Zambrano (2019), Tandazo (2019), Zhunaula (2016), Loaiza (2013), Aguirre (2017), Loaiza (2013) en sus investigaciones sobre evaluación biológica en diferentes lugares del Ecuador, concuerdan en que no existe correlación entre la evaluación biológica y la evaluación química

En Estados Unidos, utilizan la solución Extractora MEHLICHI (1950) que sería el adecuado para suelos ácidos ($\text{pH} < 6,5$) con bajas capacidades de intercambio catiónico ($< 10 \text{ cmol.kg}^{-1}$) y contenidos de materia ($< 5\%$).

7.4. Proponer un plan de fertilidad para el cultivo de café del sector Pueblo Nuevo

Para complementar los requerimientos del cultivo de café en crecimiento se utilizó N; 200; P:100; Mg: 60; Zn:32; B:5; S:25; Kg/ha, al igual que mencionan en sus trabajos de investigación Tandazo (2019) y Zambrano (2019), que para sustituir las necesidades del café en crecimiento utilizaron N: 100; P:60; K:100; Mg:30; S:25; Zn:3; B:5; kg/ ha.

El café posee altos requerimientos de nitrógeno (N) y potasio (K), el requerimiento de fósforo (P) es bajo, pero todos los nutrimentos son esenciales para la nutrición de la planta, en cafetales de 3 años de edad se han reportado necesidades nutritivas de 125 kg de N, 13 kg de P, 126 Kg de L por hectárea (Amores, 2004)

Cenicafe (2008), menciona que implementación de cafetales se debe realizar la aplicación de fertilizantes con alto contenido de fósforo y potasio, solo si se tiene la certeza que existe deficiencia de estos elementos en el suelo.

Se debe recordar que el suelo de esta investigación es pobre y, además, que necesita ser encalado para subir el pH, para la cual se propone utilizar cal dolomita (2048 kg/ha). En lo que es nitrógeno, fósforo y potasio se recomienda utilizar yararafos que tiene 12% de nitrógeno, 24% de fósforo y 12% de potasio, la cual suple las necesidades del suelo. Para restituir el magnesio y en parte de azufre se plantea utilizar kieserita que es a base de magnesio (25%) y azufre (20%). Para suplir el zinc se sugiere usar, sulfato de zinc, que es a base de azufre (11%) y zinc (22%) y finalmente para restituir el boro se plantea utilizar bórax que contiene él (11%).

Es importante recalcar que se debe fertilizar en épocas lluviosas debido a que la humedad, ayuda a que los fertilizantes se disuelvan por completo y el suelo los absorba, por otro lado, no se debe mezclar bases nitrogenadas con cal y kieserita, es por eso que al principio se coloca la cal y, el yararafos se coloca luego de algunas semanas. Posterior a la aplicación el plan de fertilización propuesto, se debe realizar un análisis de suelo para corroborar si se elevó el pH, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), los macro y micronutrientes.

8. Conclusiones

- En la planta indicadora los elementos evidentemente más deficientes fueron N, P, S y en menor intensidad el Mg, B, K, Zn. En cuanto al -Fe, -Cu y Mn, no presentaron síntomas de deficiencia nutricional en la planta indicadora, probablemente, sea porque exista disponibilidad de este elemento en el suelo.
- Entre la evaluación biológica y el análisis químico, el N, P, B, Fe y Zn, no presentaron correspondencia entre las interpretaciones, mientras que el S, Mg, K, Mn y Fe sí presentaron similitudes entre las interpretaciones de los dos métodos.
- Para el plan de fertilidad se realizó primeramente la relación de cationes óptima para el cultivo de café, donde para incrementar el pH y neutralizar el Al^{3+} se propuso Cal Dolomita 2048 Kg/ha, con una relación de cationes Ca/Mg: 5,4; Mg/K :4,1; (Ca+Mg/K) y 26.
- La propuesta de aplicación de nutrientes para cafetales en producción N:100; P:60; S: 25; Zn:3; B:5; Kg ha^{-1} .

9. Recomendaciones

- Mejorar las condiciones para realizar ensayos de evaluación biológica, sobre todo donde se tenga un ambiente bien controlado y evitar infestaciones de plagas y enfermedades, que pudieran distorsionar los resultados.
- En la realización de la evaluación biológica, se debe tomar en cuenta que el recipiente que contiene el suelo se encuentra en contacto mínimo con la solución, con el fin de evitar exceso de humedad.
- Después de concluir el periodo del experimento, se debería llevar a cabo un análisis químico al suelo de los tratamientos a los que fueron sometidos, para observar el aporte por parte de los macro y micronutrientes al suelo.
- En la realización del plan de fertilidad se recomienda tomar en cuenta los fertilizantes más disponibles y económicos en el mercado
- Cabe recalcar que el nitrógeno no puede mezclarse con la cal dolomita y kieserita porque se volatilizan

10. Bibliografía

- Agrologica. (2012). *Deficiencias y excesos nutricionales en tomate: síntomas y correcciones*. Disponible en: <https://blog.agrologica.es/deficiencias-y-excesos-nutricionales-en-cultivo-tomate-sintomas-y-correccion-fertilizantes-nitrogeno-fosforo-potasio-magnesio-calcio-azufre-h>.
- Aguirre, V. (2017). *Evaluación química y biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobreandesita en el Sector San Vicente de la parroquia Chuquiriba* ; Disponible; <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/19302/1/VALERIA%20STEFANI%20AGUIRRE%20VASQUEZ.pdf>. Loja : Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables.
- Aguirre, V. (2017). *Valeria Agrícola*. Loja : area agropecuaria de recursos naturales renovables.
- Amores. (2004). *Manual del cultivo de café* . NIAP- Estacion Experimental Pichilingue.
- Asonera. (1994). *sustratos propiedades y caracterizacion* . Mundi Prensa .
- 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 Ríos Guaya*.
- Bouma. (1965). *Growth changes of plants following the removal of nutritional stress*, Ph. D. .
- Briceño, y Pacheco. (1984). *Muestreo de Suelos*. Mexico: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- Burneo, C. (2012). *Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre Andesita tratado con carbón vegetal, cal y nutrinetes en el Sur de la Amazonia*

- ecuatoriana. Tesis Ing. Agr. Loja-Ecuador : Universidad Nacional de Loja. pp.21.100-101.*
- Carreño. (2023). *Plan de fertilizacion para el sistema agroforestal con café (Coffea arabica L.) en el centro Binacional de Formación Tecnica Zapotepamba. Disponible en: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/28023/1/TatianaElizabeth_Carre%C3%B1oQuizhpe.pdf. Loja.*
- Castillo, F. y 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. . Loja: Universidad Nacional de Loja .*
- Cenicafe. (2008). *Fertilidad del suelo y nutricion del Cafe en Colombia . Centro Nacional de Investigaciones de cafe.*
- Crosara, A. (2020). *Facultad de Ciencias. Nutrientes en el suelo. Obtenido de UNCIEP: <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Nutrientes%20del%20suelo.pdf>.*
- Dominguez. (2012). *Sistema de Notacion Munsell y CIELab como herramienta para evaluacion de color en suelos . Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Agricolas.*
- Duarte, R. M. (2017). *Docplayer. Obtenido de Función de los elementos: <https://docplayer.es/34659431-Funciones-de-los-elementos-en-la-planta.html>*
- Duran. (2010). *Cultivo de cafe. Colombia: Grupo latino S.A.S.*
- Enríquez & Duicela. (2014). *Guia tecnica para produccion y poscosecha deñ cafe arabigo. Portoviejo: 1 ed.*
- Enriquez & et. (1995). *Fertilidad de los suelos manual de laboratorio . Asociacion costarricense de la ciencia del suelo .*
- Enríquez, G., y Duicela, L. . (2014). *Guía técnica para la producción y poscosecha de café.*
- ESPAC. (2017). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria. Recuperado en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->*

inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Informe_Ejecutivo_ESPAC_2017.pdf.

FAO. (2002). *Los fertilizantes y su uso. Obtenido de: <https://www.fao.org/3/x4781s/X4781S.pdf>.*

FAO. (2023). *Portal de Suelos de la FAO. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/#:~:text=El%20suelo%20es%20un%20componente,el%20caso%20de%20los%20ecosistemas>.*

FAO. (s.f.). *Propiedades Físicas y Químicas del Suelo. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>*

Fernandez. (2010). *Evaluacion en camara de crecimiento de tres metodos de determinacion de fosforo asimilable en los suelos no calcareos. Disponible en: <http://www.edafologia.net/revista/tomo3b/articulo189.pdf>. En boletin de la sociedad Española de la ciencia del suelo .*

Fernandez, L. (2013). *Propiedades físicas y químicas de los suelos. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.*

García & García. (2013). *Química Agrícola. (Vol. 3). España: Mundi-Prensa. pp.328.357.358.385.391.398.*

Gil & Puszczólkowski. (2015). *Viticultura: Fundamentos para optimizar producción y calidad. Segunda edición ampliada y actualizada. Ediciones UC.*

González, H. (2014). *Ciencia, tecnología e innovación para la caficultura colombiana. Épocas recomendables para la fertilización de cafetales Recuperado de: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/498/3/avt0442.pdf>.*

Graetz, H. (2010). *Suelos y fertilización. Mexico: (3a ed.) Sep trillas. pp.29.60.*

Guayllas, F. (1988). *Estado nutricional de los suelos de Cañicapac y Ñamarin, mediante un método biológico. Loja : Universidad Nacional de Loja.pp.30.94.95.*

- Guerra y Lozano. (2014). *UF0001 - El suelo de cultivo y las condiciones climáticas*. Elearning, S.L.
- Guerrero. (2017). *El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos*. Madrid, España: Mundi-Prensa. pp.62.63.68.: (2 reimpresión ed., Vol. 1).
- Guerrero, M. (2017). *Rendimientos de café grano seco en el Ecuador Quito*. Quito: Coordinación General del Sistema de Información Nacional-Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Infanta, M. (2020). *Deficiencias de nutrientes*. Obtenido de <https://www.yara.es/nutricion-vegetal/tomate/deficiencias/nitrogeno-vs-azufre-tomate/>.
- INIAP. (2014). *Café arábigo*. Disponible en: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcafec/rcafea>.
- INTAGRI. (2001). *Diagnóstico Visual de Deficiencias Nutrimientales*. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/Diagnostico-Visual-de-Deficiencias-Nutrimientales>.
- INTAGRI. (2001). *Importancia del azufre en las plantas*. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/importancia-del-azufre-s-en-las-plantas#:~:text=Tiene%20funciones%20que%20sirven%20a,de%20las%20c%C3%A9lulas%20por%20frio>.
- Intagri. (2001). *La Compatibilidad de los Fertilizantes en Fertirrigación*. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-compatibilidad-de-los-fertilizantes-en-fertirrigacion>.
- Intagri. (2021). *Nutrición de cultivos con Zn*. Diponiblen en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/nutricion-cultivos-zinc#:~:text=S%C3%ADntomas%20de%20deficiencia%20de%20Zn%20en%20las%>

20plantas&text=En%20general%2C%20los%20s%C3%ADntomas%20de,%2C%20h
oja.

Iñiguez, M. (2010). *Fertilidad, Fertilizantes y fertilización del suelo*. Loja: Universidad Nacional de Loja.

Jaramillo, R. (2018). *La red nacional de laboratorios de suelos refuerza calidad para productores ecuatorianos*. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/laboratorios/>.

Koppen, W. (1936). *Das geographische system der klimate*. Berlin: *Handbuch der Klimatologie*, pp. 1-44.

Leon. (2011). *Interacción estática del suelo estructura análisis con el método de elementos finitos*.

Loaiza. (2013). *Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre granodiorita, tratado con carbo vegetal, cal y nutrientes en el Sur de la Amazonia Ecuatoriana*. Loja-Ecuador: Universidad Nacional de Loja. p.75-76.

López. (2012). *Producción de raíces finas y micorrización en café cultivado bajo sistema convencional y orgánico en Turrialba*. Costa Rica: Universidad Nacional de Agricultura.

Maldonado. (2014). *Efecto de la cobertura arbórea en sistemas de café orgánico en el Sur de Oaxaca*. Revista Mexicana de Agroecosistemas.

Maldonado et .. (2014). *Deficiencias de azufre en suelos cultivables y su efecto en la productividad*. Centro en alimentación y desarrollo, XVI, 38-44.

Masis, Hernández y Piedra. (2017). *Química Agrícola*. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.

- Mendoza, O. (2013). *Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre arenisca cuarzosa, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en San Francisco-El Pangui. Tesis Ing.Agr.* Loja-Ecuador: Universidad Nacional de Loja. p.100.
- Monteros. (2016). *Rendimientos de café grano seco en el Ecuador 2016. Recuperado en:* http://sipa.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_cafe_grano_seco2016.pdf. Quito.
- Navarro & Navarro. (2013). *Química Agrícola (tercera)*. España: Mundi-Prensa.
- Navarro. (2003). *Química Agrícola*. España-Madrid.
- Padilla, W. (2007). *Manejo de la química y fertilidad de los suelos (4.ªed)*. Clínica Agrícola . Piedrahita.
- (2009). *Acidez del suelo. Recuperado en;* http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Acidez%20del%20Suelo/Fuentes%20y%20efectos.pdf.
- Ribeiro y Roque . (2007). *Elementos requeridos à nutrição de plantas*. Brasil: Sociedade Brasileira de e Ciência do Solo, Viçosa-Minas Gerais (p. 104).
- Roca, A. (2016). *ELEMENTOS DEL SUELO ESENCIALES PARA LAS PLANTAS*. Galicia-España.
- Rodríguez & Rodríguez. (2011). *Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación*. México: trillas.
- Rodríguez, M., & Flórez, V. (2004). *Fertirriego - Elementos esenciales y Beneficiosos*. Colombia - Bogotá.
- Rogel. (2021). *Evaluación Biológica de fertilidad del suelo en el sector Cucanama alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba. Disponible en:* <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24489/1/Sofia%20Lizbeth%20Rogel%20Pe%C3%B1aloz.pdf>. Loja.

- Sanzano, A. (2015). *Química del suelo- El Fosforo en el Suelo*. Obtenido de: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/El%20Fosforo%20del%20suelo.pdf>.
- Tandazo, K. (2019). *Evaluación Química y Biológica de la fertilidad actual de un suelo, desarrollada en el conton Chaguarpamba y Lozumbe en Sistemas agroforestales de café*. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22567/1/Karina%20Fabiola%20Tandazo%20Loja>.
- Torres, V., Hernandez, D. (1988). *Variabilidad en el contenido de micronutrientes para suelos cultivados en caña de azúcar*. Disponible en :n <http://www.suelos.org.ar.p.41>. Venezuela: Ed 6.
- Valarezo, C. (1985). *Proyecto de evaluación de la fertilidad de los suelos de Saraguro (Universidad Nacional de Loja)*; Disponible; <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11367/1/TESIS.pdf>.
- Villamagua & Valarezo. (2021). *Efecto del encalado sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del caféto (Coffea arabica L.) en Pueblo Nuevo, cantón Loja, Ecuador*. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/919>. Loja.
- Villavicencio y Castillo. (2015). *Evaluación química y biológica de la fertilidad actual del suelo del experimento del cultivo en callejones de Gliricida sepium, y comportamiento del cultivo de maíz en la sexta rotación*. Loja: Area Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables. UNL. Loja.
- Zambrano. (2019). *Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Consapamba y Pueblo Nuevo de los cantones Espíndola y Loja*. Loja .

Zhunaula, G. (2016). *Evaluación química y biológica de la fertilidad actual de un suelo, desarrollado sobre andesita en el sistema de riego la Era, cantón Catamayo. El uso de suelos de las unidades productivas fue de huerta, pasto, yuca, pimiento, caña y maíz más zarandaja*. Loja: Facultad de Recursos Naturales Renovables. Unl. Loja.

11. Anexos

Anexos 1. Descripción del perfil del uso del suelo en el SAF con café, en el sector Pueblo Nuevo.

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE SUELOS DE LA HACIENDA EL CRISTAL

Código: PCI **Fecha:** 18/10/17

Autor: Carlos Valarezo y Miguel Villamagua **Sitio:** El Cristal

Altitud: 2071 m s.n.m **Coordenadas:** 9 544493 N, 700429 W.

Pendiente: 40% **Paisaje:** ladera de una colina **Tipo de relieve:** loma

Forma de terreno: ladera muy escarpada

Uso actual o cobertura vegetal: sistema agroforestal; (Alisos+ café)

Condiciones de humedad: húmedo **pedregosidad superficial:** 0%; tamaño: cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No

Material Parental: rocas metamórficas: filitas

Profundidad de la capa freáticas: profundidad :0 cm

Fluctuación: cm

Presencia de Sales o Alcalls: No

Drenaje: bueno

Clasificación taxonómica preliminar USDA(2006): kandiudults

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

El suelo es muy profundo (120cm) se encuentra constituido por las siguientes capas y horizontes: una ligera capa organica de 2-3 cm, que pertenece a un suelo mineral; un horizonte Ap de 8cm de espesor, franco limoso; un horizonte AE de 20 cm de espesor, franco limoso; un horizonte Bt1 de 20 cm de espesor, franco arcillo limoso; un horizonte Bt2 de 20 cm de espesor, franco arcillo limoso, y un horizonte C de 50 cm de espesor, franco arcilloso. Sin presencia de manchas en los 4 primeros horizontes. Las raíces son medianas, finas y muy finas se observan hasta los 70 cm de profundidad.

Descripción individual de los horizontes o capas PC1:

00 – (-3 cm)

Horizonte orgánico, con abundantes raíces, muy finas, finas y gruesas.

Ap 00 – 8 cm

Marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; franco limoso al tacto; bloques subangulares finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; sin presencia de poros; raíces comunes, medias; límite brusco y plano.

AE 08- 30 cm

Marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; franco limoso al tacto; bloques subangulares finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; sin presencia de poros; raíces pocas, finas; límite brusco y plano

Bt1 30- 50 cm

Marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; franco arcillo limoso al tacto; bloques subangulares, medios y gruesos, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico y friable en húmedo; cutanes zonales y delgados; sin presencia de poros; raíces pocas, finas; límite brusco y plano.

Bt2 50-70 cm

Muy oscuro grisáceo (10YR 3/2) en húmedo; franco arcillo limoso al tacto; bloques subangulares, gruesos y muy gruesos, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; cutanes zonales y delgados; sin presencia de poros; raíces muy pocas, muy finas; límite brusco y plano.

C >70 cm

Marrón rojizo (2.5YR 4/3) en húmedo, con 60 % de manchas grandes, definidas y difusas; marrón amarillento (10YR 5/6) en húmedo; con 40 % de manchas; franco arcilloso al tacto; su estructura es masiva; adherente, plástico, firme en húmedo; sin presencia de poros y raíces; límite brusco y plano.

Anexos 2. Resultados de análisis químicos del sector pueblo nuevo

MC-LASPA-2201-01

 <p>INIAP INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</p>	<p>INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua. Tífs. (02) 3007284 / (02)2504240 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec</p>	 <p>LASPA</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

INFORME DE ENSAYO No: 21-0579

NOMBRE DEL CLIENTE:	Aguirre Caraguay Paola Alexandra	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	09/07/2021
PETICIONARIO:	Aguirre Caraguay Paola Alexandra	HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	13:50
EMPRESA/INSTITUCIÓN:	Aguirre Caraguay Paola Alexandra	FECHA DE ANÁLISIS:	19/07/2021
DIRECCIÓN:	Catamayo, Loja	FECHA DE EMISIÓN:	23/07/2021
		ANÁLISIS SOLICITADO:	CIC

N° muestra	K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC	Identificación de la muestra
	meq/100 g suelo	(%)	meq/100 g suelo					
21-2209	0,29	3,26	0,54	0,18	4,3	42,7	10,0	Tratamiento 0
21-2210	0,17	1,77	0,22	0,15	2,3	29,8	7,8	Tratamiento 1
21-2211	0,22	3,26	0,49	0,14	4,1	40,4	10,2	Tratamiento 2

RESPONSABLES DEL INFORME



Firmado electrónicamente por:
**JOSE ALONSO
LUCERO
MALATAY**

LABORATORISTA



Firmado electrónicamente por:
**IVAN RODRIGO
SAMANIEGO
MAIGUA**

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

Anexos 4. Porcentaje de biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo.

USO DE SUELO						
SOLUCIÓN	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	%	Interpretación	%	Interpretación	%	Interpretación
SC	100	Alto	100	alto	100	Alto
-N	33	Bajo	36	medio	42	Medio
-P	31	Bajo	31	bajo	34	Medio
-K	46	Medio	31	bajo	29	Bajo
-Mg	37	Medio	30	bajo	34	Medio
-S	33	Bajo	30	bajo	36	Medio
-Zn	55	Medio	31	bajo	46	medio
-Mn	59	Medio	30	Bajo	41	medio
-Cu	65	medio	31	Bajo	47	medio
-Fe	48	medio	31	Bajo	37	Medio
-B	42	medio	31	Bajo	32	Bajo
Testigo	30	bajo	30	Bajo	31	Bajo

Anexos 5. Análisis químicos del suelo en el suelo del SAF con café de Pueblo Nuevo

SAF con café y alisos							
Elementos Disponibles		Zona 1		Zona 2		Zona 3	
		Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
N	%	0,07	alto	0,0086	Alto	0,0082	alto
P	cmol kg^{-1}	33	alto	29	Alto	32	alto
K	cmol kg^{-1}	0,28	medio	0,15	Bajo	0,22	medio
Mg	cmol kg^{-1}	0,5	medio	0,16	Bajo	0,47	medio
S	mg kg^{-1}	9,2	bajo	7,32	Bajo	11	bajo
Zn	mg kg^{-1}	2,7	bajo	1,9	Bajo	2,4	bajo
Cu	mg kg^{-1}	6,5	Alto	6,1	Alto	6,9	alto
Mn	mg kg^{-1}	12,2	medio	8,4	Medio	11,8	medio
B	mg kg^{-1}	0,09	bajo	0,03	Bajo	0,05	bajo
Fe	mg kg^{-1}	966	Alto	905	Alto	1019	alto

Anexos 6. Peso molecular y equivalente químico de los fertilizantes

FERTILIZANTES Y SUS CONCENTRACIONES																		
Fertilizante/Nutriente	N	P2O5	K2O	CaO	S	MgO	Ca	P	K	Mg	Zn	B	Fe	Mn	Mo	Cu	CL	Na
Azufre miroionizado					90													
H3BO3												18						
KH2PO4		52	34					22,36	28,22									
(NH4)6Mo7O24. 4H2O	7														54			
Ca (NO3)2. 4H2O	15,5			26			18,5											
KNO3	13,5		46						38,18									
Fe-EDTA													13					
CuSO4. 5H2O					12											25		
MgSO4. 7H2O					13	16				9,6								
ZnSO4. 7H2O					13						23							
(NH4)2SO4	21				24									25				
MnSO4. H2O					18													
K2SO4			50		18				41,5									
H3PO4		60						26,2										
Mg (NO3)2.6H2O	11									9								
CaCl2.6H2O							19										29	
K2SO4					18				45									
NaCl																	60	40
MnCl2.4H2O														28			36	
MgCl2.6H2O										12							35	
NaH2PO4								26										20

Anexos 7. Concentraciones de cada uno de los fertilizantes

Fertilizante	Peso Molecular	Eq
Ca (NO3)2. 4H2O	236.15	118,08
KNO3	101.11	101,11
NH4H2PO4	115.03	115,03
MgSO4. 7H2O	246.48	123,24
NH4NO3	80.04	80,04
Mg(NO3)2.6H2O	256.41	128,21
KH2PO4	136.09	136,09
Mg(H2PO4)2.3H2O	272,33	136
(NH4)2SO4	132.15	66
K2SO4	174.27	174,27
NaNO3	85.00	85
NaH2PO4	119.90	119,9

Anexos 8. Mililitros de la solución stok que se debe adicionar y consumo de cada una de los elementos

Solución Stock	Mililitros de la solución stok que se debe adicionar										
	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	6		6	6	6	6	6	6	6	6	6
KNO ₃	2		2		2	2	2	2	2	2	2
KH ₂ PO ₄	2	2			2	2	2	2	2	2	2
NaH ₂ PO ₄				2							
K ₂ SO ₄		2	2		1						
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1,5	1.5	1.5	1.5			1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
MgCl ₂ ·6H ₂ O						1,5					
CaCl ₂ ·6H ₂ O		6									
NaCl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NaFe-EDTA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
MnCl ₂ ·4H ₂ O	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
H ₃ BO ₃	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
CuSO ₄ ·5H ₂ O	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Consumo (L)	11,9	3	2,3	5,8	11,3	11	10,8	9,3	9,7	10	11,2

Anexos 9. Cálculos de la cantidad de nutrientes en la solución nutritiva

Para el cálculo de la cantidad de cada nutriente que contiene la solución nutritiva se procedió de la siguiente manera:

Se consideró las sales minerales utilizadas en las investigaciones (Tabla 4), la cantidad de meq/L de las sales para preparar las soluciones nutritivas o *stock* (Tabla 6), el equivalente químico (anexo 6), y la concentración de cada sal (Anexo 7). 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.

Solución completa (SC)

Para el cálculo del requerimiento de N se utilizaron tres sales: nitrato de calcio [(CaNO₃)₂·4H₂O], nitrato de potasio [KNO₃] y molibdato de amonio tetrahidratado [(NH₄)₆(Mo₇O)₂₄·4H₂O].

Propiedades	Sales minerales			
	$(\text{CaNO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	KNO_3	$(\text{NH}_4)_6 (\text{Mo}_7\text{O})_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Ver
Peso molecular (g)	236,15	101,11	1 235,3	Anexo 8
Equivalente químico	118,08	101,11	1 235,3	Anexo 8
Concentración en la sal (%)	15,5	13,5	7	Anexo 9
Cantidad (ml/L o meq/L)	6	2	1	Tabla 6
Consumo N (L)	6			Anexo 10
Masa atómica			96,95	

$(\text{CaNO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$			KNO_3		
Pasar los 6 meq/L de N a ppm			Pasar los 2 meq/L de N a ppm		
N meq/L		$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ppm o mg/L	N meq/L		KNO_3 ppm o mg/L
1	→	118,08	1	→	101,11
6	→	X =	2	→	X =
$X = \frac{6 * 118,08}{1} = 708,48 \text{ ppm}$			$X = \frac{2 * 101,11}{1} = 202,22 \text{ ppm}$		
Cálculo del 15,5 % de N en $(\text{CaNO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$			Cálculo del 13,5 % de N en KNO_3		
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ Ppm		N Ppm	KNO_3 Ppm		N Ppm
100	→	15,5	100	→	13,5
708,48	→	X =	202,22	→	X =
$X = \frac{708,48 * 15,5}{100} = 109,81 \text{ ppm N}$			$X = \frac{202,22 * 13,5}{100} = 27,30 \text{ ppm N}$		
$(\text{NH}_4)_6 (\text{Mo}_7\text{O})_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$					

<table border="1"> <tr> <td>Peso molecular (mg $(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$)</td> <td></td> <td>Masa Atómica mg $(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$</td> </tr> <tr> <td>1235,3</td> <td>→</td> <td>96,95</td> </tr> <tr> <td>X=</td> <td>→</td> <td>0,02</td> </tr> <tr> <td colspan="3">$X = \frac{1235,3 \cdot 0,02}{96,95} = 0,25 \text{ ppm de molbdato}$</td> </tr> </table>	Peso molecular (mg $(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$)		Masa Atómica mg $(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$	1235,3	→	96,95	X=	→	0,02	$X = \frac{1235,3 \cdot 0,02}{96,95} = 0,25 \text{ ppm de molbdato}$			<table border="1"> <tr> <td>$(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$ Ppm</td> <td></td> <td>Concentración del N</td> </tr> <tr> <td>1235,3</td> <td>→</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td>0,25</td> <td></td> <td>X=</td> </tr> <tr> <td colspan="3">$X = \frac{0,25 \times 64}{1235,3} = 0,013 \text{ ppm N}$</td> </tr> </table>	$(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$ Ppm		Concentración del N	1235,3	→	64	0,25		X=	$X = \frac{0,25 \times 64}{1235,3} = 0,013 \text{ ppm N}$		
Peso molecular (mg $(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$)		Masa Atómica mg $(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$																							
1235,3	→	96,95																							
X=	→	0,02																							
$X = \frac{1235,3 \cdot 0,02}{96,95} = 0,25 \text{ ppm de molbdato}$																									
$(NH_4)_6$ $(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$ Ppm		Concentración del N																							
1235,3	→	64																							
0,25		X=																							
$X = \frac{0,25 \times 64}{1235,3} = 0,013 \text{ ppm N}$																									
Requerimiento total de N de la planta indicadora $= 109,81 + 27,30 + 0,12 = 137,23 \cong 137 \text{ ppm de N}^* 6 = 823 \text{ ppm}$																									

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

Propiedades	Sal mineral	
	KH_2PO_4	Ver
Peso molecular (g)	136,09	Anexo 8
Equivalente químico	136,09	Anexo 8
Concentración en la sal (%)	22,36	Anexo 9
Cantidad (ml/L o meq/L)	2	Tabla 6
Consumó del P (L)	5,7	Anexo 10

KH_2PO_4																									
Pasar los 2 meq/L de P a ppm		Cálculo del 22,36 % de P en KH_2PO_4																							
<table border="1"> <tr> <td>KH_2PO_4 meq/L</td> <td></td> <td>KH_2PO_4 ppm o mg/L</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>→</td> <td>136,09</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>→</td> <td>X =</td> </tr> <tr> <td colspan="3">$X = \frac{2 \cdot 136,09}{1} = 272,18 \text{ ppm}$</td> </tr> </table>	KH_2PO_4 meq/L		KH_2PO_4 ppm o mg/L	1	→	136,09	2	→	X =	$X = \frac{2 \cdot 136,09}{1} = 272,18 \text{ ppm}$			<table border="1"> <tr> <td>KH_2PO_4 Ppm</td> <td></td> <td>P Ppm</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>→</td> <td>22,36</td> </tr> <tr> <td>272,18</td> <td>→</td> <td>X =</td> </tr> <tr> <td colspan="3">$X = \frac{272,18 \times 22,36}{100} = 60,86 \text{ ppm P}$</td> </tr> </table>	KH_2PO_4 Ppm		P Ppm	100	→	22,36	272,18	→	X =	$X = \frac{272,18 \times 22,36}{100} = 60,86 \text{ ppm P}$		
KH_2PO_4 meq/L		KH_2PO_4 ppm o mg/L																							
1	→	136,09																							
2	→	X =																							
$X = \frac{2 \cdot 136,09}{1} = 272,18 \text{ ppm}$																									
KH_2PO_4 Ppm		P Ppm																							
100	→	22,36																							
272,18	→	X =																							
$X = \frac{272,18 \times 22,36}{100} = 60,86 \text{ ppm P}$																									
Requerimiento total de P de la planta indicadora $= 60,86 \cong 61 \text{ ppm de P}^* 5,7 = 347 \text{ ppm}$																									

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	Tabla 6
Peso molecular (g)	136,09	174,27	Anexo 8
Equivalente químico	136,09	174,27	Anexo 8
Concentración en la sal (%)	28,22	41,5	Anexo 9
Consumo de K (L)	8,7		Anexo 10

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

Cálculo del 22,36 % de K en KH_2PO_4			Cálculo del 38,18 % de K en KNO_3		
KH_2PO_4 Ppm		K Ppm	KNO_3 Ppm		K Ppm
100	→	28,22	100	→	38,18
272,18	→	X =	202,22	→	X =
$X = \frac{272,18 * 28,22}{100} = 76,80 \text{ ppm K}$			$X = \frac{202,22 * 38,18}{100} = 77,20 \text{ ppm K}$		
Requerimiento total de K de la planta indicadora $= 76,80 + 77,20 = 154,02 \cong 154 \text{ ppm de K} * 8,7 = 1340 \text{ ppm}$					

Para el cálculo del requerimiento de B se utilizó las sales: Ácido Bórico H_3BO_3

Propiedades	Sales minerales
-------------	-----------------

	H3BO3	Ver
Peso molecular H3BO3	62	Tabla 6
Masa Atómica del Boro (u)	10,81	Anexo 8
Cantidad en ppm	0,5	Tabla 5
Consumo B (L)	10,4	Anexo 10

H₃BO₃			
Peso molecular H₃BO₃		Masa atómica del B mg/l	
62	→	10,81	
X=	→	0,5	
$X = \frac{62 \times 0,5}{10,81} = 2,86 \text{ ppm}$			
H₃BO₃ Ppm		Concentración B	
2,86	→	17,5	
$X = \frac{2,86 \times 17,5}{100} = 0,50 \text{ ppm B}$			
Requerimiento total de B de la planta indicadora = 0,50 ppm de B* 10,4 = 5,2 ppm			

Para
el

cálculo del requerimiento de S se utilizamos las siguientes sales: sulfato de Zinc ZnSO₄.7H₂O, CuSO₄.5H₂O Y MgSO₄.

Propiedades	Sales minerales			Ver
	MgSO₄.7H₂O	CuSO₄.7H₂O	ZnSO₄.7H₂O	
Cantidad (ml/L o meq/L)	2	0,5	0,5	Tabla 6
Peso molecular (g)	246,48	250	287,5	Anexo 8
Equivalente químico	123,24			Anexo 8
Concentración en la sal (%)	28,22	38,18	41,5	Anexo 9
Masa Atómica		63,54	65,38	
Consumo de S (L)	9,2			Anexo 10

ZnSO₄.7H₂O

Peso molecular (mg ZnSO ₄ ·7H ₂ O)		Masa Atomica (mg Zn)
287,5	→	65,38
X=	→	0,05 mg/l
$X = \frac{287,5 * 0,05}{63,38} = 0,21 \text{ ppm ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		

ZnSO₄·7H₂O		
Peso molecular (mg ZnSO ₄ ·7H ₂ O)		Masa Atomica (mg S)
287,5	→	32
0,21	→	X =
$X = \frac{0,21 * 32}{287,5} = 0,024 \text{ de S ppm}$		

CuSO₄·5H₂O		
Peso molecular (mg CuSO ₄ ·5H ₂ O)		Masa Atomica (mg Zn)
249,65	→	63,54
X=	→	0,04 mg/l
$X = \frac{249,65 * 0,04}{63,54} = 0,15 \text{ ppm CuSO}_4$		

Peso molecular (mg CuSO ₄ ·5H ₂ O)		Masa Atomica (mg S)
249,65	→	32
0,15	→	X =
$X = \frac{0,15 * 32}{249,65} = 0,020 \text{ de S ppm}$		

MgSO₄·7H₂O		
Pasar los 2 meq/L de S a ppm		
MgSO ₄ ·7H ₂ O meq/L		MgSO ₄ ·7H ₂ O ppm o mg/L
1	→	123,24
1,5	→	X =
$X = \frac{1,5 * 123,24}{1} = 184,86 \text{ ppm}$		

Cálculo del 13 % de S en MgSO ₄ ·7H ₂ O		
MgSO ₄ ·7H ₂ O ppm		S ppm
100	→	13
184,86	→	X =
$X = \frac{184,86 * 13}{100} = 24,03 \text{ ppm S}$		

Requerimiento total de S de la planta indicadora
24,03+0,024+0,020= 24,076 de S ppm* 9,2= **222 ppm**

Para el cálculo del requerimiento de Mg se utilizó la sal: sulfato de magnesio [MgSO₄·7H₂O],

Propiedades	Sal mineral	
	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Tabla
Cantidad (ml/L o meq/L)	1	Tabla 6
Peso molecular (g)	246,48	Anexo 8
Equivalente químico	123,24	Anexo 8
Concentración de en la sal (%)	9,6	Anexo 9
Consumo de Mg (L)	8,9	Anexo 10

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$					
Pasar 1 meq/L de Mg a ppm			Cálculo del 9,6% de Mg en $MgSO_4 \cdot 7H_2O$		
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$		$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$		Mg
Ppm		ppm o mg/L	Ppm		ppm
1	→	123,24	100	→	9,6
1,5	→	X =	184,86	→	X =
$X = \frac{1,5 \times 123,24}{1} = 184,86 \text{ ppm}$			$X = \frac{184,86 \times 9,6}{100} = 17,75 \text{ ppm Mg}$		
Requerimiento total de Mg de la planta indicadora $= 17,75 \cong 18 \text{ ppm de Mg} \cdot 8,9 = 158 \text{ ppm}$					

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

Propiedades	Sal mineral	
	$(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$	Ver
Peso molecular (g)	197,9	Anexo 8
Masa Atómica	54,94	Anexo 8
Concentración de en la sal (%)	28	Anexo 9
Consumo de Mn (L)	10,2	Anexo 10
Cantidad en ppm	0,5	Tabla 5

$(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$	

Peso molecular de la sal ($MnCl_2 \cdot 6H_2O$)		Masa atómica Mn	$(MnCl_2) \cdot 6H_2O$		Concentración Mn
197	→	54,94	ppm	→	28
X=	→	0,5 mg/l	$X = \frac{1,79 \times 28}{100} = \mathbf{0,50 \text{ ppm Mn}}$		
$X = \frac{197 \times 0,5}{54,94} = 1,79 \text{ ppm } (MnCl_2) \cdot 6H_2O$					
Requerimiento total de Mn de la planta indicadora = 0,50 ppm de Mn* 10,2= 5,1 ppm					

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

Propiedades	Sale mineral	
	$CuSO_4 \cdot 7H_2O$	Ver
Peso molecular (g)	250	Anexo 8
Masa Atómica	65,38	Anexo 8
Concentración de en la sal (%)	25	Anexo 9
Cantidad en ppm	0,5	Tabla 5
Consumo de Cu (L)	10,2	Anexo 10

$CuSO_4 \cdot 7H_2O$					
Peso molecular de la sal ($CuSO_4 \cdot 7H_2O$)		Masa Atómica (mg Cu)	$CuSO_4 \cdot 7H_2O$		Cu ppm
249,65	→	65,38	Ppm	→	25
X=	→	0,04 mg/l	$X = \frac{0,15 \times 25}{100} = \mathbf{0,04 \text{ ppm Cu}}$		
$X = \frac{249,65 \times 0,04}{249,65} = 0,15 \text{ ppm } CuSO_4 \cdot 7H_2O$					

Requerimiento total de Cu de la planta indicadora = 0,04 ppm de Cu* 10,2 = 0,46 ppm

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

Propiedades	Sal mineral	
	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	Ver
Peso molecular (g)	287,5	Anexo 8
Masa Atómica	65,38	
Concentración de en la sal (%)	23	Anexo 9
Consumo de Zn (L)	11,4	Anexo 10
Cantidad en ppm	0,5	Tabla 5

$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$				
Peso molecular de la sal $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)		<i>Masa Atomica</i> (mg Zn)	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ Ppm	Concentración Zn
287,5	→	65,38	0,21	→ 23
X=	→	0,05 mg/l	$X = \frac{0,21 \times 23}{100} = 0,05 \text{ ppm Zn}$	
$X = \frac{287,5 \times 0,05}{65,38} = 0,21 \text{ ppm } ZnSO_4 \cdot 7H_2O$				
Requerimiento total de Zn de la planta indicadora = 0,05 ppm de Zn* 11,4 = 0,48 ppm				

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

Propiedades	Sal mineral	
	NaFe-EDTA	Ver
Peso molecular (g)	430	Anexo 8
Masa Atómica	55,85	Anexo 8
Concentración de en la sal (%)	13	Anexo 9
Consumo de Fe (L)	11,2	Anexo 10

Cantidad en ppm

5

Tabla 5

NaFe-EDTA					
Peso molecular de la sal NaFe-EDTA		Masa atómica de (mgFe)	Fe EDTA Ppm		Concentración Fe
430	→	55,85	38,49	→	13
X=	→	5 mg/l	$X = \frac{38,49 \times 13}{100} = 5 \text{ ppm Fe}$		
$X = \frac{5 \times 55,85}{430} = 38,49 \text{ ppm Fe EDTA}$					
Requerimiento total de Fe de la planta indicadora = 5 ppm de Fe* 11,2 = 56 ppm					

Anexos 10. Cantidad de elementos para preparar la solución completa.

Sales	Cantidad de elementos (ppm)									
	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe
Ca (NO ₃) ₂ .4H ₂ O	109,81									
KNO ₃	27,30		77,21							
KH ₂ PO ₄		60,86	76,81							
MgSO ₄ .7H ₂ O				17,75	24,03					
NaFe-EDTA										5
MnCl ₂ .4H ₂ O								0,05		
H ₃ BO ₃									0,50	
ZnSO ₄ .7H ₂ O					0,024	0,05				
CuSO ₄ .5H ₂ O					0,020		0,04			
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0,12									
Total, de la SC	137	60,9	154,0	17,7	24,074	0,05	0,04	0,05	0,50	5

Anexos 11. Contenido de nutrientes del suelo expresados por la altura de la planta indicadora de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Elemento	contenido del nutriente	consumo (L)	mg/VS utilizado (ppm)	Demanda	Interpretación
-N	137,13	6,0	823	230	Bajo
-P	60,86	5,7	347	60	Bajo
-K	154,02	8,7	1340	45	Medio
-Mg	17,75	8,9	158	18	medio

-S	24,08	9,2	222	27	bajo
-Zn	0,05	9,5	0,48	3	medio
-Mn	0,50	10,2	5,1	0	alto
-Cu	0,04	11,4	0,46	0	alto
-Fe	5,00	11,2	56,0	0	alto
-B	0,50	10,4	5,2	5	medio

Anexos 12. Composición química de los fertilizantes utilizados para el plan de fertilización

Fertilizante	Contenidos de nutrimentos (%)							
	N	P2O5	K2O	Ca	Mg	S	Zn	B
10-30-10 (50kg)	10	30	10	-	-	-	-	-
DAP (18-46) (50 Kg)	18	46	-	-	-	-	-	-
S. de potasio (25 Kg)	-	-	50	-	-	18	-	-
Urea (50 Kg)	46	-	-	-	-	-	-	-
ZnSO4 (25 Kg)	-	-	-	-	-	4	23	-
Bórax (Kg)	-	-	-	-	-	-	-	11
Kieserita (50 Kg)	-	-	-	-	15	20	-	-
Cal agrícola (50 Kg)	-	-	-	40	-	-	-	-
Cal Dolomita (20 kg)	-	-	-	36	-	-	-	-
12-24-12 Yararafos	12	24	12	-	-	-	-	-

Anexas 13. Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo principal, evaluar química y biológicamente la disponibilidad de los nutrientes a fin de generar un plan de fertilización para el sistema agroforestal con café en la estación experimental la Argelia de la Universidad Nacional de Loja.

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

Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física y química los suelos de la estación experimental la Argelia.
- Establecer la correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad actual del suelo.
- Proponer un plan de fertilidad para el cultivo de café en el sector la Argelia. .

METODOLOGÍA

Ubicación del ensayo

Las muestras recolectadas de cada sector de estudio para la evaluación biológica, se desarrolló en la estación experimental la Argelia de la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables.

Materiales

144 tarrinas de plástico de 600ml, 144 vasos de plásticos de 250 ml, semillas de tomate riñón de origen híbrido, 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;

Tipos de sales y las cantidades expresadas en gramos para preparar las soluciones madres 1N de los macro y micro elementos

Sales	(g/l)	Sales	g/l
Ca (NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	118	MnCl ₂ · 4H ₂ O	1,81
KNO ₃	101	H ₂ BO ₃	2,86
KH ₂ PO ₄	136	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0,22
NaH ₂ PO ₄	120	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0,16
K ₂ SO ₄	87	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0,04
MgSO ₄ · 7H ₂ O	123	NaFe-EDTA	32,75
MgCl ₂ · 6H ₂ O	101		
CaCl ₂ · 6H ₂ 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 ₃) ₂ · 4H ₂ O	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
KNO ₃	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
KH ₂ PO ₄	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
NaH ₂ PO ₄			2,0								
K ₂ SO ₄	2,0	2,0		1,0							
MgSO ₄ · 7H ₂ O	1,5	1,5	1,5			1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
MgCl ₂ · 6H ₂ O						1,5					
CaCl ₂ · 6H ₂ 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 ₂ · 4H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0	1,0	1,0
H ₂ BO ₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
CuSO ₄ · 5H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ 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 25 de mayo).
- Reposición de soluciones nutritivas de las 144 plantas fue: en el periodo de los 15 - 30 días fue de 0,3 L/día; 30 - 45 días 1,7 L/día; y de 45 - 60 días el consumo fue de 2,8 L/días.
- Medición de la altura a los 54 días.



Anexos 14. Planificación del evento de difusión de resultados

Tipo de evento: día de campo

Tema: “EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ (COFFEA ARÁBIGA L.) EN LA HACIENDA EL CRISTAL, SECTOR PUEBLO NUEVO DEL CANTÓN LOJA”.

Lugar: ciudad de Loja

Participantes: director de tesis, tesista, docentes y estudiantes de la facultad agropecuaria de Recursos Naturales Renovables.

Figura 6.

Difusión de resultados en la Universidad Nacional de Loja.







Anexos 15. Certificado del Abstract

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Nadine Alejandra Narváez Tapia, con número de cédula 1150753067 y con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, Mención Inglés, registrado en el SENESCYT con número 1008-2019-2144786

CERTIFICO:

Qué he realizado la traducción de español al idioma Inglés del resumen del presente trabajo de integración curricular o de titulación denominado *“Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café (Coffea arabica L.) en la hacienda el Cristal, sector Pueblo Nuevo del cantón Loja”* de autoría de Paola Alexandra Aguirre Caraguay, portadora de la cédula de identidad, número **1150405403**, egresada de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, siendo el mismo verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

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



NADINE ALEJANDRA
NARVAEZ TAPIA

Lic. Nadine Alejandra Narváez Tapia

C.I: 1150753067

Registro del SENESCYT: 1008-2019-2144786

