



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Plan de fertilización para el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en el centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.

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

AUTORA:

Tatiana Elizabeth Carreño Quizhpe

DIRECTORA:

Ing. Fernanda Margoth Livisaca Loján, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Educamos para Transformar

Certificación

Loja, 30 de marzo del 2023

Ing. Fernanda Margoth Livisaca Loján, Mg. Sc.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Plan de fertilización para el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en el centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrícola**, de la autoría de la estudiante **Tatiana Elizabeth Carreño Quizhpe**, con **cedula de identidad Nro.1106252651**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a faint circular stamp. The signature is cursive and appears to read 'Fernanda Margoth Livisaca Loján'.

Ing. Fernanda Margoth Livisaca Loján, Mg. Sc.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION

Autoría

Yo, **Tatiana Elizabeth Carreño Quizhpe**, declaro ser la 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:



Cedula de identidad: 1106252651

Fecha: 25/09/2023

Correo electrónico: tatiana.carreno@unl.edu.ec

Teléfono: 0993666703

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, **Tatiana Elizabeth Carreño Quizhpe** declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Plan de fertilización para el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en el centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba**, 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 en el Repositorio Institucional.

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

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

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

Firma:



Autora: Tatiana Elizabeth Carreño Quizhpe

Cédula: 1106252651

Dirección: Km3. Vía antigua Zamora

Correo electrónico: tatiana.carreno@unl.edu.ec

Teléfono: 0993666703

DATOS COMPLEMENTARIOS

Directora del Trabajo de Titulación: Fernanda Margoth Livisaca Loján, Mg. Sc.

Dedicatoria

Dedico mi proyecto de investigación primeramente a Dios y a la virgen María por darme la fuerza de culminar mis estudios universitarios, con todo mi amor a mis padres Franklin Carreño y Virginia Quizhpe por ser mi pilar fundamental, mi apoyo incondicional y al gran esfuerzo me han permitido llegar a cumplir mi sueño, gracias por inculcar en mí el esfuerzo y a no rendirme a pesar de cada obstáculo. Ellos con su amor me han impulsado a perseguir mis metas y me han brindado su apoyo económico y material para poder avanzar con mis estudios.

A Marianita de Jesús y Luz María mis mamitas, mis hermanos Juan y Emilia, Andrea y Dayana mis primas y mejores amigas por todo su apoyo incondicional y cariño desinteresado, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, a Danny por el cariño y por todas sus palabras de aliento que me ayudaron a seguir y dedicarme.

TATIANA ELIZABETH CARREÑO QUIZHPE

Agradecimiento

Le expreso mi especial reconocimiento de gratitud por su valiosa calidad académica a la Mg.Sc. Fernanda Margoth Livisaca directora del Trabajo de Titulación, quien en forma didáctica y lógica realizó la revisión de este trabajo final, por su dedicación, paciencia, sin sus conocimientos y correcciones previas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada, gracias por la guía y sus conocimientos, los llevare grabados siempre en mi futuro profesional.

Agradecer a la Universidad Nacional de Loja en especial la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, al personal administrativo de la Carrera de Ingeniería Agrícola, que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan esperado título, son muchos los docentes que han sido parte de mi camino académico, y a todos ellos quiero ofrecer mi agradecimiento por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí.

Finalmente quiero agradecer al centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba por las facilidades prestadas para la realización y ejecución de esta investigación.

TATIANA ELIZABETH CARREÑO QUIZHPE

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	7
4.1. Material parental.....	7
4.2. Descripción de calicatas	7
4.2.1. Descripción de los horizontes.....	7
4.3. Nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal	8
4.4. Propiedades químicas del suelo	15
4.5. Evaluación química de la fertilidad del suelo.....	16
4.6. Utilización de la solución Olsen Modificado en Ecuador	18
4.7. Fertilización de cafetales	20
4.8. Trabajos relacionados	21
5. Metodología	23
5.1. Ubicación del área de estudio	23
5.1.1. Ubicación geográfica.....	23

5.1.2.	Aspectos climáticos	24
5.1.3.	Localización del ensayo de evaluación biológica.....	24
5.2.	Materiales y equipos	24
5.3.	Metodología para el primer objetivo	24
5.3.1.	Material parental.....	24
5.3.2.	Descripción de calicatas	24
5.3.3.	Análisis químicos	24
5.4.	Metodología para el segundo objetivo.....	25
5.4.1.	Diseño de la investigación	25
5.4.2.	Evaluación biológica de la fertilidad actual del suelo	25
5.4.3.	Preparación de las soluciones nutritivas	25
5.4.4.	Preparación de las muestras de suelo	27
5.4.5.	Preparación de los recipientes	27
5.4.6.	Instalación del experimento	27
5.4.7.	Siembra y raleo de la planta indicadora.....	28
5.4.8.	Reposición de la solución nutritiva	28
5.4.9.	Registro de crecimiento y peso seco de la planta	28
5.4.10.	Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico	28
5.4.11.	Difusión de resultados	29
5.5.	Metodología para el tercer objetivo.....	29
5.5.1.	Plan de fertilidad.....	29
6.	Resultados.....	30
6.1.	Características químicas del suelo de Zapotepamba	30
6.1.1.	Material parental.....	30
6.1.2.	Clasificación taxonómica	30
6.1.3.	Descripción de paisaje y perfiles de la calicata	30
6.1.4.	Características químicas	31

6.1.5.	Determinación de nutrientes disponibles.....	31
6.2.	Evaluación Biológica de la fertilidad del suelo	32
6.2.1.	Peso de la biomasa seca.....	32
6.3.	Correspondencia entre análisis químico y evaluación biológica.....	33
6.4.	Fertilización para cafetales	34
6.4.1.	Fertilización para el SAF con café del sector Zapotepamba	34
6.4.2.	Enmienda y relación de cationes	35
7.	Discusión.....	37
7.1.	Condiciones químicas.....	37
7.1.1.	pH	37
7.1.2.	Materia orgánica	38
7.1.3.	Capacidad de intercambio catiónico.....	38
7.1.4.	Fertilidad actual	39
7.2.	Aspecto de la planta indicadora.....	39
7.3.	Correspondencia entre análisis químico y evaluación biológica.....	43
7.4.	Relación de cationes	44
7.5.	Fertilización de cafetales	45
8.	Conclusiones.....	47
9.	Recomendaciones.....	48
10.	Bibliografía.....	49
11.	Anexos.....	56

Índice de tablas

Tabla 1.	Requerimientos de macro y micronutrientes en cafetales	20
Tabla 2.	Relación entre cationes intercambiables adecuados para el café.....	21
Tabla 3.	Soluciones nutritivas.....	25
Tabla 4.	Tipos de sales para preparar la solución madre de macro elementos	26
Tabla 5.	Concentración de la solución madre y cantidades micro elementos	26
Tabla 6.	Volúmenes de solución madre para 1L de solución nutritiva.....	26
Tabla 7.	Interpretación de valores de altura y biomasa de la planta	29
Tabla 8.	Características químicas	31
Tabla 9.	Fertilidad actual del sector de estudio.....	31
Tabla 10.	Cálculo del CICE del sector Zapotepamba.....	35
Tabla 11.	Enmienda y relación de cationes	35
Tabla 12.	Nutrientes recomendados para el cultivo de cafetales en crecimiento	36
Tabla 13.	Plan de fertilización para cafetales en producción de Zapotepamba	36

Índice de figuras

Figura 1.	Ubicación de la estación experimental Zapotepamba	23
Figura 2.	Biomasa seca	32
Figura 3.	Aspecto de la planta indicadora.....	33
Figura 4.	Correspondencia entre la evaluación biológica y análisis químico.....	34

Índice de anexos

Anexo 1.	Croquis del diseño.....	56
Anexo 2.	Preparación de las soluciones nutritivas.....	56
Anexo 3.	Preparación de las muestras del suelo	57
Anexo 4.	Preparación de los recipientes	57
Anexo 5.	Cálculo de la biomasa	58
Anexo 6.	Interpretación correspondencia química	58
Anexo 7.	Análisis de varianza para los valores de la biomasa seca	58
Anexo 8.	Tríptico divulgativo.....	59
Anexo 9.	Difusión de resultados	61
Anexo 10.	Equivalente químico.....	63
Anexo 11.	Concentración de cada sal	64
Anexo 12.	Cálculo de la cantidad de nutrientes.....	65
Anexo 13.	Material parental	69
Anexo 14.	Descripción del perfil del suelo de Zapotepamba	70
Anexo 15.	Porcentaje de nutrimento.....	72
Anexo 16.	Certificado de traducción Abstract.....	73

1. Título

**Plan de fertilización para el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en el centro
Binacional de Formación Técnica Zapotepamba**

2. Resumen

En la provincia de Loja, el café es uno de los productos más importantes que se cultiva y es conocido a nivel nacional e internacional por su calidad y aroma. El deterioro de la capacidad productiva de suelos y la disminución en los rendimientos que afectan la economía de los caficultores, quienes buscan revertir esta situación con la aplicación de fertilizantes, sin considerar la disponibilidad de nutrientes y el requerimiento del cultivo. Con estos precedentes, se evaluó biológicamente la disponibilidad de nutrientes en el suelo para complementar el análisis químico con la finalidad de generar un plan de fertilización para la implementación del sistema agroforestal de café en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba. Se evaluó los contenidos de N, P, K, S, Mg, Fe, B, Mn, Cu y Zn, analizados químicamente (Olsen modificado) y la evaluación biológica (elemento faltante) en invernadero, utilizando como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), para realizar una comparación entre los métodos. La reacción del suelo ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) se caracterizó desde ligeramente alcalino a prácticamente neutro, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) se ubicó en el rango de medio a bajo. Al final del experimento muestran que el N, P, K, Zn, B y Fe no presentaron correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico, los elementos más deficientes son N, P y S, se recomienda la aplicación de fertilizantes que contengan estos elementos. Para el plan de fertilización se incrementó K y Mg.

Palabras clave: evaluación biológica, solución extractante, soluciones nutritivas, planta indicadora, correspondencia.

2.1. Abstract

In the province of Loja, coffee is one of the most important products grown and is known nationally and internationally for its quality and aroma. The deterioration of the productive capacity of soils and the decrease in yields affect the economy of coffee growers, who seek to reverse this situation with the application of fertilizers, without considering the availability of nutrients and the requirements of the crop. With these precedents, the availability of nutrients in the soil was evaluated biologically to complement the chemical analysis in order to generate a fertilization plan for the implementation of the coffee agroforestry system at the Binational Technical Training Center Zapotepamba. The contents of N, P, K, S, Mg, Fe, B, Mn, Cu and Zn, analyzed chemically (modified Olsen) and the biological evaluation (missing element) in greenhouse, using tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as indicator plant, were evaluated to make a comparison between the methods. The soil reaction (pHH₂O) was characterized from slightly alkaline to practically neutral, the cation exchange capacity (C.I.C.) was in the medium to low range. At the end of the experiment, N, P, K, Zn, B and Fe did not correspond between the dry matter weight of the biological evaluation and the available nutrient concentration of the chemical analysis; the most deficient elements were N, P and S. The application of fertilizers containing these elements is recommended. For the fertilization plan, K and Mg were increased.

Keywords: biological evaluation, extractant solution, nutritional solutions, indicator plant, correspondence

3. Introducción

El café es considerado como producto básico que tiene gran importancia para la economía de numerosos países. Las privilegiadas aptitudes agroecológicas del Ecuador han facilitado el cultivo de café, siendo actualmente uno de los pocos países del mundo donde es posible cultivar este producto en prácticamente toda su geografía. La provincia con mayor superficie de cultivo de café en Ecuador es Manabí ocupa alrededor de 70 700 ha, mientras que la provincia de Loja ocupa el segundo lugar con aproximadamente 29 600 ha. Los cantones con mayor superficie en la provincia de Loja son Puyango, Paltas y Chaguarpamba.

El cultivo de café es una de las principales actividades agrícolas que se realizan en el Ecuador, pues se encuentra entre los diez cultivos con mayor superficie, según el MAG, (2018), el cultivo de café ocupa 76 783 ha en todo el Ecuador, distribuyéndose en las diferentes provincias de Manabí 64.94 %, Loja 7.91 %, Orellana 9.08%, donde el rendimiento promedio nacional de café arábigo para el año 2019 fue de 0.30 t ha⁻¹. La provincia de Morona Santiago fue destacada como la provincia de mayor rendimiento con 1.22 t ha⁻¹, seguida de Galápagos, Pichincha y Zamora Chinchipe con 0.98; 0.66 y 0.57 t ha⁻¹, respectivamente mientras que las provincias de Napo, Cotopaxi y Pastaza reportan los rendimientos más bajos con 0.11; 0.11 y 0.07 t ha⁻¹.

En la provincia de Loja el cultivo de café ocupa el 13.5 % del área nacional, con una productividad estimada de 0.25 t/ha, principalmente en los cantones Puyango 39 %, Chaguarpamba 15 %, Quilanga 7 %, Espíndola con el 7 % y los cantones restantes con el 17 % (Guachisaca, 2015).

La especie del café arábigo representa el 63 % de la producción nacional de café, por otro lado el café robusta constituye el 37 %, las provincias de Manabí, El Oro, Loja, Guayas y Zamora representa el 85 % de café arábigo, mientras que, el 15 % produce café robusta cultivadas en las provincias de Sucumbíos, Orellana, Pichincha y Napo (Guerreo, 2017).

El principal cultivo del cantón Paltas es el maíz duro con 2 109 ha que representa el 34,48 % del total de áreas cultivadas, seguido de la caña de azúcar 1 622 ha equivalente al 24,98 % y maní con 1 254 ha que representa al 19,31 % de los productos que se cultivan en el cantón el restante 12,23 % está repartido entre otros cultivos (café, frejol, frutales) (GAD Paltas, 2019).

Los análisis químicos realizados en los laboratorios de suelos del país, para evaluar la disponibilidad de los nutrientes para las plantas (fertilidad actual) no siempre reflejan con veracidad la cantidad de elemento aprovechable, por lo cual se planteó evaluar la fertilidad actual de los suelos, mediante el método del elemento faltante desarrollado por Colwell (1980), adaptado por Valarezo (1985).

Para realizar la evaluación biológica se utilizó el tomate de mesa (*solanum lycopersicum* L.) como planta indicadora, bajo condiciones de invernadero; la misma que se utilizó por ser una planta que desarrolla de forma rápida, lo que permite obtener resultados en corto tiempo, además por sus características, las mismas que constan de poca cantidad de reservas nutritivas en la semilla por lo que permiten que los resultados sean más reales en relación a excesos y deficiencias de los elementos (Bouma, 1965).

En el marco indicado, la presente investigación tuvo como finalidad disponer de información sobre la correspondencia de los contenidos de nutrientes aprovechables de N, P, K, S, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B, analizados químicamente (extracción de Olsen Modificado) y la evaluación biológica mediante el método del elemento faltante, en el Centro de Formación Técnica Zapotepamba.

La Universidad Nacional de Loja ha realizado varias investigaciones para definir la correspondencia entre los dos métodos; Burneo, (2012), Mendoza, (2013) y Loaiza, (2013); en suelos de la provincia de Loja desarrollados sobre granodiorita; Tandazo, (2019), Zambrano, (2019), Rogel, (2021), Zhunaula, (2016) y Aguirre, (2009) en la provincia de Loja, finalmente señalan que no existe una correspondencia total entre los métodos para los elementos de N, P, K, S, Mg y B.

Objetivo general

Contribuir al incremento de la producción de café mediante un plan de fertilización para el cultivo de café en el Centro Binacional de formación Técnica Zapotepamba.

Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades químicas del suelo del sistema agroforestal con café en el Centro Binacional de formación Técnica Zapotepamba.
- Determinar los nutrientes disponibles mediante la técnica del elemento faltante.
- Proponer un plan de fertilización para el cultivo de café en el centro Binacional de formación Técnica Zapotepamba.

4. Marco Teórico

4.1. Material parental

El material parental o regolita, en ciencia del suelo significa el material geológico inalterado (generalmente roca madre o de un depósito superficial o arrastrado) en donde se irán formando los horizontes del suelo. Los materiales parentales del suelo pueden provenir de las rocas de la corteza terrestre, inicialmente se tiene un magma, es decir, un material fundido en el cual están presentes los elementos que luego van a formar los diferentes minerales que harán parte fundamental de las rocas ígneas. Una vez formadas las rocas ígneas, son sometidas a dos procesos fundamentales: erosión y metamorfismo (altas presiones y temperaturas), con la erosión se llegan a producir depósitos de sedimentos y con el metamorfismo se forman las rocas metamórficas (More, 2011).

4.2. Descripción de calicatas

Las calicatas o catas son una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico, estudios edafológicos o pedológicos de un terreno. Son excavaciones de profundidad pequeña a media.

La calicata es el único medio disponible que realmente permite ver y examinar un perfil de suelo en su estado natural. Puede excavar a mano o con equipos especiales, como una excavadora de zanjas (Crespo, 2016).

4.2.1. Descripción de los horizontes

Horizonte Oí: residuos orgánicos sueltos y ordinariamente poco descompuestos, ausente en terrenos de pastos, pero presentes en suelos de bosques, sobre todo en regiones templadas.

Horizonte A: horizonte mineral de color oscuro, variable en espesor con una proporción relativamente grande de materia orgánica íntimamente mezclada con materia inorgánica, con exceso de raíces, insectos y gusanos.

Horizonte Ae: materia orgánica en descomposición media.

Horizonte B: zona de acumulación (iluviación), formada especialmente por arcillas y compuestos de hierro y aluminio.

Horizonte Bh: acumulación eluvial de materia orgánica (Sorto, 2012).

4.3. Nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal

La actividad de las plantas depende de la energía solar, el oxígeno, el agua, el dióxido de carbono y los nutrientes. La concentración de los nutrientes disponibles para el crecimiento de las plantas depende de la naturaleza química del suelo, de la descomposición de la materia orgánica y del aporte de los fertilizantes a través del agua (Calle, 2008).

Dieciséis elementos son considerados nutrientes esenciales para las plantas. Estos son carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe.), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (Sela, 2019).

Carbono (C). Pérez, (2021) señala que el carbono se utiliza como sustrato en la fotosíntesis y puede influir, de una manera diferente, en las plantas con metabolismo fotosintético C3 y C4, la diferencia está relacionada con la fijación de carbono durante la fotosíntesis; la fotosíntesis es un proceso de transformación de la energía luminosa en energía química, a través de la luz solar y la fijación de carbono de la atmósfera, que consta de dos fases. La fase clara o fase fotoquímica tiene como objetivo transformar la energía luminosa en energía química, la fase oscura o fase química, no depende directamente de la luz y existe la producción de carbohidratos a partir de la fijación de CO₂.

Ostria, (2019) complementa, la importancia de capturar Carbono, particularmente el CO₂ es poder incorporar el Carbono inorgánico (CO₂) y transformarlo en una forma orgánica, que pueda ser utilizado por los seres vivos. Quienes se encargan de esta tarea son las plantas asimilando el CO₂ en forma de carbohidratos (sacarosa, fructosa, almidón). Así, las plantas utilizan el Carbono asimilado para crecer o destinarlo a reserva, y a su vez, son los que proveen de carbono al resto de la cadena alimenticia.

Oxígeno (O). López, (2022) menciona el proceso de respiración en las plantas consiste en usar los azúcares producidos en la fotosíntesis, además del oxígeno, para producir energía que es utilizada para el crecimiento de la planta, las plantas usan el dióxido de carbono (CO₂) del ambiente para producir azúcares y oxígeno (O₂), que se pueden utilizar como fuente de energía más adelante. Si bien la fotosíntesis ocurre solo en las hojas y los tallos, la respiración ocurre en las hojas, los tallos y las raíces de la planta.

Al igual que con la fotosíntesis, las plantas obtienen el oxígeno del aire, a través de las estomas. La respiración se realiza en la mitocondria de la célula; a la respiración que se hace

en presencia de oxígeno se le conoce como "respiración aeróbica". En las plantas, hay dos tipos de respiración: la respiración oscura y la fotorrespiración. La primera puede ocurrir en presencia o ausencia de luz, mientras que la segunda ocurre únicamente en la presencia de luz.

Moreno, (2021) complementa la disponibilidad de oxígeno a nivel radical es fundamental para el desarrollo óptimo de las plantas, ya que se requiere en diferentes procesos metabólicos prioritarios como: el metabolismo de carbohidratos, la reducción de nitratos, la fijación simbiótica de nitrógeno, la renovación de proteínas, el mantenimiento del gradiente de protones y la absorción de nutrientes por las raíces, con efectos inmediatos sobre el crecimiento radical y el vástago, lo que repercute en el desarrollo general de la planta.

Nitrógeno (N). Epstein, (2005) indica, que es el componente principal de las sustancias básicas o elementales de las plantas como los aminoácidos, enzimas, hormonas y proteínas. Las plantas absorben activamente el nitrógeno a través de las raíces en forma de nitratos (NO_3) y amonio (NH_4). La absorción foliar del N es maximizada como amoniaco (NH_3), NO_3 y aminoácidos, y en ciertas condiciones en forma de urea líquida. Generalmente el NH_4 es tomado por las raíces en pH neutro y la absorción decae cuando el pH baja. Caso contrario al NO_3 que es absorbido rápidamente en pH ligeramente menor al neutro. La mayor parte del NH_4 absorbido por las plantas es asimilado rápidamente en aminoácidos constituyendo a las proteínas antes de ser transportados a las vacuolas de las hojas. En cambio, el NO_3 es reducido a NH_3 antes de ser utilizados por las plantas, este proceso se da principalmente en las hojas.

El nitrógeno es uno de los elementos de mayor importancia en el desarrollo para la planta y ayuda en el fruto, dándole una condición de vigor y "frescura" a los cafetos; este elemento que más rápidamente da una mayor y más constante respuesta en la producción de café, a la vez que el nitrógeno es requerido por la planta en una alta cantidad por lo que es necesario devolverlo al suelo por medio del fertilizante; de una manera oportuna y considerable, para lograr un buen desarrollo y producción (Instituto de Investigación del Café, 2006).

Rodríguez & Rodríguez, (2011) manifiestan, las plantas deficientes en N tienen un crecimiento lento, son delgadas y achaparradas; típicamente las plantas son de color verde claro a amarillas en el follaje. El síntoma inicial y más severo de deficiencia de hojas

amarillas se observa en las hojas más viejas, puesto que el N se moviliza del tejido viejo para transportarlo a partes de crecimiento de la planta; a esto se le conoce como translocación. Las plantas deficientes en N maduran antes, lo que ocasiona un reducido rendimiento y calidad.

Fósforo (P). La absorción de este elemento se da principalmente en forma de fosfato monovalente y divalente. Depende de gran medida del pH del suelo o solución nutritiva pues declina rápidamente con el incremento del pH. La absorción del P es también incentivada por la presencia de micorrizas arbusculares (Epstein, 2005).

Sanzano, (2012) menciona las formas solubles del fósforo en el suelo son los fosfatos di ácidos (H_2PO_4^-) y monoácidos (HPO_4^-), la concentración de los iones fosfato en solución está relacionada con el pH. El ion H_2PO_4^- es favorecido por los pH bajos, mientras que el ion HPO_4^- por los pH altos.

Sadeghian, (2008) detalla cuando los contenidos de fósforo en el suelo se encuentren por debajo de su nivel crítico para la etapa de almacigo (30 mg kg^{-1}), se recomienda aplicarlo a los 2, 10 y 18 meses después del trasplante en el campo (P_2O_5 4,5,6 g planta⁻¹ o DAP 9,11,13 g planta⁻¹). Para contenidos de fósforo por encima de 30 mg kg^{-1} no se espera respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfóricos. En el caso de emplear DAP como fuente de fósforo, se podrán ajustar las cantidades de urea; por ejemplo, si la MO es inferior a 8% y el nivel de P no supera los 30 mg kg^{-1} , se podrán aplicar 20 g de una mezcla urea y DAP en proporción 3:2 a los dos meses, 35 g de mezcla en proporción 2:1 a los 10 meses y 45 g de la mezcla en proporción 2:1 a los 18 meses.

Hernandez, (2002) indica las deficiencias de fósforo, se caracteriza por un retardo en el crecimiento, las raíces se desarrollan poco y se produce enanismo en hojas y tallos. Puesto que el P es móvil en la planta, el síntoma de deficiencia ocurre en los tejidos más viejos.

Potasio (K). El potasio es el catión más abundante en el citoplasma, las plantas requieren potasio para desarrollar su máxima actividad catalizadora, favorece no solo a la síntesis de glúcidos a partir de monosacáridos, sino también sus movimientos en la planta. El enzima sacarosa sintetasa, que cataliza la síntesis de sacarosa, es activada por K^+ , el pH es un factor importante en la fijación del potasio a mayor pH más disponibilidad del nutriente en la planta (García & García, 2013).

Sadeghian, (2003) menciona en esta etapa la demanda del potasio es relativamente baja, pero se incrementa con la primera floración y el llenado de frutos. Cuando los

contenidos de este elemento en el suelo se encuentran por debajo de 0,40 cmol (+) / kg, se debe incluir en los planes de fertilización a los 18 meses (Sadeghian, S, 2003).

Padilla, (2007) expone los síntomas de deficiencia se manifiestan primeramente a través de un amarillamiento de los ápices y márgenes foliares adultos, continuando luego hacia el centro o base de la hoja. Los límites entre las áreas necróticas y el tejido foliar son nítidos. Como consecuencia de este deterioro disminuye la actividad fotosintética y se detiene la síntesis del almidón; en ciertos casos, las hojas presentan una curvatura hacia abajo y un moteamiento blanco amarillento.

Calcio (Ca). Es absorbido por las plantas fundamentalmente bajo la forma de Ca^{++} , después del potasio es el elemento básico más abundante que existe en la planta. Este elemento puede actuar en las plantas 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).

Hernandez, (2002) manifiesta la deficiencia de calcio está generalmente asociada a condiciones de acidez del suelo y muchas veces es difícil diferenciar una de la otra. Las deficiencias de calcio parecen tener dos efectos en la planta: causan una atrofia del sistema radical y le dan una apariencia característica a la hoja. Las hojas se muestran cloróticas, enrolladas y rizadas. Se presentan raíces pobremente desarrolladas, carentes de fibras y pueden tener apariencia gelatinosa. Los síntomas se observan cerca de los ápices de crecimiento de raíces y tallos.

Azufre (S). El azufre forma parte de los aminoácidos azufrados (cistina y metionina) que se encuentran en las proteínas, también, forma parte de las componentes de las enzimas. Las plantas toman el azufre como anión sulfato SO_4^{2-} . El suelo contiene una cantidad total de azufre muy variable, entre 0,1-0,8%. Son los suelos arenosos los que tienen más bajo contenido, y los ricos en materia orgánica los que contienen más. La cantidad de azufre en forma asimilable depende, sobre todo, de la riqueza en humus y de la actividad biológica de los suelos (Guerrero, 2000).

El azufre elemental causa una acidificación del suelo, en el caso de suelos muy calcáreos (valor del pH > 7), en cambio, el ácido sulfúrico producido durante el proceso se fija inmediatamente por medio de la cal, formando yeso.

Hernandez, (2002) expone la deficiencia se caracteriza porque la lámina foliar se torna uniformemente amarilla o clorótica, presentándose la deficiencia primeramente en hojas jóvenes, ya que este elemento no se redistribuye fácilmente de las hojas viejas hacia las maduras, por ser inmóvil. Debido a que los suelos tienen suficientes cantidades de sulfatos, las deficiencias de S en la naturaleza son raras.

Magnesio (Mg). Guerrero, (2000) manifiesta el magnesio se encuentra en la clorofila, de la que depende la actividad fotosintética de la planta. Participa en la formación y acumulación de reservas de hidratos de carbono y azúcares. El magnesio es absorbido por las plantas como catión Mg^{++} , lo cual se verifica ampliamente en la solución del suelo y posiblemente en una menor extensión por el proceso de intercambio de contacto. El suelo contiene en general grandes cantidades de magnesio, aunque en forma muy poco soluble por lo que lo importante es el contenido de magnesio en el suelo en la forma cambiante o asimilable.

La absorción de Mg por parte de la planta es influenciada negativamente por una relación K:Mg- y Ca:Mg alta, así como un bajo valor de pH de los suelos. De esta forma, a pesar del suelo tener un alto contenido de Mg, puede aparecer una deficiencia de magnesio latente o aguda para las plantas.

Khalajabadi, (2017) expone si no hay necesidad de encalar, para el cultivo de café se deberá recurrir al uso de fertilizantes que contengan este nutriente; en este caso se podrán aplicar dosis equivalentes a 2 o 3 g planta⁻¹ de magnesio (MgO), a los 18 meses después de la siembra. Entre los fertilizantes magnésicos se encuentra la Kieserita, fuente sulfatada de alta solubilidad con 25% de MgO y 20% de azufre (S), que no altera la acidez del suelo, y que por su granulometría se puede mezclar con la urea, DAP o KCl.

Los síntomas de deficiencia de magnesio se muestran como un amarillamiento de las hojas o una clorosis que se inicia en las hojas viejas (el magnesio es móvil en la planta). Cuando la deficiencia es mayor, los síntomas aparecen en hojas jóvenes, y si la deficiencia es severa se desarrolla una necrosis (Rodríguez & Rodríguez, 2011).

Manganeso (Mn). El manganeso (Mn) interviene en el desarrollo de la clorofila y en los sistemas enzimáticos vegetales. En el suelo, el manganeso se lava de los suelos ácidos bien drenados porque la oxidación y la acidez aumentan la solubilidad. El manganeso disuelto se desplaza hacia posiciones más húmedas o más alcalinas, donde precipita en

partículas pequeñas, endurecidas y de color oscuro llamadas nódulos o concreciones (Herrera, 2007).

Es clasificado como micronutriente a pesar de que las plantas lo requieren en cantidades significativas mayores al Cu y Zn. Es absorbido de manera activa por las plantas y su óptima absorción se da en pH de 4,5 a 5,5 (Epstein, 2005).

Según Fitz, (2011), la deficiencia de manganeso se presenta en forma parecida a la del hierro, pero la clorosis es más marcada; se manifiesta por pérdida del color verde en la totalidad del área entre las nervaduras. Un pH alto y un buen drenaje pueden causar deficiencias que se neutralizan mediante la aspersion del cultivo con una solución de sulfato de manganeso.

Zinc (Zn). Iñiguez, (2010) el zinc es absorbido por las raíces de las plantas como catión Zn^{++} y puede ser también tomado bajo la forma de un complejo molecular de agentes queláticos tales como DTPA.

Este nutriente es absorbido por las plantas de manera activa en forma de catión divalente Zn^{2+} en pH altos y también puede ser absorbido como catión monovalente $ZnOH^+$.

Las carencias de Zinc suelen ser inducidas por un exceso de cal o por una riqueza elevada en P_2O_5 (antagonismo de iones) (Guerrero, 2000). Las hojas viejas presentan color verde, mientras que las hojas jóvenes empiezan a amarillar si el caso de carencia es fuerte el amarillento es total, aparecen zonas necróticas en los bordes del limbo, produciéndose una caída precoz de las hojas y finalmente la defoliación total (Iñiguez, 2010).

Boro (B). Alcantar, (2008) expone el boro es absorbido por las plantas casi en su totalidad como H_3BO_3 o $B [OH]_3$ sin disociar a pH cercano a 7. A valores de pH mayores el H_3BO_3 acepta iones hidroxilo del agua y forma un anión borato tetraédrico. El B debe considerarse como un elemento formativo de las estructuras vegetales, bajo cuya falta no transcurre normalmente la ordenación y el desarrollo completo de varios tejidos. La diferenciación de las células es también restringida por un abastecimiento insuficiente de boro.

Los suelos costeros contienen entre 10 a 50 veces más boro que los suelos del interior. A medida que el pH se hace más ácido los procesos de adsorción disminuyen, aumentando la disponibilidad de B (Hernandez, 2002).

FAGRO, (2010), manifiesta que las deficiencias serias de Boro impiden el crecimiento de brotes. Inicialmente existe un cambio de pigmentación en hojas jóvenes y se acumulan pigmentos púrpuras alrededor de los márgenes, provocando finalmente una clorosis.

Hierro (Fe). Iñiguez, (2010) expone el hierro es absorbido por las raíces de las plantas en forma iónica Fe^{++} y como sales orgánicas complejas. También es absorbido por las hojas cuando se aplican pulverizaciones foliares de sulfato de hierro y moléculas orgánicas de hierro, llamados quelatos.

García & García, (2013), manifiestan que, aunque la deficiencia puede tener lugar tanto en suelos ácidos como alcalinos, es quizás mucho más común en los calizos, como consecuencia de una clorosis inducida por la cal. Además de un elevado pH disminuye la disponibilidad de hierro, fuertes concentraciones de calcio en la disolución del suelo pueden no solo disminuir la absorción de hierro en estos suelos, sino que existen pruebas también de la falta de actividad del hierro en el interior de la planta debido a la abundancia de calcio y fósforo.

Cobre (Cu). La mayor parte de las funciones de cobre como nutrimento de las plantas se basan en la participación de cobre enzimáticamente fijado en las reacciones redox, en las que los enzimas de cobre reaccionan directamente con el oxígeno molecular. La oxidación en células vivas, por tanto, es catalizada por el cobre y no por el hierro. 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 construcción, y de los minerales secundarios (García & García, 2013).

Hernandez, (2002), manifiesta que las deficiencias de cobre se detectan en suelos orgánicos ácidos, en suelos derivados de rocas ígneas muy ácidas y en suelos lixiviados de textura gruesa.

Molibdeno (Mo). Sánchez, (2010) comenta el molibdeno es vital para ayudar a las leguminosas a formar sus nódulos, que intervienen en la fijación simbiótica del nitrógeno, además ayuda a convertir las formas inorgánicas de fósforo a formas orgánicas.

El molibdeno es absorbido por la planta como ion molibdato (MoO_4^-), en su máximo estado de oxidación. En el transporte de larga distancia el Mo es relativamente móvil

en la xilema y en el floema. A diferencia de otros micronutrientes el Mo puede ser absorbido en cantidades considerablemente altas, sin que se presenten síntomas de toxicidad para la planta (Alcantar, 2008).

Cuando los suelos son ácidos, el encalado aumenta la disponibilidad de molibdeno, eliminando o reduciendo la severidad de esos desórdenes nutricionales (Hernandez, 2002).

4.4. Propiedades químicas del suelo

Jaramillo, (2002) se refiere al grado de acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo, dado por la proporción de iones de hidrógeno (H^+) y de oxidrilos (OH^-). Químicamente, se define como el logaritmo del inverso de la actividad de iones de hidrógeno (H^+), bajo la forma de hidronio (H_3O^+), presentes en la solución suelo.

pH. El pH revela la concentración de iones H^+ y OH^- . Cuando hay mayor presencia de H^+ , la reacción del suelo es ácida, con pH menor a 7; mientras que con mayor presencia de OH^- , la reacción es alcalina, con pH mayor a 7; si la concentración de ambos iones está en proporciones iguales, la reacción es neutra, y el pH es igual a 7. (Liu, 2012) La escala del pH va de 0 a 14 a 25 °C; no obstante, el rango de pH en los suelos en condiciones naturales no alcanza los valores extremos, sino que varía entre 3,5 a 9,0 (MINAG, 2011).

Capacidad de intercambio catiónico. Toledo, (2016) expone una medida del nivel de fertilidad de los suelos de gran importancia es la capacidad de intercambio catiónico, denominado por sus iniciales como CIC, indica la capacidad de un suelo de almacenar en sus coloides, nutrientes de carga positiva o cationes o, dicho de otro modo, nos da la cantidad de cargas negativas del suelo. Los suelos que presentan una alta CIC son más fértiles que los de baja CIC. En suelos con una baja CIC, los espacios donde pueden adherirse los nutrientes son reducidos, por lo que muchos de ellos quedan en la solución del suelo expuestos a ser lavados por el agua de riego o lluvias.

Materia orgánica. Está representada por los residuos descompuestos de plantas y animales. La pulpa de café descompuesta aporta materia orgánica a los suelos. La materia orgánica tiene mucha importancia para obtener una alta productividad del cultivo. Influye en forma decisiva en el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo, favorece la retención de humedad y es el principal sustrato para el desarrollo de pequeños organismos que la transforman en una gran fuente de alimento para el cafeto. Los suelos buenos para cultivar café deben tener contenidos de materia orgánica mayores al 8% (InfoAgro, s. f.).

Conductividad eléctrica. Aguirre, (2009) manifiesta la conductividad eléctrica, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica, el agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo, el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad.

La conductividad eléctrica es el parámetro más extendido y ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad, se basa en la velocidad con la que la corriente atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución, se expresa en dS/m.

4.5. 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 o desarrollo del cultivo). En este sentido se evalúa la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través de análisis de suelos o plantas mediante un proceso de diagnóstico y posteriormente se definen estrategias de fertilización (Huerta, 2010).

Alcantar, (2008) expone el diagnóstico de los aspectos químicos de la fertilidad se ocupa de recabar información del potencial que posee un suelo para abastecer en tiempo y forma química aprovechable de nutrientes que requiere un cultivo, el diagnóstico de la fertilidad del suelo permite identificar problemas de carácter nutrimental, así como no nutrimentales, que pudiesen afectar el crecimiento y desarrollo de un cultivo. No debe olvidarse que los problemas nutrimentales son sólo una parte del conjunto de factores que el técnico y el productor deben mantener bajo control, si se aspira a obtener rendimientos máximos de un cultivo.

Fertilidad actual y potencial. Iñiguez, (2010) la fertilidad actual del suelo, es una de las principales herramientas para la planificación agrícola el cual representa el análisis químico del suelo para diagnosticar las condiciones de los macros y micro nutrientes. De lo señalado se desprende que el análisis del suelo permite apreciar las características potenciales de fertilidad natural para dar la respectiva recomendación de fertilización.

Casanova, (2005) manifiesta la fertilidad es el potencial que un suelo tiene para suplir los elementos nutritivos en las formas, cantidades y proporciones requeridas para lograr un

buen crecimiento y rendimiento de las plantas. Esa disponibilidad de los elementos nutritivos por el sistema radical puede ser inmediata, constituyendo la fertilidad activa y representada por los nutrientes en forma soluble de fácil absorción por las raíces. Otros elementos nutritivos que no son de inmediata utilización por las plantas, como los que forman parte de los minerales primarios y secundarios y algunas combinaciones orgánicas, representan la fertilidad potencial de un suelo. La producción de cultivos depende de muchos casos de la transformación de las formas potenciales a las formas activas (fertilidad actual). Además, la disponibilidad de nutrientes para las plantas puede ser aumentada al añadir fertilizantes al suelo, los cuales poseen uno o más de los elementos esenciales para el crecimiento y rendimiento de las plantas.

Métodos directos para el análisis químico de la fertilidad del suelo

La determinación es aquella parte del proceso de laboratorio que implica la cuantificación de los nutrimentos que fueron extraídos por la solución extractora. Los fundamentos químicos de los métodos de determinación utilizados en los laboratorios de suelos para los diferentes elementos, son principalmente la colorimetría y la espectrofotometría de absorción atómica. La colorimetría es una técnica para determinar la concentración de un componente de acuerdo a la intensidad de color de la solución. Generalmente, se agrega una sustancia a la muestra que origina un color cuando se combina con el componente de interés. Por lo general, la combinación es química y, por lo tanto, el desarrollo del color requiere de cierto tiempo y muchas veces el color desarrollado es inestable, por lo que, en algunos análisis colorimétricos, el tiempo es muy importante para obtener resultados exactos y consistentes (CAFESA, 1995).

Solución extractora Mehlich I. La solución extractora está compuesta por: ácido clorhídrico 0,05 N, ácido sulfúrico 0,0125 N. Esta solución fue propuesta en 1953 por Nelson et. al. También conocida como Carolina del Norte. Extrae la mayoría de los nutrimentos necesarios para evaluar el estado de fertilidad de un suelo, aunque esta no fue efectiva en suelos alcalino. (Tandazo, 2019)

Solución extractora Mehlich III. Esta solución extractora está compuesta de ácido acético 0.2 N, nitrato de amonio 0.25 N, fluoruro de amonio 0.015 N, ácido nítrico 0.013 N y EDTA 0.001 M. regulada a pH 2.5 y puede ser utilizada para la extracción de macro y micronutrientes, siendo una ventaja sobre las demás soluciones extractoras. (Ramos, 2003)

Solución extractora Bray I. La solución Bray I contiene HCl 0.025 N y NH_4F 0.03 N. El HCl lleva parte del fósforo a la solución; el NH_4F induce a la formación de iones complejos con el hierro y el aluminio soluble, impidiendo que el fósforo sea precipitado de nuevo. El fósforo extraído por la solución Bray I presenta una buena correlación con la respuesta de los cultivos en la mayoría de los suelos jóvenes, sean ácidos o alcalinos. Una solución extractora más energética, como Bray II (HCl 0.1N + NH_4F 0.03N) da buenos resultados en suelos antiguos y ácidos, pero en suelos calizos o que han recibido aplicaciones de fosfatos minerales, proporciona estimaciones demasiado elevadas. Una solución alcalina que contenga Na_2CO_3 o K_2CO_3 es más efectiva para extraer el fósforo disponible de suelos alcalinos (Thompson & Troeh, 2001).

Solución extractora Olsen Modificado. La solución está compuesta de 0,5 N de bicarbonato de sodio (NaHCO_3), 0,01M EDTA con 0,5 g de superfloc 127 para preparar 10 litros de solución, es apropiado para suelos de origen volcánico; además, representa un método para extracción de macronutrientes como: P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes como: Zn, Cu, Fe y Mn. La determinación de los elementos metálicos se los realiza haciendo las lecturas directamente del filtrado original en el espectrofotómetro de absorción atómica con la lámpara correspondiente al elemento (RELASE, 2016).

4.6. Utilización de la solución Olsen Modificado en Ecuador

Padilla, (2013) recalca los estudios de correlación realizados en Ecuador, hasta el momento, han demostrado que la solución extractora de Olsen modificada, compuesta por bicarbonato de sodio, EDTA y un floculador, ajustada a pH de 8,5 con NaOH 10 N, ha alcanzado grados altos de correlación con las respuestas de las plantas, en los diferentes elementos que son analizados en el extracto de suelo. Se utiliza la solución extractora que luego de muchos años de estudio e investigación en el país, ha sido determinada como la más idónea para la determinación de los diferentes elementos nutritivos, que por su origen poseen características muy especiales.

Esta solución extrae la cantidad de nutrientes de una manera similar a la que harían las raíces de las plantas en un medio-ambiente equilibrado. Este extractante ha sido evaluado por medio de estudios de correlación entre la cantidad de nutrientes absorbidos y la cantidad de nutriente extraído del suelo por varios cultivos.

Red de laboratorios de suelos en Ecuador: Según Carrera, (2010), la Red de Laboratorios del Ecuador (RELASE), inicio sus actividades el 20 de octubre del 2011, con el

apoyo de la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Participando cada dos años en los congresos de las ciencias del suelo con simposios de laboratorios. En un inicio, se detectó mediante la comparación de los resultados de análisis de suelo y plantas la disparidad entre los laboratorios participantes. Con esta premisa se planteó un proceso de ajuste de metodologías e intercomparaciones con la finalidad de obtener datos homogéneos, confiables y procesados mediante las mismas metodologías.

Consecuentemente la Red Ecuatoriana de Laboratorios de Suelos del Ecuador (RELASE), se organizó con la finalidad de estandarizar metodologías e intercomparar resultados de análisis de suelos entre los laboratorios participantes.

Aucatoma, (2017), manifiesta que la Red de Laboratorios de Análisis de Suelos del Ecuador (RELASE) cumple con la función de comparar 10 parámetros en la matriz suelo y 9 parámetros en la matriz tejido vegetal en 15 laboratorios particulares y estatales del país.

Evaluación biológica de la fertilidad del suelo

Rodríguez & Rodríguez, (2011), manifiesta que la técnica de evaluación biológica involucra el uso de ciertos procedimientos analíticos e interpretaciones para el estado de los distintos nutrimentos a fin de corregirlo, además para demostrar mediante procedimientos usados en el invernadero la efectividad en 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 17 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. Debe reconocerse también que esta técnica concierne a los requisitos biológicos implicados en el buen desarrollo de las plantas y que no toma en consideración los factores económicos.

Como plantas indicadoras se utilizan tomate y generalmente poáceas como el arroz, el sorgo y pastos, las semillas se seleccionaron en base a la uniformidad, forma y tamaño, así como de su poder germinativo. Las plantas de tomate se comportan como mejores indicadores del estado de la fertilidad de los suelos, pues sus síntomas son más notorios y más fáciles de identificar. El tomate es una planta que responde con relativa prontitud a las deficiencias de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, B, es fácil evaluar su producción (rendimiento en peso seco). Las características del arroz no son iguales a las del tomate, pero sin embargo es una buena planta indicadora de las deficiencias de N, P y K (Rodríguez & Rodríguez, 2011).

4.7. Fertilización de cafetales

Cenicafe, (2014) expone una de las prácticas que contribuye con un óptimo crecimiento y al logro del máximo potencial productivo en el cultivo del café, es la fertilización. Esta labor puede realizarse mediante un plan ajustado a los resultados de los análisis de suelos o a través de un plan de abonamiento general. Cualquiera que sea la alternativa seleccionada, el éxito de la misma depende en buena medida de la oportunidad y la pertinencia con la que se lleve a cabo, aspecto que involucra los otros componentes que interactúan en el aprovechamiento de los nutrientes por el cultivo, como son el tipo de suelo, la edad de la planta, el estado de desarrollo del cultivo, así como la disponibilidad de agua en el suelo y de radiación sola.

Requerimiento de los nutrientes. La cantidad de fertilizantes y las fuentes de macro y micronutrientes a ser aplicados en lo cafetales se determinan en función de los análisis del suelo, en cafetales en crecimiento, hasta los 18 meses de edad en el campo, se aplica la mitad de la dosis recomendada para cafetales en producción, en la Tabla 1, se indican los requerimientos de macro y micro nutrientes, de acuerdo a la interpretación del análisis químico del suelo alto, medio y bajo (Tandazo, 2019).

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

Autores	I	N	P	K	S	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
Enríquez y Duicela, 2014		200	60	150	150	340	15	3	3	3	1.5	10
COFENAC y Dublinsa, 2012	B	300	60	150	150	340	15	3	-	3	1.5	3
Valarezo, 2014		100	60	100	5	-	80	-	-	-	-	-
Enríquez y Duicela, 2014		100	40	50	50	150	10	1.5	1.5	1.5	0.75	5
COFENAC y Dublinsa, 2012		200	40	220	50	150	10	1.5	-	1.5	0.8	1.5
Iñiguez, 2007	M	208	57	10	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		50	30	50	3	-	60	-	-	-	-	-
Enríquez y Duicela, 2014		50	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0
COFENAC y Dublinsa, 2012		100	20	20	0	0	0	0	-	0	0	0
Iñiguez, 2007	A	130	40	140	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		25	15	25	0	-	20	-	-	-	-	-

B=bajo; **M**= medio; **A**=Alto

Fuente: (Tandazo, 2019)

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

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

Relaciones entre cationes	Rangos óptimos (cmol kg ⁻¹)	Nivel crítico (cmol kg ⁻¹)	Recomendación
Ca Mg ⁻¹	2.6 - 8.0	Si < 2.6 Si > 8.0	Agregar calcio Agregar magnesio
Mg K ⁻¹	7.5 - 15.0	Si < 7.5 Si > 15.0	Agregar magnesio Agregar potasio
(Ca+Mg) K ⁻¹	27.5 - 55.0	Si < 27.5 Si > 55.0	Agregar calcio y magnesio Agregar potasio

Fuente: (Enríquez y Duicela, 2014)

4.8. Trabajos relacionados

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), realizó el experimento de la evaluación biológica que se estableció bajo un invernadero del sitio Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja, donde se investigó la fertilidad de doce tratamientos de suelo desarrollado sobre arenisca cuarzosa en el 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 fósforo 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 $-0,59$.

Tandazo, (2019) evaluó la fertilidad del suelo proveniente del Cantón Chaguarpamba; desarrollado sobre el SAF de café de Chaguarpamba; empleo como planta indicadora tomate (*solanum lycopersium*). en esta investigación concluyó que el N, P, S, Zn, B, y Fe no presento correspondencia en la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico. Así mismo basado en todos estos resultados ha realizado una propuesta de aplicación de nutrientes para los cafetales en crecimiento con las siguientes dosis: N:100; P:60; K:150; Mg:60; S:25; Zn :3; B:5; kg ha^{-1} .

Así mismo realizo la evaluación Biológica en el Sector Lozumbe obteniendo resultados similares al sector anterior en el cual el N, K, P y S resultaron ser los elementos más deficientes, concluyendo que el N, P, S, Mg, S, y B no presento correspondencia entre la evaluación biológica con la concentración del nutriente en el análisis químico.

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

Rogel, (2021) realizo la evaluación biológica en el suelo del sector Cucunamá alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba en el cual la evaluación biológica indico que el N, P, S, K resultaron ser los elementos más deficientes. El N, P, K, Mg, S, Cu, y B no presento correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico. Además, propone una aplicación de nutrientes para cafetales en producción de N:100; P:60; K:100; S:75; Zn:3; B:5; Cu:1.5; Mg:30; kg ha^{-1} .

5. Metodología

5.1. Ubicación del área de estudio

El proyecto de investigación se lo llevo a efecto en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFTZ), que se en la parroquia Casanga del cantón Paltas de la provincia de Loja. Se puede acceder al sitio de estudio por vía terrestre de primer orden en un tiempo de 20 minutos desde la ciudad de Catacocha.

5.1.1. Ubicación geográfica

El centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba, geográficamente se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas plana:

Este: 635350 m

Norte: 95530000 m

Altitud: 935 m.s.n.m

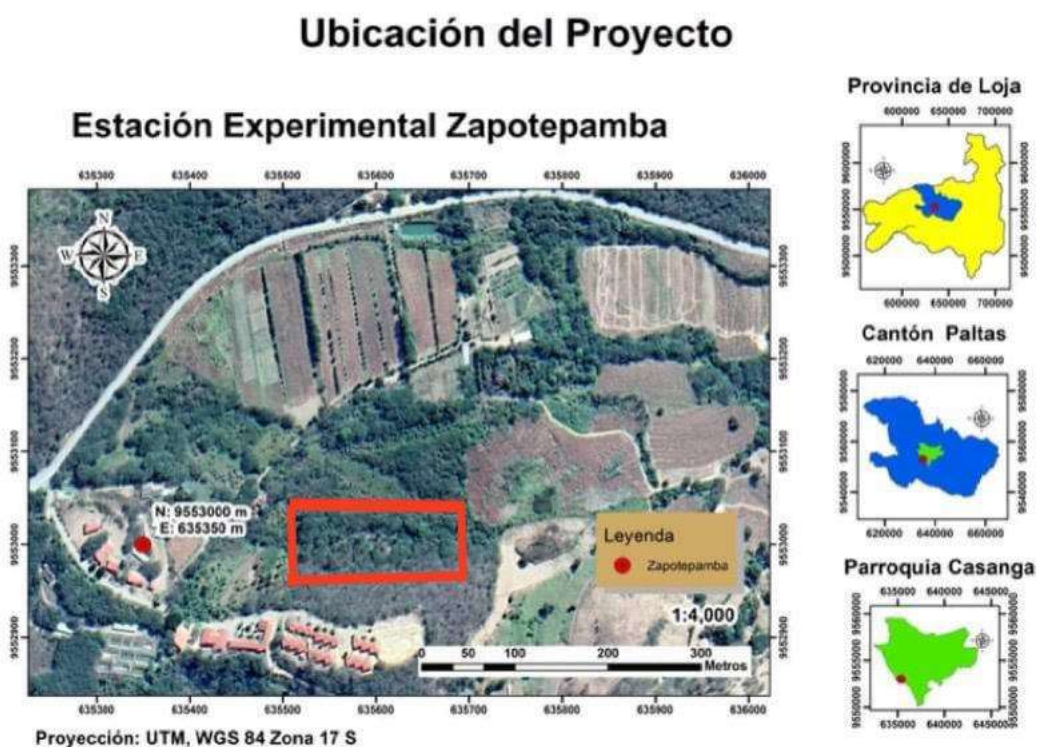


Figura 1. Ubicación de la estación experimental Zapotepamba

Fuente: Autor

5.1.2. Aspectos climáticos

Los registros de los parámetros del clima para el sector de Zapotepamba, indica que la temperatura media anual es de 23,5 °C y la precipitación promedia anual es de 612,2 mm. El 93,5 % de la cual se concentra en los meses de febrero a mayo, siendo marzo el mes más lluvioso (336 mm) (Picoita, 2021).

5.1.3. Localización del ensayo de evaluación biológica

El ensayo se instaló con las muestras del sector de estudio, en el invernadero ubicado en el herbario de la Universidad Nacional de Loja, la misma que se encuentra ubicada a 3 km del sur de la ciudad de Loja, en las coordenadas planas 9554004.92 m N, 699868.76 m E, a una altitud de 2139 m.s.n.m.

5.2. Materiales y equipos

108 tarrinas de plástico de 700 ml, 108 vasos plásticos de 250 ml, semillas de tomate de riñón, fundas de papel, recipientes plásticos de 20 l y 6 l, barreno, bidones, tejido nylon, muestras de suelo, probetas de 500 y 1000 ml, GPS, balanza de precisión 0.1 g, estufa.

5.3. Metodología para el primer objetivo

5.3.1. Material parental

De cada una de las calicatas se tomó muestras de rocas, para luego llevarlas a ser analizadas y clasificadas en el laboratorio de rocas del área de energía; y también se utilizó la carta geológica de Cariamanga.

5.3.2. Descripción de calicatas

En cada bloque se realizó una calicata de 1,20 m de profundidad y 1,20 de ancho, se describió cada uno de los perfiles del suelo, con base a las normas contenidas en la “Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de Suelos” FAO. La designación de los horizontes y capas se realizó siguiendo la nomenclatura contenida en el USDA Soil Taxonomy (2014).

5.3.3. Análisis químicos

Para la determinación de pH se utilizó el método del potenciómetro relación 1:2.5 suelo-agua; para la materia orgánica walkley y black; capacidad de intercambio catiónico acetato de amonio a pH 7.0; conductividad eléctrica por el conductímetro y los nutrientes

disponibles N y P espectro fotómetro UV visible; K, Mg, Ca, S, Cu, Mn, Fe y B espectro fotometría utilizando el extractante de Olsen modificado.

5.4. Metodología para el segundo objetivo

5.4.1. Diseño de la investigación

Se utilizo un diseño completamente al azar, con 3 repeticiones, se realizó 12 tratamientos con un total de 36 unidades experimentales.

5.4.2. Evaluación biológica de la fertilidad actual del suelo

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

Tabla 3. *Soluciones nutritivas*

Tratamientos (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	(T)

Fuente: *Autor*

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

5.4.3. Preparación de las soluciones nutritivas

En la Tablas 4 y 5 se indican los tipos de sales y las cantidades para la preparación de las soluciones madres (1N) de los macros y micro elementos (Anexo 2).

Tabla 4. *Tipos de sales para preparar la solución madre de macro elementos*

Sales	Peso molecular (g)	Cantidad para 1 L Sol 1 N
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

Fuente: (Tandazo, 2019)**Tabla 5.** *Concentración de la solución madre y cantidades micro elementos*

Sales	gr/l	ppm solución madre	ml/l	ppm solución nutritiva
MnCl ₂ .4H ₂ O	1.81	500	1	0.5
H ₃ PO ₃	2.86	500	1	0.5
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.22	50	1	0.05
CuSO ₄ .5H ₂ O	0.16	40	1	0.04
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0.04	20	1	0.02
NaFe.EDTA	32.75	500	1	5

Fuente: (Tandazo, 2019)

Después de la preparación de las soluciones madre en la Tabla 6, se representan los volúmenes de las soluciones madre en ml para preparar 1 L de las soluciones nutritivas.

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

Solución stock	Mililitros de solución madre que se debe adicionar										
	Sc	(-N)	(-P)	(-K)	(-Mg)	(-S)	(-Zn)	(-Cu)	(-Mn)	(-B)	(-Fe)
Ca (NO 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	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 ₃ O ₂₄ .4H ₂ O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: (Tandazo, 2019)

5.4.4. *Preparación de las muestras de suelo*

Una vez que fueron recolectadas las muestras se las seco a capacidad de campo bajo sombra del invernadero y se desmenuzo los terrones grandes (Anexo 3).

5.4.5. *Preparación de los recipientes*

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

En las tapas de las tarrinas (700ml), se hizo un recorte en forma circular del tamaño del diámetro de los vasos que contienen el suelo, el fondo del vaso tiene que estar en contacto con la solución nutritiva (Anexo 4).

5.4.6. *Instalación del experimento*

Se etiqueto cada tarrina, luego se las dividió por bloques y se añadió 600 ml de cada solución nutritiva como: solución nutritiva completa, la misma que contiene todos los macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B y Cu); solución nutritiva menos nitrógeno, contiene macros y micro elementos (P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos fósforo, contiene macros y micro elementos (N, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos potasio, contiene macros y micro elementos (N, P, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos magnesio, contiene macros y micro elementos (N, P, K, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos azufre, contiene macros y micro elementos (N, P, K, Mg, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos hierro, contiene macros y micro elementos (N,P, K, Mg, S, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos manganeso, contiene macros y microelementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos zinc, contiene macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, B, Cu); solución nutritiva menos boro, contiene macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu); solución nutritiva menos cobre, contiene macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B);

luego se colocó la tapa perforada y se introdujo el vaso plástico que contiene los 200 g de suelo, este debe estar en contacto con la solución nutritiva a una profundidad de 0.5 cm.

5.4.7. *Siembra y raleo de la planta indicadora*

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

5.4.8. *Reposición de la solución nutritiva*

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

5.4.9. *Registro de crecimiento y peso seco de la planta*

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

5.4.10. *Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico*

- Se hizo un promedio de las 3 repeticiones para realizar el cálculo de cada uno de los elementos del sector de estudio
- Para el cálculo de cada nutriente que contiene la solución nutritiva se procedió de la siguiente manera: se consideró las sales minerales utilizadas en la investigación (Tabla 4 y 5), la cantidad de meq/L de las sales para preparar las soluciones nutritivas (Tabla 6), equivalente químico (Anexo 10), y la concentración de cada sal (Anexo 11).
- Mediante relaciones se calculó la cantidad de nutrientes o requerimiento del cultivo de tomate para el periodo de 60 días, para cada una de las 11 soluciones nutritivas (Anexo 12).
- Se realizó el cálculo de cada uno de los tratamientos con una regla de tres tomando los valores de la biomasa seca de la solución completa y la biomasa seca de cada elemento (Anexo 5).
- En la evaluación biológica uno de los indicadores es el peso de la biomasa seca (%) y con el valor se determina su interpretación en base de la tabla 7.
- Se realizó la correspondencia entre la interpretación del análisis químico y la interpretación de la evaluación biológica, en Excel donde la variable independiente

son los tratamientos y la variable dependiente son las interpretaciones de la evaluación biológica y la evaluación química (Anexo 6).

- Para la realización del gráfico de la correspondencia en la hoja electrónica se asignó una escala de bajo, medio y alto; con valores de 10 = bajo, 50 = medio, 100 = alto (Tandazo, 2019). Estos valores se asignan con el fin de ver la diferencia en el gráfico de la correspondencia ya que únicamente se utilizó las interpretaciones.

Tabla 7. *Interpretación de valores de altura y biomasa de la planta*

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

Fuente: (Villamagua, 2020)

5.4.11. Difusión de resultados

Luego de los 60 días después de la germinación de las plantas se realizó una difusión de los resultados en una salida de campo con presencia del director y alumnos de la carrera de ingeniería agrícola (Anexo 8 y 9).

5.5. Metodología para el tercer objetivo

5.5.1. Plan de fertilidad

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

6. Resultados

6.1. Características químicas del suelo de Zapotepamba

6.1.1. *Material parental*

El suelo que se encuentra en esta zona está formado por un depósito aluvio-coluvial procedente de 4 materiales parentales que son: andesitas, roca sedimentaria formada en estratos, rocas metamórficas y cantos rodados, así mismo se encuentra formando parte de la hoja geológica de Cariamanga, formación Piñón la misma que está constituida de andesitas, andesita piroxénicas, brecha e intercalación de sedimentos (Anexo 13).

6.1.2. *Clasificación taxonómica*

El suelo está formado por un epipedon ocrico, un endopedon argílico, con orden Inceptisol, suborden Ustepts, gran grupo Haplustepts, subgrupo Udertic Haplustepts en toda la zona experimental.

6.1.3. *Descripción de paisaje y perfiles de la calicata*

Clasificación taxonómica: Udertic Haplustepts

Ubicación del perfil: 698109 E; 9561008 N; **Altitud:** 909 m.s.n.m; **Drenaje superficial:** bueno; **Fisiografía:** pie de pendiente 8%

Descripción general

Suelo muy profundo formado por tres depósitos coluviales diferentes, el depósito más reciente tiene un espesor 40 cm en el cual se ha identificado un horizonte superficial (Apk.) y (Bt1k.), el depósito intermedio tiene 50 cm de espesor y se lo ha denominado (Bt2k) con estructura fuertemente desarrollada en bloques subangulares y presencia de carbonatos. El depósito más antiguo corresponde a su horizonte (Bt3K) con presencia de cristales de carbonatos.

El suelo es bien drenado, presenta raíces muy pocas, muy finas hasta los 100 cm de profundidad, las raíces son más abundantes en los horizontes (Apk), (Bt1k) y (Bt2k); además presentan fisuras de 5 a 10 cm de largo y 5 mm de ancho en el primer horizonte.

Fuerte efervescencia (reacción del ácido clorhídrico) lo que indica una elevada presencia de carbonatos en todo el perfil (Anexo 14).

6.1.4. Características químicas

En la tabla 8 el suelo presenta un pH ligeramente alcalino, con alto contenido de materia orgánica, con alto porcentaje de saturación de bases, conductividad eléctrica presenta un suelo no salino, capacidad de intercambio catiónico medio, el calcio y el magnesio intercambiable alto, el potasio intercambiable alto, sodio intercambiable se encuentra en el rango medio, la suma de bases alta. En lo referente a la relación de cationes del suelo se encuentra en $Ca/Mg= 8,66$; $Mg/K= 5,93$ y $(Ca+Mg)/K= 56,65$.

Tabla 8. Características químicas

Sector Zapotepamba		
Bloque 1		
Profundidad	(cm)	00-25
pH		7.58
M.O	%	5.1
C.E	mS/cm	0.55
CIC	meq/100 g	18.0
Ca ⁺⁺	meq/100 g	33.6
Mg ⁺⁺	meq/100 g	4.29
K ⁺	meq/100 g	0.61
Na ⁺	meq/100 g	0.25
Σ bases	meq/100 g	38.59
Ca/Mg		8.66
Mg/K		5.93
(Ca+Mg)/K		56.65

Fuente: Autor

6.1.5. Determinación de nutrientes disponibles

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

Tabla 9. Fertilidad actual del sector de estudio

Suelo	Fertilidad									
	N	P	S	B	K	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn
	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm	Ppm
Bloque 1	71.7	15	12.1	1.1	0.41	2.4	2.3	3.5	30.3	4.9
Interpretación	Alto	Medio	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Medio	Medio	Bajo

Fuente: Autor

6.2. Evaluación Biológica de la fertilidad del suelo

6.2.1. Peso de la biomasa seca

En la (figura 2), muestra las diferencias significativas obtenidas con la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 5 % (Anexo 7) para los valores de biomasa de la planta indicadora. Se evidencia que la SC difiere estadísticamente del resto de las soluciones. Las soluciones Fe, Mg, B, Zn y Cu son estadísticamente iguales, no hay diferencias entre las soluciones Mn y K. Las soluciones S, N, P y T son estadísticamente diferentes a todas las soluciones con la menor altura.

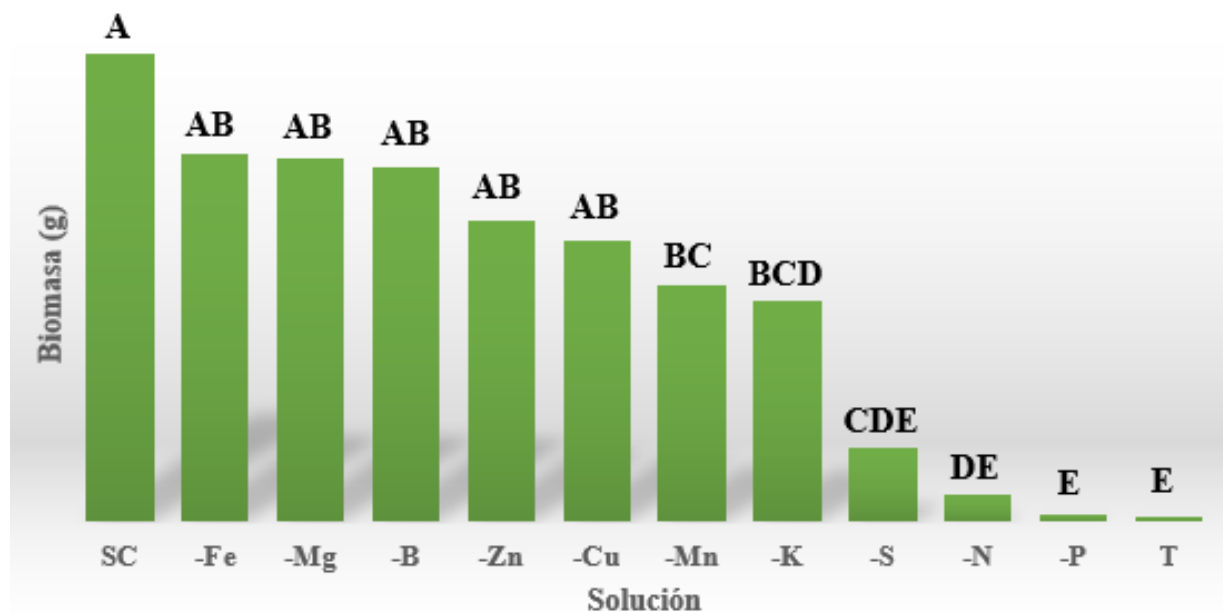


Figura 2. *Biomasa seca*

Fuente: Autor

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



Figura 3. *Aspecto de la planta indicadora*

Fuente: *Autor*

6.3. Correspondencia entre análisis químico y evaluación biológica

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

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

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

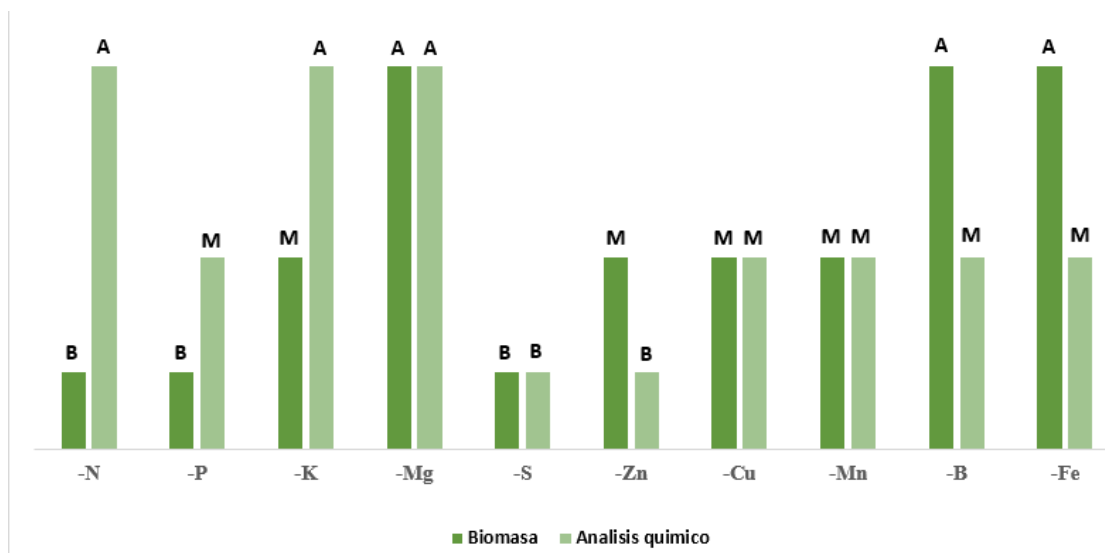


Figura 4. Correspondencia entre la evaluación biológica y análisis químico

Fuente: Autor

6.4. Fertilización para cafetales

El plan de fertilización de macro y micronutrientes para el sistema agroforestal con café se lo realizó para el año, considerando los requerimientos del cultivo. Los fertilizantes utilizados para el plan de fertilización fueron: 18-46-0 (DAP), Sulpomag, Kieserita, Sulfato de zinc y Bórax, en el (Anexo 15), se muestra el porcentaje de nutriente que presenta cada fertilizante, para suplir los requerimientos del cultivo de café: N:200; P:60; K:100; Mg:60; Zn:3.2; B:5; S:25; kg ha⁻¹, para el sector Zapotepamba.

6.4.1. Fertilización para el SAF con café del sector Zapotepamba

En la tabla 10 se muestran los valores de las bases intercambiables, antes y después que se realizara la enmienda al suelo; el Ca⁺⁺ presenta el mismo valor de (33.60 cmolkg⁻¹); el Mg⁺⁺ tuvo un valor de (4.29 cmolkg⁻¹) al realizar la enmienda incremento un (0,33 cmolkg⁻¹), dando un total de (4.62 cmolkg⁻¹); el K⁺ tuvo un valor de (0.61 cmolkg⁻¹) al realizar la enmienda incremento un (0,12 cmolkg⁻¹), dando un total de (0.73 cmolkg⁻¹), el Na⁺ se queda con el valor inicial de (0.25 cmolkg⁻¹), el valor inicial del CICE es de (18 cmolkg⁻¹) y el valor final (39.20 cmolkg⁻¹).

Tabla 10. *Cálculo del CICE del sector Zapotepamba*

B. Intercambiables	cmol kg⁻¹	cmol kg⁻¹	Total
Ca²⁺	33.60		33.60
Mg²⁺	4.29	0.33	4.62
K⁺	0.61	0.12	0.73
Na⁺	0.25		0.25
Al³⁺+H⁺			
Al³⁺			
Cice 1	38.75	Cice 2	39.20

Fuente: *Autor*

6.4.2. *Enmienda y relación de cationes*

En la tabla 11 se puede observar que para el Ca el porcentaje de saturación de bases es de 86.7% luego de la enmienda disminuyó a 85.7 %, entrando en el rango óptimo, para el Mg el porcentaje de saturación de bases es de 11.1 % luego de la enmienda aumentó a 11.8 % entrando en el rango óptimo, de igual forma para el K el porcentaje inicial es de 1.6 % elevándose después de la enmienda a 1.9 %.

Con respecto a la relación de cationes para el Ca/ Mg el valor es de 7.83 cmol/kg⁻¹ no necesito el incremento de Ca, entrando al rango óptimo de 2,6 -8,0 cmol/kg-1. Para el Mg/K el valor inicial es de 7.0 al añadir Mg y K disminuyó a 6.3 cmol/kg⁻¹ entrando en el rango óptimo. Para (Ca+Mg)/K el valor inicial es de 61.8 después de añadir Mg y K disminuyó a 52.12 cmol/kg⁻¹.

Tabla 11. *Enmienda y relación de cationes*

SB	Enmienda			Relación de cationes			
	Antes (%)	Después (%)	R. óptimo (%)	Antes	Agrega	Después	R. óptimo
Ca	86.7	85.7	65.0 - 75.0	Ca/Mg	7.83	7.3	2,6 - 8
Mg	11.1	11.8	15.0 - 20.0	Mg/K	7	Mg	6.3
K	1.6	1.9	3.0 - 7.0	Ca+Mg/K	61.8	K	52.12
							27,5 - 55

Fuente: *Autor*

En la tabla 12 se muestra el contenido en gramos por planta que se hizo en base a los requerimientos del cultivo de café, basándose en la relación de cationes adecuada para el cultivo, y los requerimientos para cafetales en crecimiento hasta los 18 meses, con una densidad de siembra de 1,25 m entre hileras y 2,0 m entre plantas.

Tabla 12. *Nutrientes recomendados para el cultivo de cafetales en crecimiento*

Elemento	kg/ha	g/planta	Fuente	Formula
N	200	50	DAP 18-46	(NH ₄) ₂ HPO ₄
P	60	34.4	DAP 18-46	(NH ₄) ₂ HPO ₅
K	100	30.0	Sulpomag	K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄
Mg	60	24.9	Kieserita	MgSO ₄ .H ₂ O
Zn	3.2	1.0	Sulfato de Zn	ZnSO ₄
B	5	1.3	Bórax	Na ₂ [B ₄ O ₅ (OH) ₄].8.O
S	25	6.3	Sulpomag	K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄

Fuente: Autor

En la tabla 13 muestra el plan de fertilización diseñado para los 12 meses del año 2022, se fertiliza cada 30 días, en el caso del P₂O₅ en el primer mes se coloca el 40% respecto a los 11 meses restantes.

Tabla 13. *Plan de fertilización para cafetales en producción de Zapotepamba*

Fertilizantes	Base	2022												Total (kg/ha)	
		J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J		
N	178.6	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	178.6
P ₂ O ₅	54.8	38	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	-	137
Sulpomag		77.1	77.1	77.1	77.1	77.1	77.1	77.1	77.1	77.1	77.1	77.1	77.1	77.1	926
Kieserita		290.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	290.2
Sulfato de Zn		-	6.5	-	-	-	-	-	-	6.5	-	-	-	-	13
Bórax		45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45

Fuente: Autor

7. Discusión

7.1. Condiciones químicas

7.1.1. pH

El suelo del Centro binacional de formación técnica Zapotepamba es un suelo alcalino, como corrobora Valarezo et al., (2007) indicando que la reacción del suelo de Zapotepamba es ligeramente alcalina por la presencia de carbonatos de calcio libre, procedente tanto del material parental como de los procesos de pedogénesis que son los responsables de la formación de los diferentes horizontes de suelo.

Arcilla, (2007) manifiesta en algunos suelos de origen sedimentario se presenta un pH muy alto (básico) debido principalmente a los altos contenidos de calcio, y en estos casos es frecuente observar deficiencias de micro nutrientes como manganeso, hierro, zinc, boro o cobre.

Fertilab, (2000) indica que los suelos de origen calcáreo, por ende, de reacción alcalina, presentan condiciones desfavorables para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos, principalmente por la deficiencia de micronutrientes que existen en ello. Los síntomas más comunes de esta baja disponibilidad de micronutrientes es la clorosis del follaje de los cultivos.

Un suelo alcalino es aquel que presenta un exceso de sodio intercambiable que a medida que incrementa su concentración empieza a remplazar otros cationes. Los suelos alcalinos son comunes en regiones áridas y semiáridas, y generalmente son impermeables lo que genera una lenta infiltración y percolación del agua a través del suelo, impidiendo un desarrollo óptimo de las plantas.

El pH del suelo de SAF del sector Zapotepamba es de 7,6 ligeramente alcalino no se encuentra en el rango adecuado para la producción de café así como menciona Ponce, (2012), los suelos preferidos para el establecimiento de plantaciones de café son suelos ligeramente ácidos con pH entre 5.6 a 6.5, si el pH es superior a 5.5 pueden ocurrir deficiencias de P, B, Fe, Cu y Zn. Para corregir el pH Iburguen, (2020) recomienda el aporte de materia orgánica al suelo, aplicar fertilizantes nitrogenados, y la aplicación de sulfatos.

7.1.2. *Materia orgánica*

El contenido de materia orgánica es alto así como lo indica Valarezo et al., (2007) que en el estudio edafológico de Zapotepamba en varios lugares de la finca arroja el resultado de contenido de materia orgánica que varía de alto a bajo.

De acuerdo con Valencia, (1989) menciona que la materia orgánica ofrece una variedad de beneficios que condicionan al suelo para lograr las producciones que permite la oferta ambiental, ayudando en las propiedades físicas del suelo: tales como es mejorar la estructura del suelo, aumentar la agregación de las partículas, la resistencia a la erosión, incrementa la aireación, permeabilidad y la retención de humedad. Así mismo aporta al mejoramiento de las propiedades químicas: aumenta la capacidad buffer o resistencia a cambios de pH, la capacidad de intercambio de cationes y suministra nutrientes al suelo, también hay cierto aporte a las propiedades biológicas al incrementar la actividad del microorganismo que ayudan a la mineralización de los residuos orgánicos.

7.1.3. *Capacidad de intercambio catiónico*

El estudio de suelos del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba nos da un contenido alto de capacidad de intercambio catiónico.

Valarezo et al., (2007) indica que la capacidad de intercambio catiónico es alta, lo que evidencia una elevada actividad de las arcillas y una importante reserva de minerales meteorizables, potenciales aportadores de nutrientes aprovechables para los cultivos; y, la predominancia de calcio en el complejo de intercambio iónico.

Según Toledo, (2016) citado por Macas, (2021), una medida del nivel de fertilidad de los suelos de gran importancia es la capacidad de intercambio catiónico, denominado por sus iniciales como CIC, indica la capacidad de un suelo de almacenar en sus coloides, nutrientes de carga positiva o cationes o, dicho de otro modo, nos da la cantidad de cargas negativas del suelo. Los suelos que presentan una alta CIC son más fértiles que los de baja CIC. En suelos con una baja CIC, los espacios donde pueden adherirse los nutrientes son reducidos, por lo que muchos de ellos quedan en la solución del suelo expuestos a ser lavados por el agua de riego o lluvias.

7.1.4. Fertilidad actual

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

Valarezo et al., (2007) indica en cuanto a la fertilidad actual, una característica general es el bajo contenido de las formas aprovechables de nitrógeno, zinc, hierro y manganeso (más del 90% de los lotes); el contenido predominantemente medio de fósforo (52,4% de los lotes), potasio (66,7% de los lotes) y cobre (71,4% de los lotes); y, el contenido alto de calcio y magnesio (más del 95% de los lotes).

García & García, (2013), manifiestan que, aunque la deficiencia puede tener lugar tanto en suelos ácidos como alcalinos, es quizás mucho más común 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 adsorción de hierro en estos suelos, sino que existen pruebas también de la falta de actividad del hierro en el interior de la planta debido a la abundancia de calcio y fosforo.

7.2. Aspecto de la planta indicadora

Solución nutritiva completa (Sc). Es importante recalcar que la solución nutritiva completa contiene macro y micronutrientes indispensables para el desarrollo de las plantas, razón por la que su desarrollo fue el más alto tanto en altura como en peso seco, respecto a los elementos carentes de un elemento.

Rogel, (2021), Zambrano, (2019), Tandazo, (2019), Zhunaula, (2016) y Loaiza, (2013) en sus investigación sobre Evaluación Biológica en diferentes lugares concuerdan en que a solución nutritiva completa presenta los valores más altos tanto en altura como en peso seco frente a los tratamientos carentes de un elemento.

Solución -N. En la evaluación biológica se observó limitado crecimiento en relación con la solución completa, que equivale porcentualmente a 12 % (Anexo 7), indica la alta deficiencia de este elemento, con hojas amarillentas y tallos delgados como indica Iñiguez, (2010) una deficiencia de nitrógeno, produce vegetación raquítica, con hojas pequeñas y de color amarillento (clorosis) por una disminución de clorofila. Otra deficiencia de nitrógeno extrema, incide en los bordes de las hojas con una coloración anaranjada a violácea en las

hojas viejas, dado que este nutrimento se mueve con facilidad a las hojas jóvenes y produce plantas con un crecimiento lento, con menos hijuelos, con menor número de hojas.

Hernandez, (2002), nos manifiesta que las condiciones climáticas influyen notablemente sobre el contenido de nitrógeno en el suelo, manifiesta que en un aumento de temperatura hace disminuir el contenido de nitrógeno, bajo condiciones análogas de humedad, ya que al aumentar la velocidad de mineralización de la materia orgánica presente en el suelo aparece una mayor proporción de compuestos nitrogenados simples solubles, los cuales, en parte, pueden perderse por lixiviación.

Solución -P. Los tratamientos presentaron un menor peso de biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 12 % (Anexo 7), se observó a través de la evaluación biológica muy marcadas las deficiencias del elemento fósforo, produciendo un retraso en el crecimiento, coloración púrpura oscuro en las hojas, Agrologica, (2012) concuerda que con una deficiencia importante de este elemento, se observa en hojas viejas unas tonalidades púrpuras intervenales verde oscuro tirando a azul y también sobre el envés. La planta toma un aspecto raquítrico, crece lentamente y se produce un retraso en la fase de maduración, al igual que Navarro, (2003), el fósforo normalmente presente en el suelo no es aprovechable por las plantas debido a su gran insolubilidad, y para que pueda ser asimilado por la planta es necesario que se encuentre como PO_4H_2^- o PO_4H^{2-} en la disolución del suelo.

Sanzano, (2012) indica que las principales vías de pérdida de fósforo en el suelo son por la erosión de las partículas del suelo que son arrastradas, también indica que un motivo del por qué el fósforo no se fija en el suelo es la materia orgánica ya que los suelos ricos en materia orgánica tienen poca capacidad para fijar fuertemente los iones fosfato por ende sus niveles de 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 relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 42 % (Anexo 7), se evidenció en la evaluación biológica que existe deficiencia de K, que corresponde al rango medio, la planta indicadora indica deficiencia en las hojas como un moteado de manchas de color amarillento Agrologica, (2012), menciona la deficiencia es el síntoma amarilleamiento del borde de las hojas, primero las viejas, que más tarde sufren una necrosis marginal curvándose hacia arriba. Paralelamente los nervios pueden tomar una coloración parduzca, al igual que Padilla, (2013) pronuncia los síntomas se manifiesta primeramente a través de un amarillamiento de los ápices y márgenes foliares adultos, continuando luego hacia el centro o base de la hoja. Los

límites entre las áreas necróticas y el tejido foliar son nítidos. Como consecuencia de este deterioro, disminuye la actividad fotosintética y se detiene la síntesis del almidón; en ciertos casos las hojas presentan una curvatura hacia abajo y un moteamiento blanco amarillento.

Navarro & Navarro, (2013) cuanto mayor sea el grado de saturación del calcio, mayor será la adsorción al coloide del potasio de la disolución del suelo. Posiblemente los bajos contenidos de este elemento se den por los altos contenidos de calcio, si el pH incrementa la saturación de bases incrementa, así la cantidad de Ca, Mg y K incrementa.

Solución -Mg. Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 83 % (Anexo7), se evidencio en la evaluación biológica que el suelo no es deficiente en Mg ya que es un suelo alcalino presenta disponibilidad de este nutriente así Mikkelsen, (2010), menciona en el rango de suelos alcalinos a ligeramente ácidos, el Mg es generalmente segundo en abundancia después del calcio (Ca) en los sitios de intercambio catiónico, la mayoría del Mg contenido en el suelo proviene de la descomposición de minerales, los suelos ubicados en climas templados presentan rangos de concentración de 5 a 50 ppm y en suelos de climas áridos oscila entre 120 a 2400 ppm.

Solución -S. Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 17 % (Anexo 7), se observó un déficit de azufre en la planta indicadora con hojas amarillentas, tal como describe Graetz, (2010) la deficiencia de azufre produce plantas pequeñas, tallos delgados, hojas amarillentas, muy similares a la coloración que toman cuando carecen de nitrógeno, esta coloración comienza en las hojas superiores, así como Guerrero, (2000) comenta son los suelos arenosos los que tienen más bajo contenido, y los ricos en materia orgánica los que contienen más. La cantidad de azufre asimilable depende, sobre todo, de la riqueza en humus y de la actividad biológica de los suelos.

La deficiencia del azufre se dio probablemente por el pH del suelo así como menciona Agrologica, (2012) la deficiencia de azufre está asociada a los suelos con poca materia orgánica, suelos muy degradados, suelos arenosos o suelos con un pH alto, al igual que Maldonado et al., (2014) concluyeron que suelos calcáreos, pobres en materia orgánica y alcalinos, presentaron 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 relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 58 % (Anexo 7), se observó en la evaluación biológica que no hay alta deficiencia de Zn pero su crecimiento fue menor en comparación con la solución completa, hay disponibilidad de este elemento en el suelo, las carencias de zinc suelen ser inducidas por un exceso de cal o por una riqueza elevada en P₂O₅ (antagonismo de iones) Guerrero, (2000).

Existe Zn en el suelo ya que este elemento es fácil de retener en suelos arcillosos, según Bennet, (1997) 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 sin embargo Agrologica, (2012) menciona la disponibilidad de Zn se reduce al incrementar el pH, debido a un incremento en la capacidad de adsorción, por esto suelos alcalinos y calcáreos tienden a presentar mayor frecuencia deficiencias de Zn.

Solución -Cu. Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 58 % (Anexo 7), en la evaluación biológica indico que existe disponibilidad de cobre en el suelo esto puede deberse a que los estudios químicos dieron alto contenido de materia orgánica así como, Agrologica, (2012) menciona el cobre en el suelo esta principalmente adsorbido a la materia orgánica, a los óxidos de hierro y manganeso así como también está fijado en la red cristalina que es la base estructural directa de los silicatos del suelo. Además, puede ser precipitado como hidróxido, carbonato o fosfato. Ribeiro & Roque, (2007) suelos ácidos altamente lixiviados, suelos calcáreos y altos niveles de Ca, Mg y P inducen deficiencia de Cu, las deficiencias de Cu ocurren principalmente en plantas cultivadas en suelos orgánicos ácidos, en suelos derivados de rocas ígneas muy ácidas y en suelos lixiviados de textura gruesa.

Solución -Mn. Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 50 % (Anexo 7), se evidencio que existe disponibilidad media de Mn en el suelo respecto a la solución completa para Agrologica, (2012) las plantas con deficiencia de manganeso muestran zonas cloróticas en las zonas intercostales de las hojas nuevas mientras que los nervios y un pequeño borde a su alrededor permanecen verdes. Cuando la deficiencia continua se produce gradualmente la aparición en el tejido clorótico entre los nervios de manchas necróticas, en algunos casos los síntomas pueden aparecer primero en las hojas más viejas su deficiencia se ve empeorada por suelos de pH elevado (suelos alcalinos).

Existe baja disponibilidad de Mn por ser un suelo alcalino así como menciona García & García, (2013) a un pH elevado del suelo, se forman compuestos de manganeso de baja solubilidad y se reduce la solubilidad del manganeso. Además, a un pH alto del suelo, una mayor tasa de manganeso se adsorbe a las partículas del suelo y, como resultado, su disponibilidad para las plantas disminuye.

Solución -B. Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 83 % (Anexo 7), en la evaluación biológica que existe disponibilidad de este elemento en el suelo según FAGRO, (2010), comenta que el boro adsorbido por las partículas del suelo se ve afectado por los componentes del suelo (los minerales arcillosos, los óxidos sueltos y la materia orgánica) y también por otros factores como el tipo y la concentración de las sales en el suelo, el pH y la temperatura. Al igual que Hernandez, (2002) comenta que suelos calcáreos y con alto contenido de arcilla suelen presentar deficiencias de boro, la disponibilidad del boro para las plantas disminuye con el aumento del pH del suelo, especialmente, un pH superior a 6,5.

Solución -Fe. Los tratamientos presentaron menor peso en la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 83 % (Anexo 7), se evidencio en la evaluación biológica que existe deficiencia en comparación con la solución completa según FAGRO, (2010) comenta los suelos calcáreos; suelos con alto P, Mn, Cu, Zn, o Mo; y una alta tasa de encalado pueden reducir la disponibilidad de Fe, las deficiencias más frecuentes se observan en pHs altos (>7,2), en suelos calcáreos y regiones áridas.

García & García, (2013), manifiestan que, aunque la deficiencia puede tener lugar tanto en suelos ácidos como alcalinos, es quizás mucho más común en los calizos, como consecuencia de una clorosis inducida por la cal. Además de un elevado pH disminuyendo la disponibilidad de hierro, fuertes concentraciones de calcio en la disolución del suelo pueden no solo disminuir la absorción de hierro en estos suelos, sino que existen pruebas también de la falta de actividad del hierro en el interior de la planta debido a la abundancia de calcio y fósforo.

7.3. Correspondencia entre análisis químico y evaluación biológica

Según el análisis no existe correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica en los siguientes elementos: N, P, K, Zn, B y Fe lo que corroboran las siguientes investigaciones realizadas por Zhunaula (2016), Zambrano, (2019), Loaiza, (2013) y Rogel,

2021) en donde contrastaron que no existe correspondencia entre los dos métodos en los elementos N, Zn, Mn, B y Fe.

Según Padilla, (2013), los estudios de correlación realizados en Ecuador, hasta el momento, han demostrado que la solución extractora de Olsen modificada, compuesta por bicarbonato de sodio, EDTA y un floculador, ajustada a pH de 8,5 con NaOH 10 N, ha alcanzado grados altos de correlación con las respuestas de las plantas, en los diferentes elementos que son analizados en el extracto de suelo. Esta solución extrae la cantidad de nutrientes de una manera similar a la que harían las raíces de las plantas en un medio-ambiente equilibrado, este extractante ha sido evaluado por medio de estudios de correlación entre la cantidad de nutrientes absorbidos y la cantidad de nutriente extraído del suelo por varios cultivos, según Zalba et al., (2002) el método de Olsen utiliza como extractante una disolución de NaHCO_3 0.5 M moderadamente alcalina (pH = 8.5) ideada para controlar la actividad de los iones calcio, a través del producto de solubilidad del CaCO_3 durante la extracción de fósforo en suelos calcáreos, así como Fernández, (2010) comenta en España el método Olsen es establecido como oficial por el Ministerio de Agricultura, como procedimiento de rutina por los laboratorios de análisis de suelos, pese al carácter ácido de los suelos ya que el método de Olsen fue desarrollado originalmente para suelos calcáreos.

7.4. Relación de cationes

Es importante considerar la relación de cationes para poder definir la suficiencia o insuficiencia del elemento y determinar si el suelo tiene las cantidades adecuadas de (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), para mejorar la relación de cationes se incrementó 0.12 meq/100g de K y 0.33 meq/100g de Mg. Los resultados no difieren con los obtenidos por Macas, (2021) quien logró incrementar las bases cambiables: Ca^{2+} de 3,06 a 4,35 $\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$, Mg^{2+} de 0,72 a 0,90 $\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$ con la aplicación de 0,7 de cal Dolomita; al igual que Rogel, (2021) no necesitó encalar el suelo solo aumento Mg^{2+} de 1,6 a 1,72 cmol kg^{-1} , K^+ de 0,19 a 0,27 cmol kg^{-1} con la aplicación de la kieserita; Zambrano, (2019) tampoco necesitó encalar solo aumento K^+ de 0,31 a 0.42 cmol kh^{-1} .

Se equilibro la relación de cationes recomendados para el café Enríquez & Duicela, (2014), Ca/Mg (2.6 – 8.0), Mg/K (7.5 – 15.0) y Ca+Mg/K (27.5 – 55.0) cmol/kg se atribuye tanto a la aplicación de Sulpomag y Kieserita la, concordando con las investigaciones de Tandazo, (2019); Rogel, (2021); Zambrano, (2019) y Macas, (2021) que mencionan que las

relaciones recomendadas por Enríquez & Duicela, (2014) son las más favorables para el desarrollo de las plantas de café en los diferentes suelos.

Bear & Toth, (1948) sugieren los siguientes valores para Ca – Mg , Ca – K y Mg – K: 6,5:1, 13,0:1, 2,0:1 respectivamente. Para Malavolta, (2006) una relación de Ca – Mg hasta 4,5:1 favorece la producción de café a su vez, García, (1981) verifico que las relaciones 2,52:1 y 3,08:1 fueron las más favorables para el desarrollo de las plantas de café en suelos diferentes. Sadeghian & Diaz, (2020) concluyen que un suelo debe contener 65 % Ca^{2+} , 10 % de Mg^{2+} y 5 % de K^+ .

7.5. Fertilización de cafetales

Para suplir los requerimientos del cultivo de café en crecimiento se utilizó N:200; P:60; K:100; Mg:60; Zn:32; B:5; S:25 kg ha⁻¹, al igual que mencionan en sus trabajos de investigación Tandazo, (2019) y Zambrano, (2019) que para suplir las necesidades del café en crecimiento utilizaron N: 200; P:30; K:50; Mg:20; S:150; Zn:3; B:5; kg ha⁻¹.

De acuerdo con las investigaciones de Riaño et al., (2004), en la zona cafetalera central de Colombia los cafetales con densidades cercanas a las 4 000 plantas ha⁻¹, extraen hasta los 2 000 días después de la siembra: 560 kg ha⁻¹ de N; 50 kg ha⁻¹ de P; 520 kg ha⁻¹ de K; 240 kg a⁻¹ Ca y entre 60 y 120 kg ha⁻¹ de Mg, obteniendo un rendimiento de 1 000 kg ha⁻¹. En cafetales con densidades de siembra entre (7 500 y 10 000 plantas ha⁻¹) y un nivel muy bajo de sombra (<35 %), se sugiere administrar las máximas dosis de nutrientes tecnificados a libre exposición solar, mientras que en plantaciones al sol y con densidades de siembra medias se recomienda aplicar el 95 % de las cantidades definidas de fertilizante.

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

Cenicafe, (2008,) recomienda que en la implementación de cafetales se debe realizar la aplicación de fertilizantes con alto contenido de fósforo y potasio, porque pueden suministrarse utilizando fórmulas como 10-30-10 o 12-24-12 en cantidades que oscilan entre 200 y 400 Kg ha⁻¹, esto al momento de la siembra, siempre y cuando se tenga la certeza de que exista deficiencia de estos elementos en el suelo.

Para Carvajal, (2004), menciona que en Costa Rica se recomiendan 300 kg ha-1 año N, con lo que se ha conseguido un aumento en la cosecha de 39 por ciento con respecto a las parcelas testigo.

8. Conclusiones

- El $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ vario de neutro a ligeramente alcalino, la suma de bases intercambiables (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , y Na^+) es alta, la materia orgánica alta, capacidad de intercambio catiónico de 18,1 meq/100g de suelo, % de saturación de bases indica un suelo saturado, relación de cationes (Ca/Mg) 1,98; (Mg/K) 6,04 y (Ca+Mg)/K 54,27.
- Los elementos N, P, y S, fueron los elementos más deficitarios ya que las variables evaluadas presentaron diferencias significativas en los tratamientos donde existió la omisión de estos nutrientes; además la planta indicadora presento cambios notorios en la morfología y en el color.
- En la correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico el N, P, K, Zn, B y Fe no presentaron correspondencia, mientras que Mg, S, Cu y el Mn si presentaron similitud entre los dos métodos.
- Para la realización del plan de fertilidad se realizó primeramente la relación de cationes óptima para el cultivo de café teniendo inicialmente Ca/Mg: 7,83; Mg/K: 67,0; (Ca+Mg)/K: 61,78 se aplicó 0.12 meq de K y 0.33 meq de Mg, para mejorar la relación de cationes Ca Mg^{-1} :7,3; Mg K^{-1} : 6,30; (Ca+Mg) K^{-1} : 52,12.
- Propuesta de aplicación de nutrientes para cafetales en crecimiento se realizará de acuerdo a los siguientes valores: N:200; P:60; K:100; Mg:60; Zn:3,2; B:5; S:25 kg ha^{-1} .

9. Recomendaciones

- Realizar el ensayo de la evaluación biológica en un ambiente controlado que no se contamine por infestación de plagas.
- Para la realización de la evaluación biológica, tomar en cuenta que la solución nutritiva debe estar en contacto con el recipiente que contiene el suelo para que permanezca húmedo.
- Se recomienda rotar cada 15 días los tratamientos si no tienen la luz apropiada para todos los tratamientos.
- Por ausencia de correspondencia se recomienda hacer una investigación con los análisis químicos y otra con la evaluación biológica para ver que método es más efectivo.

10. Bibliografía

Agrologica. (2012, diciembre 2). *Deficiencias y excesos nutricionales en tomate: Sintomas y correcciones*. Servicios agrícolas. <https://blog.agrologica.es/deficiencias-y-excesos-nutricionales-en-cultivo-tomate-sintomas-y-correccion-fertilizantes-nitrogeno-fosforo-potasio-magnesio-calcio-azufre-hierro-zinc-manganeso-boro-molibdeno-cloro/>

Aguirre, A. (2009, agosto 26). *El manejo de la conductividad eléctrica en Fertirriego*. Centro de investigación de química aplicada. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/344/1/Alberto%20Aguirre%20Hernandez.pdf>

Alcantar, G. (2008). *Nutrición de cultivos* (p. 33). Mundi-Prensa.

Amores, L. (2004). *Manual del cultivo del Café*. NIAP-Estación Experimental Pichilingue.

Arcilla, J. (2007). *Factores que determinan la productividad del cafetal*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/720/4/3.%20Factores%20que%20determinan%20productividad%20cafetal.pdf>

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 Reos Guayas (Escuela Superior Politécnica del Litoral)*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/102821/D-CD102872.pdf>

Bear, F., & Toth, S. (1948). *Influence of Calcium on availability of other soil cations*. *Soil Science*, 65(1). https://journals.lww.com/soilsci/citation/1948/01000/influence_of_calcium_on_availability_of_other_soil.7.aspx

Bennet, W. (1997). *Nutrient deficiencias y toxicidads in cropplants*. The American Phytopathological Society. St. Paul. Minnesota. <file:///D:/CONSULTAS%203/CONSULTAS%202/CONSULTAS/Methodo-universal-de-preparacion-de-soluciones-nutritivas.htm>.

Bouma, D. (1965). *Growth changes of plants following the removal of nutritional stress*, Ph. D. Thesis, Wageningen.

Burneo, P. (2012). *Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre andesita tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el Sur de la Amazonia ecuatoriana*. Universidad Nacional de Loja.

CAFESA. (1995, diciembre). *Agronoticias: Boletín informativo*.

Calle, R. (2008). Hidroponía en el suelo, Loja. En *Abya-Yalap* (p. 24).

Carrera, G., Aucatoma, B., & Vicuña, E. (2010). *Ejercicio de intercomparación organizado por la red de laboratorios de análisis de suelos del Ecuador (RELASE)*. INIAP.

Carvajal, J. (2004). *Cafeto; cultivo y fertilización*. Instituto internacional de la Potasa Bema/Suiza.

Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo: Vol. Vol.2* (p. 309).

Cenicafe. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del Café en Colombia. *Centro Nacional de Investigaciones de café, N°32*.

Cenicafe. (2014, abril). *Épocas recomendables para la fertilización de cafetales*. Programación científica Fondo Nacional Café. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt04424.pdf>

Crespo, C. (2016, diciembre 1). Calicatas, toma de muestras, y descripción de suelos. *PortalFruticola.com*. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/12/01/calicatas-toma-de-muestras-y-descripcion-de-suelos/>

Enríquez, G., & Duicela, L. (2014). *Guía técnica para la producción y postcosecha de café*.

Epstein, E. (2005). *La función de los nutrientes esenciales*. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/nutricion-vegetal-funcion-de-nutrientes-esenciales>

FAGRO. (2010). *Deficiencias de nutrientes*. <http://www.fagro.edu.uy>

Fernández, M. (2010). Evaluación en cámara de crecimiento de tres métodos de determinación de fósforo asimilable en suelos no calcáreos. En *Boletín de la sociedad española de la ciencia del suelo: Vol. Vol.3* (pp. 189-203). <http://www.edafologia.net/revista/tomo3b/articulo189.pdf>

Fertilab. (2000). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/el_manejo_de_suelos_alcalinos.pdf

Fitz, P. (2011). *Introducción a la ciencia del suelo* (p. 159). Trillas.

GAD Paltas. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. https://97491a7c-44f0-4007-b06e-5d537443bf49.filesusr.com/ugd/7e09ea_064de265d6414c33b63e0ff586a4e339.pdf

García, A. (1981). Calagem para o cafeeiro. En E. Malavolta, T. Yamada y J. Guidolin (Eds.). En *Instituto da Potassa & Fosfato e Instituto Internacional da Potassa*. (pp. 113-115).

García, G., & García, S. (2013). *Química Agrícola. Volumen 3*, 328-357-358-385.

Graetz, H. (2010). *Suelos y fertilización*. México: sep trillas.

Guachisaca, S. (2015). *Análisis sectorial, producción y comercialización de café en el cantón Puyango* [Técnica Particular de Loja]. <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/13357/1/Guachisaca%20Roblez%20Sandra%20Cecibel.pdf>

Guerreo, M. (2017). *Rendimiento de café grano seco en el Ecuador 2017*. <https://fliphtml5.com/ijia/mzvg/basic#:~:text=RENDIMIENTOS%20DE%20CAF%C>

Guerrero, A. (2000). *El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos: Vol. Vol.1* (p. 62.63.68). Mundi-Prensa.

Hernandez, R. (2002). *Nutrición mineral de las plantas*. Ciencias forestales y ambientales universidad de los andes. <http://www.forest.ula.ve/>

Herrera, J. (2007). *Biblioteca de la agricultura* (pp. 94-114-115).

Huerta, H. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos*.

Ibarguen, I. (2020, octubre 14). *Suelos alcalinos, como bajar el pH*. Sembralia. <https://sembralia.com/blogs/blog/suelo-alcalino-ph>

InfoAgro. (s. f.). *El cultivo de café*. Infoagro.com. <https://infoagro.com/herbaceos/industriales/cafe.htm>

Iñiguez, M. (2010). *Fertilidad, fertilizantes y fertilización del suelo* (pp. 61-64).

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a las ciencias del suelo*.

Khalajabadi, S. (2017). *Sintomas visuales de deficiencias nutricionales en café*. Cenicafe. www.cenicafe.org/es/publications/avt0478.pdf

Liu, G. (2012). *Soil pH Range for Optimum Commercial Vegetable*. <http://edis.ifas.ufl.edu/hs1207>

Loaiza, G. (2013). *EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO DESARROLLADO SOBRE GRANODIORITA, TRATADO CON CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES EN EL SUR DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11367/1/TESIS.pdf>

López, J. (2022, septiembre 15). *Conceptos básicos sobre la respiración de las plantas* /. Promix. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/conceptos-basicos-sobre-la-respiracion-de-las-plantas/>

Macas, K. (2021). *Efecto de los diferentes niveles de nitrógeno en el crecimiento del café en el cantón Loja* [Nacional de Loja]. <file:///C:/Users/USER/Downloads/Kevin%20Israel%20Macas%20Medina.pdf>

MAG. (2018). *Producción ecuatoriana de café*. Ministerio de Agricultura y de ganadería. <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/mapas-interactivos/2-uncategorised/37-mapa-cultivos>

Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrición mineral de plantas*. Agronómica Ceres.

Maldonado, C., Vargas, I., & Vallejo, S. (2014). Deficiencia de azufre en suelos cultivables y su efecto en la productividad. *Centro de investigación en alimentación y desarrollo*, XVI, 38-44.

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*. Universidad Nacional de Loja.

Mikkelsen, R. (2010). Fuentes de magnesio. En *Información agronómica* (pp. 26-28).

MINAG. (2011). *Cadena Agro productiva de papa*. Manejo y Fertilidad del suelo. <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/papa/manejoyfertilidaddesuelos.pdf>.

More, J. (2011, septiembre 25). *MATERIAL PARENTAL*. Club ensayos. <https://www.clubensayos.com/Espa%C3%B1ol/MATERIAL-PARENTAL/70887.html>

Moreno, M. (2021). El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(4), 931-943. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2128>

Navarro, G. (2003). *Química Agrícola*. Mundi-prensa Madrid.

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

Ostria, E. (2019, diciembre 6). Carbono y su importancia en el planeta Tierra. *Ceaza*. <http://www.ceaza.cl/2019/12/06/dr-enrique-ostria-carbono-importancia-planeta-tierra/>

Padilla, W. (2007). Manejo de la química y fertilidad de los suelos. En *Clínica Agrícola* (Ed.4, p. 327).

Padilla, W. (2013, diciembre 8). *Métodos químicos para el análisis del suelo y foliar*. Obtenido de <http://www.clinica-agricola.com/>

Pérez, N. (2021, abril 19). *IMPACTO DEL CO2 EN EL DESARROLLO DE LAS PLANTAS Y SUS REPERCUSIONES*. ProainShop. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/aumento-de-co2-atmosferico-en-el-desarrollo-de-plantas>

Picoita, D. (2021). *Diseño de un sistema de riego por goteo en el cultivo de café (Coffea arabica L.) en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba-Paltas [Universidad Nacional de Loja]*. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24377/1/Danny%20Armando%20Picoita%20Guerrero.pdf>

Ponce, L. (2012). *El café: Clima y Suelo para el café*. <http://cafecooludec.blogspot.com/2012/10/clima-y-suelo-para-el-cafe-html>

Ramos, N. (2003). *Evaluación del fósforo extraído con dos soluciones extractoras en 19 suelos del altiplano occidental de Guatemala*. Universidad San Carlos de Guatemala.

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

Riaño, H., Arcilla, R., & Chávez, C. (2004). *Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por Coffea arabica*. Colombia en tres localidades de la zona cafetera centra.

Ribeiro, G., & Roque, A. (2007). Elementos requeridos à nutrição de plantas. En *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-Minas Gerais* (p. 104).

Rodríguez, H., & Rodríguez, J. (2011). Métodos de análisis de suelos y plantas. En *Criterios de interpretación* (2da ed., p. 239).

Rogel. (2021). *Evaluación biológica de fertilidad del suelo en el sector Cucanama alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24489/1/Sofia%20Lizbeth%20Rogel%20Pe%c3%blaloza.pdf>

Sadeghian, S. (2008). *Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot032.pdf>

Sadeghian, S. (2003). *Determinación de los niveles críticos de los nutrientes para el cultivo del café en suelos de la zona cafetalera*. Cenicafe.

Sadeghian, S., & Diaz, M. (2020). *Corrección de la acidez del suelo: Efectos en el crecimiento inicial del café*. Cenicafe. <https://doi.org.10.38141/10778/1117>

Sánchez, N. (2010). *Fertilizantes, el alimento de nuestros alimentos* (pp. 29-30).

Sanzano, A. (2012). El fósforo del suelo. *Formas de fósforo en el suelo*, 320.

Sela, G. (2019, febrero 11). *Los nutrientes esenciales de las plantas* | Cropaia. <https://cropaia.com/es/blog/nutrientes-de-plantas/>

Sorto, P. (2012, abril 9). *Perfil de suelo*. Engormix. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/perfil-de-suelo-t29352.htm>

Tandazo, K. (2019). *Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Chaguarpamba y Lozumbe* [Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22567/1/Karina%20Fabiola%20Tandazo%20Tandazo.pdf>

Thompson, L., & Troeh, F. (2001). *Los suelos y su fertilidad*. <https://books.google.com.ec/books?id=AegjDhEIVAQC&pg=PA301&dq=el+nitrogeno+en+las+plantas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiZ9vfhv4zkAhUPx1kKHcoCBKgQ6AEIMDAB#v=onepage&q=el%20nitrogeno%20en%20las%20plantas&f=false>

Toledo, M. (2016). *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras*. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf?sequence=1>

Valarezo, C., Guaya, P., & Valarezo, L. (2007). *Estudio de edafología del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba*.

Valencia, G. (1989). *Nutrición mineral del café*. El suelo óptimo para el cultivo de café. <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2016/08/31/el-suelo-optimo-para-el-cultivo-de-cafe>

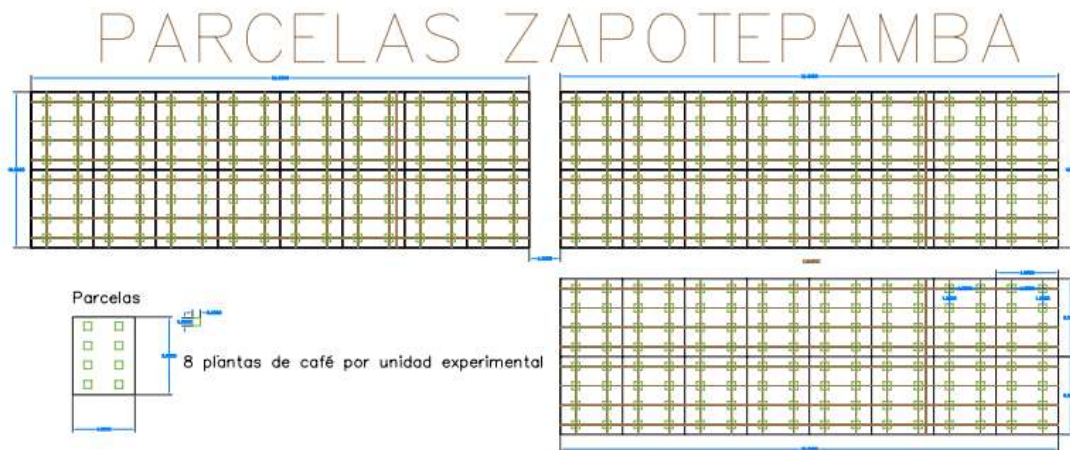
Zalba, P., Bravo, O., & Peinemann, N. (2002, marzo 26). *Métodos alternativos para determinar las disponibilidades de fósforo en suelos agrícolas*. Suelos orgánicos. http://suelos.org.ar/publicaciones/vol_20n1/zalba_50-53.pdf

Zambrano, P. (2019). *Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Consapamba y Pueblo nuevo de los cantones Espíndola y Loja* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22576/1/PAOLA%20LOURDES%20ZAMBRANO%20SARANGO.pdf>

Zhunaula, W. (2016). *Evaluación química y biológica de la fertilidad actual de un suelo, desarrollado sobre andesita en el sistema de riego la Era, cantón Catamayo* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10313/1/tesis%20Wilmer%20Geovanny%20Zhunaula%20Angamarca.pdf>

11. Anexos

Anexo 1. *Croquis del diseño*



Anexo 2. *Preparación de las soluciones nutritivas*



Anexo 3. *Preparación de las muestras del suelo*



Anexo 4. *Preparación de los recipientes*



Anexo 5. *Cálculo de la biomasa*

Cálculo del Nitrógeno			Porcentaje		
Biomasa seca			Porcentaje		
13.8 g		2674.04 ppm	2674.04 ppm		100 %
0.8 g		X =	149.49 ppm		X =
$X = \frac{0.8 * 2674.04}{13.8} = 149,49 \text{ ppm}$			$X = \frac{149.49 * 100}{2674.04} = 5,59 \%$		

Anexo 6. *Interpretación correspondencia química*

Elemento	Biomasa	Interpretación	Análisis químico	Interpretación
-N	5.6	Bajo	71.7	Alto
-P	1.7	Bajo	15	Medio
-K	47.0	Medio	0.4	Alto
-Mg	77.7	Alto	2.4	Alto
-S	15.8	Bajo	12.1	Bajo
-Zn	64.4	Medio	2.3	Bajo
-Cu	59.8	Medio	3.5	Medio
-Mn	50.6	Medio	4.9	Medio
-B	75.5	Alto	1.1	Medio
-Fe	78.6	Alto	30.3	Medio

Anexo 7. *Análisis de varianza para los valores de la biomasa seca*

Fuente de Variación	SC	GL	CM	F	p - valor
Modelo	733.83	11	66.71	16.01	<0.0001
Solución	733.83	11	66.71	16.01	<0.0001
Error	99.98	24	4.17		
Total	833.81	35			

Coefficiente de Variación 30.79

Anexo 8. Tríptico divulgativo

DISEÑO EXPERIMENTAL

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

Variables a evaluar

- ✓ Altura de la planta (cm)

RESULTADOS

Análisis de resultados tomando en cuenta la altura a los 43 días de haber iniciado el ensayo en el herbario de la Universidad Nacional de Loja.

BLOQUE 2 R1

Treatment	Height (cm)
SC	38
B	36
Mn	35
Fe	35
Zn	34
Cu	34
Mg	32
S	30
K	31
N	26
T	17
P	17

BLOQUE 2 R2

Treatment	Height (cm)
SC	36
Cu	34
B	33
Zn	32
K	31
Mn	31
Mg	30
Fe	30
N	27
S	25
T	15
P	15

BLOQUE 2 R3

Treatment	Height (cm)
SC	32
Mg	28
Zn	28
Cu	27
B	27
Fe	27
Mn	26
K	25
S	25
N	19
T	16
P	15

CONCLUSIONES

- ✓ El Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba de la parroquia Casanga cuenta con suelos pobres y contenidos bajos de Fosforo y Nitrógeno.
- ✓ El pH del suelo del centro Binacional de formación técnica Zapotepamba (pH 7.4 a 7.7) son suelos alcalinos
- ✓ Las plantas con Sc, -K, -Mg, -Zn, -Mn son las que demostraron un desarrollo más óptimo, mientras que las soluciones de -N, -S y -P fueron detectados como elementos deficientes y -Cu, -B, -Fe, se encuentran en el rango medio.

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA"
Carrera de Ingeniería Agrícola

"PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (Coffe Arabica L.) EN EL CENTRO BINACIONAL DE FORMACION TECNICA ZAPOTEPAMBA"

TESISTA:
Tatiana Carreño

DIRECTOR:
Ing. Mg.Sc. Fernanda Livisaca.

LOJA – ECUADOR

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se enfocará en el análisis químico y la evaluación biológica por su falta de correspondencia mediante la técnica del elemento faltante para determinar la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo.

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

Varias investigaciones, corroboran lo mencionado, Castillo y Villavicencio (2013), concluyeron que en suelos del trópico cultivados con *Glycine max*, el N, P, K y Mn son bajos en la evaluación biológica y en el análisis químico es alto. Aguirre (2017), en los suelos de Chuquiribamba, concluyó que el N y P son deficitarios y en el análisis químico alto.

OBJETIVOS

Objetivo general

Contribuir al incremento de la producción de café mediante un plan de fertilización para el cultivo de café en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.

Objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar las propiedades Químicas del suelo del sistema Agroforestal con café en el Centro Binacional de formación Técnica Zapotepamba.
- ✓ Determinar los nutrientes disponibles mediante la técnica del elemento faltante.
- ✓ Proponer un plan de fertilización para el cultivo de café en el Centro Binacional de formación Técnica Zapotepamba.

METODOLOGÍA

Ubicación del ensayo

Las muestras recolectadas para la evaluación biológica fueron tomadas en el Centro Binacional de formación Técnica Zapotepamba y se desarrolló en el herbario de la Universidad Nacional de Loja.

Materiales

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

Metodología

Evaluación biológica:

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

Sales	g/L	Sales	g/L
Ca (NO 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	CuSO₄ · 5H₂O	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		
CuCl ₂ · 6H ₂ O	109		

Volumenes de las soluciones madre que se necesitan para 1 L en las diferentes soluciones nutritivas.

SOLUCIÓN STOCK	Mililitros de soluciones madre que se debe adicionar									
	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
KNO ₃	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
KH ₂ PO ₄	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NaH ₂ PO ₄				0,0						
K ₂ SO ₄	0,0	0,0	0,0	0,0						
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MgCl ₂ · 6H ₂ O						0,0				
CuCl ₂ · 6H ₂ O							0,0			
MnCl ₂	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NaFe-EDTA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
H ₂ BO ₃	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
INSTRUMENTOS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

- ✓ Colocación de soluciones nutritivas en los recipientes (6000ml).
- ✓ Siembra de tomate riñón (Siembra 07 de Octubre).
- ✓ Reposición de soluciones nutritivas de las 108 plantas fue: en el periodo de los (0 – 15) días fue de 0,85 L/día; (15 – 30) días 1,30 L/día; y de (30 – 33) días el consumo fue de 2,21 L/días.
- ✓ Medición de la altura a los 31 días.

Anexo 9. *Difusión de resultados*

Planificación del evento de difusión de resultados

Tipo de evento: Día de campo

Tema: “Plan de fertilización para el sistema agroforestal con café (*Coffe arabica* L.) en el centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba”

Lugar: Ciudad de Loja

Fecha: jueves 1 de diciembre del 2022


Participantes: directores del trabajo de titulación, Ing. Miguel Villamagua, estudiantes de 4 ciclo







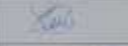
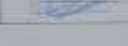


UNL Universidad Nacional de Loja
INSTITUTO AGROPECUARIO Y DE RECURSOS NATURALES
SERVICIO DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA

REGISTRO DE ASISTENCIAS DEL DIA DE CAMPO DE LA TESIS TITULADA: PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (*Coffe arabica* L.) EN EL CENTRO BINACIONAL DE FORMACIÓN TÉCNICA ZAPOTEPAMBA

Nombre y Apellidos	Nro. De Cédula	Firma de Responsabilidad
Francisco Antonio Alvarado Salazar	111005420	[Firma]
Franco Alejandro Alvarado Salazar	111005420	[Firma]
Angie Castillo	1428629209	[Firma]
Evelyn Narvaez	110618150	[Firma]
Ricardo Maldonado	100100100	[Firma]
Hanna Josef Sánchez	1150414115	[Firma]
Luz Alba Zamora	1023328211	[Firma]


UNL Universidad Nacional de Loja
 FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
 ZAPOTEPAMBA
 AGRICOLA

REGISTRO DE ASISTENCIAS DEL DIA DE CAMPO DE LA TESIS TITULADA: PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN EL CENTRO BINACIONAL DE FORMACIÓN TÉCNICA ZAPOTEPAMBA

Nombre y Apellidos	Nro. De Cédula	Firma de Responsabilidad
Diego Fabian Carrero Pizarro	11000444642	
Juan David Aguado Aguayo	11000444642	
Emmanuel José Alvarado Carrero	11000444642	
Anthony David Muñoz Pantoja	11000444642	
Genaro Pizarro Gallegos Gallegos	11000444642	
Karen Rosales Calderon Torres	11000444642	
Diego Andrés De la Cruz Torres	11000444642	
Diego Pizarro Carrero Torres	11000444642	



Anexo 10. *Equivalente químico*

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

Anexo 11. Concentración de cada sal

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

Anexo 12. Cálculo de la cantidad de nutrientes

Solución completa (SC)

• **Requerimiento del Nitrógeno**

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			
	(CaNO ₃) ₂ .4H ₂ O	KNO ₃	(NH ₄) ₆ (Mo ₇ O) ₂₄ .4H ₂ O	Ver
Peso molecular (g)	236,15	101,11	1 235,3	Anexo 9
Equivalente químico	118,08	101,11	1 235,3	Anexo 9
Concentración en la sal (%)	15,5	13,5	7	Anexo 10
Cantidad (ml/L o meq/L)	6	2	1	Tabla 5

(CaNO ₃) ₂ .4H ₂ O			KNO ₃		
Pasar los 6 meq/L de N a ppm			Pasar los 2 meq/L de N a ppm		
N meq/L		Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ 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 (CaNO₃)₂.4H₂O			Cálculo del 13,5 % de N en KNO₃		
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O Ppm		N ppm	KNO ₃ Ppm		N ppm
100	→	15,5	100	→	13,5
708,48	→	X =	202,22	→	X =
$X = \frac{708,48 * 15,5}{100} = 109,81 \text{ ppm N}$			$X = \frac{202,22 * 13,5}{100} = 27,30 \text{ ppm N}$		
(NH₄)₆(Mo₇O)₂₄.4H₂O					

Pasar los g de N a ppm			Cálculo del 7 % de N en (NH₄)₆ (M_o₇O)₂₄ · 4H₂O		
(Mo) mg		(NH ₄) ₆ (M _o ₇ O) ₂₄ · 4H ₂ O mg	(NH ₄) ₆ (M _o ₇ O) ₂₄ · 4H ₂ O Mg		N mg
95.96	→	1235,3	1235.3	→	64
0,02	→	X	0.26		X
$X = \frac{0,02 * 1235,3}{95.96} = 0.26 \text{ mg}$			$X = \frac{0.26 * 64}{1235.5} = 0,013 \text{ mg N}$		
Requerimiento total de N de la planta indicadora					
= 109,81+ 27,30+ 0,013= 137,123 ≈ 137 ppm de N					

- **Requerimiento del Fosforo**

Para el cálculo del requerimiento de P se utilizó la sal: fosfato mono potásico [KH₂PO₄].

Propiedades	Sal mineral	
	KH₂PO₄	Ver
Peso molecular (g)	136,09	Anexo 9
Equivalente químico	136,09	Anexo 9
Concentración en la sal (%)	22,36	Anexo 10
Cantidad (ml/L o meq/L)	2	Tabla 5

KH₂PO₄					
Pasar los 2 meq/L de P a ppm			Cálculo del 22,36 % de P en KH₂PO₄		
KH ₂ PO ₄ meq/L		KH ₂ PO ₄ ppm o mg/L	KH ₂ PO ₄ 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					
= 60,8 ppm de P					

- **Requerimiento del Potasio**

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

Propiedades	Sales minerales		
	KH_2PO_4	K_2SO_4	Ver
Cantidad (ml/L o meq/L)	2	2 y 1	Anexo 9
Peso molecular (g)	136,09	174,27	Anexo 9
Equivalente químico	136,09	174,27	Anexo 10
Concentración en la sal (%)	28,22	41,5	Tabla 5

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

- **Requerimiento del Magnesio**

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

Propiedades	Sal mineral	
	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Tabla

Cantidad (ml/L o meq/L)	1	Anexo 9
Peso molecular (g)	246,48	Anexo 9
Equivalente químico	123,24	Anexo 10
Concentración de en la sal (%)	9,6	Tabla 5


<i>MgSO₄·7H₂O</i>		
Pasar 1 meq/L de Mg a ppm		Cálculo del 9,6% de Mg en <i>MgSO₄·7H₂O</i>
<i>MgSO₄·7H₂O</i> ppm		<i>MgSO₄·7H₂O</i> ppm o mg/L
1	→	123,24
1	→	X =
$X = \frac{1 \times 123,24}{1} = 123,24 \text{ ppm}$		
<i>MgSO₄·7H₂O</i> ppm		Mg ppm
100	→	9,6
17,75	→	X =
$X = \frac{100 \times 9,6}{17,75} = 538,86 \text{ ppm Mg}$		
Requerimiento total de Mg de la planta indicadora		
= 17,7 ppm de Mg		

- **Requerimiento de S y los micronutrientes**

Elemento	Calculo
-S	31.41
-Zn	0.05
-Cu	0.50
-Mn	0.04
-B	5.0
-Fe	0.50

Anexo 13. *Material parental*



	Universidad Nacional de Loja
Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables	
Carrera de Ingenieria Agricola	
Tesis: Plan de fertilizacion para el sistema agroforestal con café (Coffea arabica L.) en el centro Binacional de Formacion Tecnica Zapotepamba	
Autora:	Tatiana Elizabeth Carreño Quizpe





ROCA ANDESITA



ROCA SEDIMENTARIA



ROCA METAMORFICA



CANTOS RODADOS

Anexo 14. *Descripción del perfil del suelo de Zapotepamba*

Código: ZP1. **Fecha:** 14/03/2022 **Autor:** Fernanda Livisaca y Miguel Villamagua, Tatiana Carreño, Juan Carlos Capa y estudiantes de pasantía. **Sitio:** Zapotepamba.

Altitud: 909m.s.n.m. **Coordenadas** 698109E, 9561008N. **Pendiente:** 8 %.

Paisaje: montaña; **Tipo de relieve:** terraza; **Forma del Terreno:** pie de pendiente.

Uso Actual o cobertura vegetal: Bosquete de vegetación secundaria dominada por el faique (*Acacia macracantha*)

Condiciones de Humedad: Húmedo; seco 40cm a 90 más **Pedregosidad superficial:** 0 %; **Tamaño:** 0cm.

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** coluvial- aluvial.

Profundidad de la capa freática: profundidad: no visible fluctuación 0cm

Presencia de Sales o Alcalis: libre; **Drenaje:** bueno

Clasificación taxonómica preliminar USDA (2006):



DESCRIPCION GENERAL DEL PERFIL (ZP1).

Suelo muy profundo formado por tres depósitos coluviales diferentes el depósito más reciente tiene un espesor 40cm en el cual se ha diferenciado un horizonte (Apk.) y (Bt1k.), el depósito intermedio tiene 50cm de espesor y se lo ha denominado (Bt2k) con fuerte estructura y presenta carbonatos. El depósito más antiguo corresponde (Bt3K) con presencia de carbonatos en cristales.

El suelo es bien drenado las raíces muy finas muy pocas se encuentran 100cm de profundidad que atraviesan a través de las fisuras presenta a lo largo de las fisuras 5mm de ancho, son más abundantes las raíces en el (Apk), (Bt1k) y (Bt2k).

Fuerte efervescencia (reacción del ácido clorhídrico) lo que indica una elevada presencia de carbonato de calcio en todo el perfil.

Apk 00 – 18 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; arcillo limoso al tacto; estructura, bloques angulares finos, moderadamente desarrollados; adherente, muy plástico, friable en húmedo; cutanes continuos
----------------	--

moderadamente espesos; con presencia de poros medianos; presencia de carbonatos; raíces finas medias; límite neto y plano, pH 8.2.

Bt1k 18- 40 cm Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo; arcillo limoso al tacto; estructura, bloques angulares finos, moderadamente desarrollados; adherente, muy plástico, friable en húmedo; cutanes continuos delgados pocos; con presencia de poros medianos; presencia de carbonatos; raíces medias y gruesas; límite neto y plano, pH 8.4.

Bt2k 40- 60 cm Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; arcillo limoso al tacto; estructura, granular finos, moderadamente desarrollados; muy adherente, muy plástico, muy friable en húmedo; cutanes continuos delgados pocos; con presencia de poros medianos; presencia de carbonatos; raíces medias y gruesas; límite neto y plano, pH 8.5.

Bt3k 60-115 cm Pardo rojizo (2.5YR 4/4) en húmedo; arcilloso al tacto; estructura, prismático medio, moderadamente desarrollados; muy adherente, muy plástico, friable en húmedo; cutanes zonales delgados pocos; con presencia de poros medianos; presencia de carbonatos; raíces finas y medias; límite neto y plano, pH 8.6.

Anexo 15. *Porcentaje de nutrimento*

Fertilizante	Contenidos de Nutrientos (%)							
	N	P2O5	K2O	MgO	S	Zn	Mg	B
DAP (18-46) (50 kg)	18	46						
Sulpomag			22	22	18			
Kieserita (50 kg)							15	
ZnSO4 (25 kg)					11	23		
Bórax (25 kg)								11

Loja, 18 de agosto del 2023

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Paulina Elizabeth Abad Carrillo, con número de cédula 1103841522 y
con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, Mención Inglés,
registrado en el SENESCYT con número 1008-05-598433

CERTIFICO:

Qué he realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen del presente trabajo de integración curricular o de titulación denominado “Plan de fertilización del sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba” de autoría de Tatiana Elizabeth Carreño Quizhpe, portadora de la cédula de identidad, número 1106252651, estudiante 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.



Lic. Paulina Elizabeth Abad Carrillo

C.I: 1103841522