



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los
sistemas agroforestales con café (*Coffea arábica* L.) En la
Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional De
Loja.**

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

AUTOR:

José Fabrico Hualpa Gordillo

DIRECTOR:

Miguel Ángel Villamagua, Mg.Sc.

Loja – Ecuador

2024

Educamos para **Transformar**

Certificación

Loja, 8 de septiembre de 2022

Ing. Miguel Ángel Villamagua, Mg.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica* L.) En la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional De Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de la autoría del estudiante **José Fabrico Hualpa Gordillo**, con cédula de identidad Nro.**1150105110**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Miguel Ángel Villamagua, Mg.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **José Fabrico Hualpa Gordillo**, declaro ser autor 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 Integración Curricular o de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1150105110

Fecha: Loja, 17 de enero de 2024

Correo electrónico: jose.hualpa@unl.edu.ec

Teléfono celular: 1150105110

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

Yo, **José Fabrico Hualpa Gordillo** declaro ser autor del Trabajo de Titulación : **Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica* L.) en la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional De Loja**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio 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 de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diecisiete días del mes de enero del dos mil veinticuatro.

Firma:



Autor: José Fabrico Hualpa Gordillo

Cédula: 1150105110

Dirección: Sucre, Loja Ecuador

Correo electrónico: jose.hualpa@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0994517366

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Miguel Ángel Villamagua, Mg.Sc.

Dedicatoria

Dedico con todo mi corazón mi proyecto de investigación de manera especial a mis padres, que me apoyaron con su paciencia y esfuerzo, me dieron sabios consejos y emplearon su tiempo en educarme con amor y valores.

A mi familia y compañeros por brindarme tantas lecciones de motivación, cariño y ofrecerme esa mano solidaria a cada instante.

Finalmente, dedico mi trabajo a todos los docentes que aportaron con sus conocimientos, no solo en la elaboración de este Trabajo de Titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria, además de brindarme el apoyo para desarrollarme profesionalmente tanto en valores como académicamente con una visión distinta para solucionar múltiples problemas que se presentan en el sector social, sobre todo en el campo agrícola donde están concentrados la mayor parte de gente de nuestra provincia y el país, garantizando así una mejor calidad de vida.

José Fabrico Hualpa Gordillo

Agradecimiento

Debo agradecer de manera especial y sincera a mi director de tesis Ing. Miguel Ángel Villamagua por aceptarme para realizar esta tesis bajo su dirección, puesto que su apoyo y confianza ha sido un aporte invaluable, en la calidad de mi trabajo como estudiante, por ser un modelo a seguir de perseverancia, honestidad, tenacidad y triunfo en mi vida.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería Agrícola, profesores, y administrativos que contribuyeron a mi formación profesional.

Finalmente, agradezco a los técnicos de la Quinta Experimental “La Argelia”, quienes con su disposición me acompañaron en los talleres y socialización de la presente investigación.

José Fabrico Hualpa Gordillo

Índice de contenidos

| | |
|--|------------|
| Portada | i |
| Certificación | ii |
| Autoría | iii |
| Carta de autorización | iv |
| 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 |
| Abstract..... | 3 |
| 3. Introducción | 4 |
| 4. Marco teórico | 7 |
| 4.1. El suelo, formación y constituyentes | 7 |
| 4.2. Elementos esenciales para el desarrollo vegetal | 7 |
| 4.3. Funciones de los nutrientes, deficiencia y exceso | 7 |
| 4.3.1. Nitrógeno..... | 7 |
| 4.3.2. Fósforo..... | 8 |
| 4.3.3. Potasio..... | 9 |
| 4.3.4. Calcio..... | 9 |
| 4.3.5. Magnesio..... | 9 |
| 4.3.6. Azufre..... | 10 |
| 4.3.7. Zinc..... | 10 |
| 4.3.8. Cobre..... | 11 |
| 4.3.9. Hierro..... | 11 |
| 4.3.10. Manganeso..... | 12 |
| 4.3.11. Boro..... | 13 |
| 4.3.12. Molibdeno..... | 13 |
| 4.4. Propiedades Químicas del suelo | 14 |
| 4.4.1. Intercambio catiónico..... | 14 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4.4.2 | pH..... | 14 |
| 4.6. | Fertilidad del suelo..... | 14 |
| 4.7. | Condiciones físicas de los suelos de la Región Sur del Ecuador..... | 15 |
| 4.8. | Evaluación química de la fertilidad del suelo..... | 15 |
| 4.9 | Métodos directos para el análisis químico de la fertilidad de los suelos. | 15 |
| 4.10. | Utilización de la solución Olsen Modificado..... | 17 |
| 4.11. | Evaluación biológica de la fertilidad del suelo..... | 17 |
| 4.12. | Evaluación química y biológica en suelos del Ecuador..... | 18 |
| 4.13. | Fertilización del Café..... | 19 |
| 5. | Materiales y métodos | 21 |
| 5.1. | Ubicación política, geográfica y características biofísicas de la Quinta Experimental La Argelia..... | 21 |
| 5.1.1. | Materiales y Equipos..... | 21 |
| 5.2. | Metodología | 22 |
| 5.2.1. | Análisis químico del suelo..... | 22 |
| 5.2.2. | Evaluación biológica de la fertilidad del suelo..... | 22 |
| 5.3. | Metodología para establecer la correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica de la fertilidad actual del suelo. | 25 |
| 5.3.1. | Correspondencia entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica. | 26 |
| 5.4. | Metodología para establecer el plan de fertilización | 27 |
| 6. | Resultados..... | 28 |
| 6.1. | Resultados para la caracterización química los suelos de la Quinta Experimental La Argelia..... | 28 |
| 6.1.1. | Características químicas de los suelos de la Quinta experimental la Argelia..... | 28 |
| 6.1.2. | Fertilidad Actual | 28 |
| 6.2. | Resultados de la evaluación biológica. | 29 |
| 6.2.1. | Altura..... | 29 |
| 6.2.2. | Biomasa seca..... | 30 |
| 6.2.3. | Análisis de correspondencia entre el análisis químico y evaluación biológica | 36 |
| 6.3. | Plan de fertilización | 37 |
| 7. | Discusión | 40 |
| 7.1. | Caracterización química los suelos de la estación experimental la Argelia. | 40 |
| 7.2. | Correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad actual del suelo..... | 41 |

| | | |
|------------|------------------------------|-----------|
| 7.3. | Plan de fertilidad..... | 42 |
| 8. | Conclusiones | 44 |
| 9. | Recomendaciones | 46 |
| 10. | Bibliografía | 47 |
| 11. | Anexos | 57 |

Índice de tablas

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabla 1. | Requerimientos de macro y micronutrientes en cafetales (Kg/ha). | 19 |
| Tabla 2. | Relaciones entre cationes intercambiables adecuados para el cultivo de café..... | 20 |
| Tabla 3. | Factores y Niveles de evaluación..... | 22 |
| Tabla 4. | Cantidades de sales requeridas de macronutrientes para la Evaluación Biológica. | 23 |
| Tabla 5. | Cantidades de sales requeridas de micronutrientes para la Evaluación Biológica. | 23 |
| Tabla 6. | Volúmenes de solución madre para 1L de solución nutritiva..... | 24 |
| Tabla 7. | Correlación entre los del análisis químico y de la evaluación biológica. | 27 |
| Tabla 8. | Características morfológicas del sector de estudio. | 28 |
| Tabla 9. | Características químicas del suelo de la quinta experimental La Argelia. | 28 |
| Tabla 10. | Contenidos de elementos disponibles en la Quinta experimental la Argelia..... | 29 |
| Tabla 11. | Cálculo del CICE del sector..... | 37 |
| Tabla 12. | Enmienda y relación de cationes para el suelo del sector..... | 38 |
| Tabla 13. | Fertilizantes recomendados para el cultivo de café en producción..... | 38 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación geográfica del sector de estudio..... | 21 |
| Figura 2. Prueba de Tukey al 5% de la altura de la planta indicadora a los 60 días de edad de todos los bloques..... | 30 |
| Figura 3. Prueba de Tukey al 5% de materia seca de la planta indicadora a los 60 días de edad de todos los bloques. | 31 |
| Figura 4. Promedio y prueba de Tukey al 5% de materia seca de la planta indicadora a los 60 días. | 33 |
| Figura 5. Plantas indicadoras de los tratamientos..... | 36 |
| Figura 6. Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico del suelo de la Quinta experimental la Argelia..... | 37 |

Índice de anexos

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Esquema de extracción de muestras de suelo del diseño experimental perteneciente a “Efecto de los diferentes niveles de nitrógeno en el crecimiento del café en el cantón Loja” | 57 |
| Anexo 2. Resultados de los análisis químicos de los 4 bloques de la quinta experimental la Argelia..... | 58 |
| Anexo 3. Equivalente químico de las sales. | 59 |
| Anexo 4. Concentración de los fertilizantes para preparar las soluciones nutritivas. | 60 |
| Anexo 5. Cantidad de nutrientes en las soluciones nutritivas. | 61 |
| Anexo 6. Altura y biomasa de los bloques a implementarse en el Sector Quina Experimental la Argelia. | 67 |
| Anexo 7. Correspondencia del bloque 1..... | 68 |
| Anexo 8. Correspondencia del bloque 2..... | 68 |
| Anexo 9. Correspondencia del bloque 3..... | 69 |
| Anexo 10. Correspondencia del bloque 4..... | 69 |
| Anexo 11. Difusión de resultados..... | 70 |
| Anexo 12. Difusión de resultados..... | 71 |
| Anexo 13. Evaluación biológica del B1 de la quinta experimental la Argelia..... | 71 |
| Anexo 14. Evaluación biológica del B2 de la quinta experimental la Argelia..... | 72 |
| Anexo 15. Evaluación biológica del B3 de la quinta experimental la Argelia..... | 72 |
| Anexo 16. Evaluación biológica del B4 de la quinta experimental la Argelia..... | 72 |
| Anexo 17. Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo | 73 |
| Anexo 18. Certificado de traducción..... | 75 |

1. Título

Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica* L.) en la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional De Loja.

2. Resumen

En Loja, el cultivo de café (*Coffea arabica*, L.) tiene un bajo rendimiento de 0,44 t. ha⁻¹ debido a la baja fertilidad del suelo, de modo que, para maximizar los rendimientos, el uso de fertilizantes se ha vuelto decisivo. Sin embargo, la aplicación indiscriminada de fertilizantes, sin considerar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, resulta en problemas como variaciones de pH, deterioro de la estructura del suelo y afectación de la microfauna, entre otros. En este contexto, se evaluó la disponibilidad de los nutrientes en el suelo; mediante el análisis químico (extracción de Olsen Modificado) y biológicamente usando el método del elemento faltante con el propósito de determinar la correspondencia entre ambas evaluaciones y generar un plan de fertilización que optimice la fertilidad actual del suelo en los sistemas agroforestales del sector La Argelia. Para este fin, se usó el tomate (*Solanum lycopersicum*), como planta indicadora en un diseño bifactorial completamente al azar con 12 tratamientos y tres repeticiones. La altura de las plantas se registró hasta los 60 días, posteriormente se procedió a evaluar la biomasa seca. Los resultados revelaron un suelo fuertemente ácido con capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica media, deficiente en Nitrógeno, Fosforo, Potasio y Magnesio, lo cual lo hace poco adecuado para el crecimiento del cultivo de café. En lo que respecta al análisis comparativo, se observó que, para los elementos Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Manganeso y Azufre, no establecieron una correspondencia entre la evaluación biológica y la concentración del nutriente disponible según el análisis químico. Este hallazgo sugiere que los análisis químicos pueden carecer de fiabilidad, ya que no reflejan con precisión la disponibilidad real de los nutrientes en el suelo. Sin embargo, se emplearon los resultados de los análisis químicos para formular el siguiente plan de fertilización N:100; P:60; K:100; Mg:30; S:75; Zn:3 B:5; Cu:1,5 kg. ha⁻¹ y así realizar la restitución de aquellos nutrientes que presentaban las deficiencias más significativas. Al no existir correspondencia entre los análisis, la evaluación biológica se presenta como una metodología fundamental para desarrollar recomendaciones de fertilización precisas y adaptadas a las necesidades específicas de cada región.

Palabras clave: Evaluación química y biológica, fertilidad del suelo, café (*Coffea arabica* L.), sistemas agroforestales, solución extractora.

Abstract

In Loja, coffee cultivation (*Coffea arabica*, L.) has a low yield of 0.44 t. ha⁻¹ due to low soil fertility, so to maximize yields, the use of fertilizers has become decisive. However, the indiscriminate application of fertilizers, without considering the availability of nutrients in the soil, results in problems such as pH variations, deterioration of soil structure and impact on microfauna, among others. In this context, the availability of nutrients in the soil was evaluated; through chemical analysis (Modified Olsen extraction) and biologically using the missing element method with the purpose of determining the correspondence between both evaluations and generating a fertilization plan that optimizes the current soil fertility in the agroforestry systems of the La Algeria sector. For this purpose, tomato (*Solanum lycopersicum*) was used as an indicator plant in a completely randomized bifactor design with 12 treatments and three repetitions. The height of the plants was recorded up to 60 days, subsequently the dry biomass was evaluated. The results revealed a strongly acidic soil with cation exchange capacity and medium organic matter, deficient in Nitrogen, Phosphorus, Potassium and Magnesium, which makes it poorly suitable for the growth of the coffee crop. Regarding the comparative analysis, it was observed that, for the elements Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Manganese and Sulfur, a correspondence was not established between the biological evaluation and the concentration of the available nutrient according to the chemical analysis. This finding suggests that chemical analyzes may lack reliability as they do not accurately reflect the actual availability of nutrients in the soil. However, the results of the chemical analyzes were used to formulate the following N:100 fertilization plan; Q:60; K:100; Mg:30; S:75; Zn:3 B:5; Cu:1.5 kg. ha⁻¹ and thus carry out the restitution of those nutrients that presented the most significant deficiencies. As there is no correspondence between the analyses, biological evaluation is presented as a fundamental methodology to develop precise fertilization recommendations adapted to the specific needs of each region.

Keywords: Chemical and biological evaluation, soil fertility, coffee (*Coffea arabica* L.), agroforestry systems, extraction solution.

3. Introducción

Para Burbano (2017), el suelo es “un asiento natural en la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad mundial”. La intervención antrópica, erosión y la sobreexplotación son causas de la baja productividad en el suelo por la pérdida de nutrientes, así como el aumento de la salinidad o la acidez. Esta pérdida de nutrientes hace que los agricultores vean la necesidad de suplir la falta con la compra de insumos agrícolas externos, lo que provoca aumento en los costos de producción y, por ende, incremento en el precio de los alimentos y así, el crecimiento potencial de personas a vivir en la pobreza (Sánchez 2013). De acuerdo con FAO (2015), esta pérdida puede ser prevenible por medio de una gestión cuidadosa de los recursos naturales.

Otro factor que afecta la pérdida de fertilidad del suelo es la compactación, debido a prácticas agrícolas inadecuadas, esto se debe al uso excesivo de pesticidas y productos químicos, la labranza excesiva, abandono de técnicas antiguas de fertilización y la rotación de cultivos sin base científica, que implica la mezcla de cultivos incompatibles, por otro lado, se encuentra también la dosificación errónea de los fertilizantes y abonos, sin tomar en cuenta la disponibilidad de los nutrientes en el suelo (Rodríguez et al., 2019)

El cultivo de café (*Coffea arabica L.*) para su productividad efectiva requiere de una buena calidad de suelos, principalmente de gran contenido de materia orgánica. Por otro lado, el café es reconocido como un componente importante de la economía ecuatoriana, principalmente en la provincia de Loja, ya que alrededor de 5.000 familias participan activamente en la producción y mejora del cultivo, con un incremento estimado de 20 a 30 quintales por hectárea (Ministerio de agricultura y ganadería, 2022). Según Rodríguez et al. (2019) Loja produce un 20% de café de la variedad arábica, reconocido por su alta calidad y magnífico sabor, no obstante, la aplicación excesiva de fertilizantes del 30 % en la capa superficial del suelo, repercute negativamente en la productividad, nivel de acidez, fertilidad, y calidad del suelo.

Rodríguez (2019), afirma que los suelos de las zonas cafetaleras en la provincia de Loja poseen pH ácidos a ligeramente ácidos (pH < 5,5 a 5,7), con presencia de aluminio intercambiable, bajos niveles de los nutrientes N, P, Mg, K, Zn y B y toxicidad de Fe, Al y Mn, que limitan el rendimiento del cultivo. Por su parte Guerrero (2017) citado por Tandazo (2019) declara que el 67 % de los caficultores utilizan fertilizantes comerciales, sin prestar atención a las necesidades nutricionales del cultivo ni a la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Con forme a ello es fundamental realizar un análisis químico del suelo para determinar la

disponibilidad de nutrientes, presentes en el suelo, a fin de fertilizar de manera adecuada y prevenir desbalances nutricionales en los cultivos (Valle et al., 2002).

Según Wanke et al., (2023) en su estudio "Comparison of three extraction methods for soil phosphorus determination in three Oregon soils" se evaluó tres métodos de extracción de fósforo en suelos de Oregón, llegando a concluir que el método de Olsen fue el más eficiente y fácil de usar en comparación con los otros dos métodos. Por lo tanto, el estudio sugiere que el método de Olsen es una opción confiable para el análisis químico del suelo en la determinación de la disponibilidad de fósforo en suelos.

Por otra parte, en el artículo "The Use of the 'Missing Element Technique' in Nutrition Studies with Plants", se expone el método del Elemento Faltante (MEF), para determinar qué nutrientes esenciales están presentes en la solución del suelo y cuáles son necesarios para un crecimiento óptimo de la planta. La solución nutritiva completa se prepara en ausencia de la planta y se suministra a las plantas. Luego, se eliminan los nutrientes esenciales uno por uno de la solución y se registran los efectos en el crecimiento de la planta. Si el crecimiento de la planta se ve afectado negativamente después de la eliminación de un nutriente en particular, se puede determinar que ese nutriente es esencial para el crecimiento óptimo de las plantas (Kopittke et al., 2020).

Por todo lo señalado, el presente estudio se realizó con finalidad de evaluar química y biológicamente (método elemento faltante) la disponibilidad de los nutrientes actuales en el suelo de la estación experimental la Argelia, con fines de mejorar el rendimiento del cultivo de café. Zambrano (2019), manifiesta que la solución extractora de Olsen Modificada es empleada en el país por la Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador (RELASE) da a conocer la cantidad de los elementos disponibles en el suelo, no obstante, este análisis químico no siempre coincide con el valor estimado de los nutrientes aprovechables para las plantas que se obtiene al realizar evaluaciones biológicas. Por lo tanto, Vera (2023) después de haber sistematizado 12 ensayos, concluye que, al no existir correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica, es cuestionable el uso de la solución extractora Olsen Modificado, debido que extrae solo ciertos elementos por la referida solución.

Por consiguiente, el presente estudio desempeña un papel fundamental al llevar a cabo una investigación que busca establecer la correspondencia entre métodos de análisis y mejorar las prácticas agrícolas en la región. Este estudio no solo contribuirá al conocimiento científico, sino que también ofrecerá soluciones prácticas para mejorar la fertilidad del suelo, promoviendo así el bienestar de las comunidades y el desarrollo sostenible en el país.

Objetivos

Objetivo general

- Evaluar química y biológicamente la disponibilidad de los nutrientes en el cultivo del café a fin de generar un plan de fertilización para la estación experimental la Argelia.

Objetivos específicos

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

4. Marco teórico

4.1. El suelo, formación y constituyentes

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre donde se desarrolla la vida, sirve de soporte y es fuente de elementos esenciales para el desarrollo de las plantas (Molloy, 2002). Según FAO (2009), INIA (2015), Peralta (2018) el suelo está constituido por 45 % partículas minerales, 5 % materia orgánica, 25 % agua y 25 % aire. Una capa de suelo se origina a partir de la interacción de varios factores que se relacionan entre sí: el clima, organismos vivos, relieve, material originario y el tiempo, para su formación tarda millones de años, sin embargo su deterioro se acelera por prácticas antropogénicas: sobre explotación, sobrepastoreo, deforestación y la erosión (Koni, 2006; Sanzano, 2019b).

4.2. Elementos esenciales para el desarrollo vegetal

Las plantas son seres vivos y su ciclo de vida comprende nacer, crecer, desarrollarse reproducirse y morir. Posterior a la germinación se desempeñan sucesos a nivel celular, donde la planta necesita agua, alimento y demás sustancias que activan procesos que regulan su crecimiento (Moreno, 2013).

Desde el punto de vista de Mengel & Kirkby (2000) los vegetales son fábricas de materia orgánica, y su energía proviene de la radiación solar, captar del aire CO₂ y la absorción por las raíces de agua y nutrientes imprescindibles para su metabolismo. Por su parte Rodríguez & Flores (2004) manifiestan que son 17 los nutrientes esenciales entre ellos; O, H y C lo obtienen del aire, mientras que los 14 restantes son suministrados por el suelo y se clasifican en macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (Cl, Fe, Cu, Mn, Zn, B, Ni y Mo).

4.3. Funciones de los nutrientes, deficiencia y exceso

Las plantas para poder nutrirse a través de las raíces absorben los nutrientes que se encuentran disponibles en el suelo en forma de iones, para luego ser distribuidos hacia sus órganos, donde actúan como activadores de la reacción enzimática, transportadores de carga y osmo reguladores, cada planta posee rangos óptimos de tolerancia a excesos o deficiencias de estos elementos nutricionales Pereira et al. (2011). A continuación, se detalla la importancia de los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

4.3.1. Nitrógeno

El N es un elemento esencial para el desarrollo de los cultivos, además es el macronutriente que más influye en el rendimiento y calidad de los productos del sector agrícola. Se encuentra disponible en la atmósfera en un 78 % en forma molecular N₂, y en la materia

orgánica presente en el suelo en un 98 % formando compuestos orgánicos. A pesar de ello, el N de forma natural es incapaz de ser asimilado directamente por las plantas. Mientras que el N inorgánico que representa solo el 2 % del N total del suelo, al encontrarse en forma de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y nitrito (NO_2^-) si llega a ser absorbido por los vegetales (Benimeli et al., 2019).

Para Pereyra (2001), el N interviene en varios procesos metabólicos vitales para las plantas, más concretamente, la división celular y en la producción de clorofila para la realización de la fotosíntesis, es decir en la producción de sustancias como azúcares, almidones y lípidos para la nutrición y otros procesos esenciales de las plantas, principalmente. También menciona, que es un componente esencial de proteínas y aminoácidos, así como de un gran número de enzimas.

Khalajabadi (2017) y Benimeli *et al.* (2019), declaran que las deficiencias de N se manifiestan como clorosis, es decir, las viejas hojas se vuelven amarillas y a medida que aumenta, afecta a las más jóvenes, en el caso de niveles muy bajos de N hay detención del crecimiento, bajos niveles de azúcar, color indeseable, reducida producción de flores, defoliación, las plantas son más vulnerables a enfermedades y ataques de insectos. Al contrario cuando las plantas tienen exceso Navarro & Navarro (2003), argumentan que se presenta un crecimiento exagerado porque proliferan más células entonces el número de brotes aumenta, son más susceptibles a la variación climática, como la humedad y la temperatura, por lo que es más probable que se enfermen e incluso mueran, frutos con piel gruesa, bajo porcentaje de jugo y vitamina C y deficiencias de otros nutrientes.

4.3.2. Fósforo

Según Fernández (2007) e INTAGRI (2017) el fósforo es un elemento fundamental para el desarrollo vegetal responsable de la formación, almacenamiento y transferencia de energía, componente importante de las estructuras macromoleculares como son los ácidos nucleicos, fosfolípidos, fitinas, fosfo-proteínas, estimula el desarrollo radicular, promueve la floración y formación de semilla, por lo que su efecto es más amplio en todos los procesos fisiológicos, sus formas de absorción son H_2PO_4^- o HPO_4^{2-} .

Álvaro (2019) manifiesta que bajos niveles de fósforo en las plantas provocan graves daños en: el crecimiento vegetativo, hojas y órganos reproductores agrandados, el comienzo de las flores y el número de flores, formación y germinación de semillas. En algunos cultivos, visualmente la deficiencia de fósforo se expresa en las hojas superiores mediante el color

púrpura, en tanto que el exceso de este nutriente puede limitar la disponibilidad de los demás elementos.

4.3.3. *Potasio*

Es un elemento químico que en su estado natural comprende minerales primarios y meteorizados que se encuentran en el suelo. En la nutrición vegetal las formas intercambiables forman el 1 % del K total (Pérez 2017). Una de sus principales funciones es mantener los niveles adecuados del agua en la planta, también participa en la activación de enzimas en el proceso de fotosíntesis, además, transporta azúcares por medio del floema y promueve la elongación celular (INTAGRI, 2017).

En las plantas por lo general se presentan diversas anomalías respecto a la deficiencia de K , manifestándose en clorosis en las hojas medias y bajas de la planta, crecimiento lento o retrasado, tolerancia disminuida a los cambios de temperatura, defoliación sensibilidad a plagas, enfermedades y toxicidad por amonio (Larriva, 2003).

4.3.4. *Calcio*

El calcio es un macronutriente que forma parte de las paredes celulares, participa en su división y expansión, también interviene en su crecimiento y actividad enzimática (Monge et al., 1994).

De acuerdo Navarro y Navarro (2003) y al INTAGRI (2018) el calcio es absorbido generalmente en formar Ca^{+} , en las plantas, se encuentra presente en protoplasma y las membranas celulares. Debido a las funciones esenciales que cumple, la deficiencia de calcio se manifiesta a través de síntomas como la clorosis, un desarrollo radicular con coloración parda y en ocasiones las hojas se enrollan acompañada de necrosis en los bordes. La deficiencia tiene un impacto negativo en el crecimiento de la planta. Por ejemplo, en el cultivo de tomate, puede provocar la pudrición apical, mientras que en el maíz se traduce en una disminución del rendimiento y malformaciones.

4.3.5. *Magnesio*

De acuerdo con Cakmak & Yazici (2010) el Mg tiene un sinnúmero de funciones importantes en las plantas, entre las que podemos citar: fotofosforilación (principal almacenamiento de energía de las plantas), fijación de CO_2 durante la fotosíntesis, síntesis de proteínas, formación de clorofila, transporte de floema, separación y utilización de materiales compactos fotosintéticos, y procesamiento foto oxidativo en hojas. Por su parte, Estrada (1981)

afirma que el Mg se encuentra presente en los minerales primarios, secundarios y en suelos no calcáreos esta entre el 0,1 y 1, 0%.

Muchos procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas se ven gravemente afectados por las deficiencias de nutrientes como el Mg que dan como resultado un crecimiento y una productividad deficientes (Mengel & Kirkby 2000). Gil & Pszczólkowski (2015) declaran que la baja concentración de Mg, se presentan en suelos altamente encalados o con dosis altas de K , mostrando hojas viejas con síntomas de clorosis desde adentro hacia fuera de los bordes, reducción de la fotosíntesis y aumento de defoliación en los cultivos.

4.3.6. Azufre

El azufre es un elemento muy abundante en la naturaleza se presenta en forma insoluble, soluble y generalmente en sales y gases. Interviene en el crecimiento de las plantas, es necesario para muchas reacciones que ocurren en las células vivas, un componente básico en las síntesis de las proteínas, también participa en la formación de la clorofila y síntesis de vitaminas, para que los cultivos logren un desarrollo normal se habla de una relación N/S de 10:1 (Colacelli 2001; Corrales et al., 2013).

Las plantas con deficiencia de azufre tienden a crecer y madurar lentamente, también son de color verde pálido o amarillo verdoso, similar al observado en casos de deficiencia de N, la clorosis se desarrolla primero sobre follaje. Actualmente se observan más cultivos con síntomas de deficiencia de S, al menos debido a que los fertilizantes más utilizados no proporcionan la cantidad de S necesaria y por la optimización y el manejo de genes que ha llevado a que los cultivos de alto rendimiento eliminan una gran cantidad de azufre del suelo (Sanzano, 2019a).

4.3.7. Zinc

El zinc es un micronutriente sustancial en el acrecentamiento de los vegetales, cuya disponibilidad en el suelo es de gran importancia en muchos cultivos, sin embargo, la cantidad requerida por los cultivos es muy pequeña y varía entre 15 y 20 mg/kg de tejido seco equivalente al 0,1%. Por otra parte es necesario para realizar la fotosíntesis y la metabolización de los carbohidratos (Amezcuca, 2017).

Una de las deficiencias de este nutriente radica en la inhibición de la síntesis de proteínas, afectando la actividad catalítica, por lo general los síntomas se exhiben en las hojas jóvenes, tornándose cloróticas; adicionalmente se suman manchas necróticas en las orillas o en las puntas, se produce crecimiento deficiente con torceduras y deformidades. Otro aspecto son

los entrenados cortos, y reducción de florecimiento y ramificaciones (González et al., 2018; López, 2022).

4.3.8. Cobre

El cobre (Cu) es un elemento crucial para las plantas, es necesario para que completen su ciclo de vida, que incluye producir semillas viables. Este elemento está mayormente presente en el suelo como calcopirita, en combinaciones orgánicas y como catión conmutable en los coloides del suelo, pero no siempre está disponible en el suelo. Algunos factores, como el pH, inciden en su disponibilidad porque disminuye cuando el pH es mayor a 7 y aumenta cuando es menor a 6 (Morales, 2012).

Villegas *et al.* (2015) sustentan que el Cu funciona como cofactor de varias enzimas, incluidas el superóxido dismutasa, el citocromo oxidasa, la amino oxidasa, la casa, la plastocianina y el polifenol oxidasa, además de desempeñar un papel crucial en la transcripción y el transporte de proteínas. También participa en procesos bioquímicos como la fotosíntesis, la respiración, la respuesta al estrés oxidativo, el metabolismo de la membrana celular.

Una baja concentración de Cu según Prochnow *et al.*(2009), Kirkby & Volker (2007) tiene efectos adversos en las plantas por ejemplo la actividad de las enzimas se reduce drásticamente cuando hay una deficiencia de cobre, como resultado de concentraciones más bajas de plastocianina, una proteína que contiene cobre, se reduce la cantidad de transporte de electrones fotoquímicos.

Cuando el umbral de fijación de CO₂ se reduce, a su vez minimizan la cantidad de alcohol metílico y carbohidratos solubles. Por lo cual, es la principal causa de la baja producción de materia seca en plantas que sufren deficiencia de Cu, principalmente durante el crecimiento vegetativo. Existen evidencias que el Cu es necesario para el proceso de determinación de la concentración de N₂, por la falta de suministro de carbohidratos para los nódulos de la planta leguminosa, lo que provoca la restricción del crecimiento y la escasez de N (Kirkby & Römheld, 2008).

4.3.9. Hierro

El hierro es uno de los nutrientes que en su mayoría presenta problemas en relación a la nutrición vegetal, debido a su participación en la formación del pigmento clorofila y su papel estructural en el primer aceptor de electrones, la ferredoxina, el hierro se considera un microelemento esencial para el desarrollo físico de las plantas. El contenido de este elemento en los tejidos vegetales varía entre 20 y 250 mg/Kg de materia seca, se asimila en forma ferrosa

(Fe_2^+) y en forma orgánica. Además, la madera del árbol juega un papel importante en los procesos respiratorios de la planta y en el desarrollo de la proteasa (Juárez et al., 2007).

A pesar de su abundancia Zhunaula (2016) afirma que las plantas no pueden asimilarlo en las cantidades adecuadas, lo que lleva al desarrollo de clorosis férrica. Esta mala absorción es causada por el hecho de que el Fe^+ normalmente existe en forma catiónica de Fe_3^+ insoluble, que es difícil de asimilar para las raíces de las plantas. Esto es especialmente cierto para suelos ácidos con altos niveles de pH, ya que, en ellos, el equilibrio natural entre las formas de Fe_2^+ y Fe_3^+ se desplaza claramente hacia este último (Simposio internacional sobre la nutrición e interacción del hierro, 2016).

4.3.10. Manganeseo

El manganeso es uno de los micronutrientes básico para el crecimiento y desarrollo regular de las plantas, Gómez & Sotés (2014) ; INTAGRI (2018) sostienen que a pesar de ser requerido en poca cantidad es tan importante como la de N o K. Sus principales funciones son contribuir a los procesos de síntesis de clorofila, asimilación de nitratos, síntesis de vitaminas (incluyendo riboflavina, ácido ascórbico y carotina), síntesis de aminoácidos, síntesis de ATP, síntesis de lignina, activación hormonal y división celular.

Además, son importantes en los siguientes procesos: fotosíntesis, respiración, fotólisis del agua, reacciones de reducción oxidativa, activación enzimática, metabolismo de las lipoproteínas, nitrificación y transporte de N, P, Ca y Mg. Además, es fundamental en la madurez fisiológica de los granos. Cuando los componentes relacionados con las enzimas están involucrados en las reacciones, este elemento puede actuar en lugar del Mg. (Santos et al., 2010)

La relación entre una deficiencia o carencia de manganeso y una abundancia del mineral en el suelo, está relacionada con los efectos que ambas situaciones pueden tener sobre una planta, así como con los requerimientos de esta última. Sin embargo, la relación no es exactamente la misma. Todos los cultivos son propensos a sufrir una deficiencia de Mn, sin embargo los cultivos más susceptibles son los cereales como el frejol, maíz y diferentes tubérculos tales como papas, remolachas, como resultado se tiene el pintado gris en la avena, el pintado amarillo en las espinacas, las manchas marrones de las arvejas, la necrosis veteada del tallo en la papa y la más frecuente el acorchado de la manzana (Novillo y Álvarez, 2009).

4.3.11. Boro

El mineral boro es esencial para que las plantas completen su ciclo de vida porque juega un papel en procesos metabólicos y estructurales esenciales. Las plantas severamente deficientes en boro presentan anomalías en su crecimiento, desarrollo y reproducción, y sus deficiencias están vinculadas a síntomas específicos que solo pueden tratarse mediante la adición de este elemento. El boro es poco móvil en el interior de las plantas y es absorbido por las plantas en forma de H_3BO_3 o $B [OH]_3$ (Vera, 2001).

Es importante señalar que las deficiencias de boro en las plantas pueden hacerlas más vulnerables a las enfermedades que atacan las raíces, porque debilitan las defensas celulares, haciéndolas fácilmente penetrables por los agentes patógenos. Otro proceso en el que influye el B es la fijación biológica de N. Las leguminosas necesitan de este elemento para realizar esta función, y se ha establecido que su carencia impide la fijación de N. La reducción de la actividad nitrogenasa hace que las plantas sean más vulnerables a la radiación solar (Gutiérrez & Torres, 2013).

Por otra parte, Navarro & Navarro (2003) menciona que la alteración depende del estado fisiológico del cultivo considerándose características comunes la disminución en el crecimiento, menor superficie foliar para concentración de clorofila y gran resistencia a las infecciones. Una enfermedad muy común que se presenta en la remolacha es la denominada corazón podrido.

4.3.12. Molibdeno

Este micronutriente se absorbe mediante el proceso de oxidación molecular, la presencia de SO_4^{2-} puede afectar su absorción. La importancia del molibdeno radica en su papel como componente esencial de las enzimas conocidas como nitrogenasa y nitrato reductasa, que intervienen en la fijación biológica del N y la conversión del nitrato en amoníaco, respectivamente. Por estas razones, existe un vínculo entre las deficiencias de molibdeno y el metabolismo del N (Rodríguez y Flores, 2004).

Según Navarro y Navarro (2003) es muy común que la deficiencia se presenta en suelos ácido, por lo general sus síntomas de siempre están relacionados con el metabolismo del N. La clorosis está progresando, ya sea que esté completamente presente como la totalidad de las manchas o solo parcialmente presente como manchas marginales. Varían de una especie a otra, pero en general aparecen primero en las hojas maduras seguidas por las más jóvenes hacia el punto de crecimiento, de forma gradual y constante. Dado que el Mo es esencial para la fijación

simbiótica de N, se observa con frecuencia en plantas leguminosas. Por el contrario los excesos de Mo en las plantas son muy escasos ya que éstas pueden soportar niveles muy altos del elemento presente en sus tejidos.

4.4. Propiedades Químicas del suelo

4.4.1. Intercambio catiónico

De todos los procesos que tienen lugar sobre el suelo, el intercambio catiónico es el más significativo, y se define como el número de cargas negativas presentes en el suelo es lo que se entiende por el término "capacidad de intercambio catiónico", que se expresa como meq/100 g de suelo (Carvajal, 1997).

A valores altos de la CIC existe una gran disponibilidad de los diferentes elementos en el suelo, a menores a 10 meq/ 100g.s, son bajos, entre 10 y 20 medios, de 20 a 30 altos y mayores a 30 muy altos (Abrego, 2012).

4.4.2 pH

El pH es una propiedad química importante ya que mide el grado de acidez o alcalinidad en una solución acuosa. Generalmente la escala es logarítmica con valores entre 0 a 14 con una disminución de pH menor a 7, el agua se hace más ácida y si este aumenta se vuelve básica (Osorio, 2012).

Los suelos ácidos se dan en sistemas productivos por las siguientes razones: remoción de nutrientes por el cultivo y lavado de bases, aplicación de fertilizantes nitrogenados y el contenido del aluminio y su reacción en cadena (Mira *et al.* 2012). El problema principal es la toxicidad del aluminio a pH ácidos es que se desarrolla mayor cantidad de Al_3^+ que tiene efectos directos en el metabolismo de las plantas. Esto incluye interferir con el transporte de iones y agua a través de las membranas celulares de la raíz lo que evita que las plantas reciban los nutrientes que necesitan para crecer (Sadeghian, 2016 y Rivera *et al.*, 2018).

4.6. Fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo es la capacidad del suelo para proporcionar las condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Esta condición es el resultado de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Estas características no actúan de manera independiente a la hora de brindar las mejores condiciones para el establecimiento de las plantas; más bien, interactúan armoniosamente para determinar la fertilidad del suelo. Por ejemplo, un suelo puede tener elementos minerales adecuados

(fertilidad química) pero no estar en buenas condiciones físicas, o puede ocurrir lo contrario. Asimismo, la fertilidad del suelo es insuficiente para el crecimiento de las plantas; en muchos casos, el clima juega un papel significativo y determinante. (Sánchez, 2012).

Existen dos tipos de fertilidad, la natural con la que le suelo viene, mientras que la adquirida es obtenida a través de la fertilización química. La respuesta de la planta a la alta fertilidad es limitada, sin embargo, a la baja fertilidad, existe una alta probabilidad de respuesta y por lo tanto mayor demanda de nutrientes (Pozas, 2008).

4.7. Condiciones físicas de los suelos de la Región Sur del Ecuador

En Ecuador, la calidad y cantidad de la información disponible sobre los suelos es crucial, por lo que se requieren datos más completos para apoyar la toma de decisiones en los procesos de producción agrícola y forestal (Jiménez *et al.* 2007). Ante lo expuesto Valarezo *et al.* (2020) argumentan que en los suelos con clase textural Franco arcilloso (FoAc), la longitud de los perfiles son menores a los 180 cm; con densidad aparente de 0,63 a 1,83 g.cm⁻³; % de capacidad de campo, % de punto de marchitez permanente entre 9,87 a 36,21; Capacidad de aireación de 0,93 a 8,27, % de agua aprovechable que rodea de 11,44 a 38,57.

4.8. Evaluación química de la fertilidad del suelo

De acuerdo con Briones *et al.* (2021) la mayor parte de la vida en la tierra depende del suelo, que es el recurso natural más importante. La composición química del suelo varía constantemente, produciendo una infinidad de tipos diferentes de suelo. La mayoría de los suelos ahora requieren el uso de fertilizantes N, P, K, Ca y Mg para lograr altos rendimientos y buena calidad del producto, por lo que es esencial monitorear continuamente el suelo donde se desarrollan los cultivos. Cuando el ambiente apropiado está presente pero los servicios proporcionados por la tierra son inadecuados, no podrán alcanzar altos niveles de rendimiento.

Todo buen agricultor debe llevar un registro de las composiciones químicas del suelo que se usa, durante y después de la producción. De esta forma, se realiza una contabilidad precisa de los nutrientes que han sido removidos y reemplazados en el suelo, y el productor podrá aplicar los fertilizantes requeridos para producir cosechas de alta calidad y mantener un suelo saludable. Por lo tanto, es crucial evaluar la fertilidad química del suelo en cualquier sistema de producción inicial (FAO, 2000).

4.9. Métodos directos para el análisis químico de la fertilidad de los suelos.

Galán (1988) afirma que los análisis del suelo son necesarios para identificar su composición y la cantidad de elementos minerales rápidamente asimilables que contiene a

través de un conjunto de hallazgos. Como resultado, brindan a los agricultores la oportunidad de agregar la cantidad y calidad necesarias de elementos ricos en nutrientes al suelo, como minerales (químicos), esteroides, purinas o residuos de cosecha (orgánicos). El análisis de suelo es un paso crucial para lograr los resultados de una fertilización adecuada, es por esto que se han desarrollado un sinnúmero de soluciones extractantes, de las cuales la mayoría está constituida por compuestos químicos entre ellos; sales, ácidos, bases, compuestos complejantes, etc. A continuación, se describen algunas de ellas:

Solución extractora Mehlich I. Es una solución extractante multi elemental compuesta por HCl y SH desarrollada por Mehlich en 1953 y más conocido como el método de doble ácido. Es adecuado excepto en suelos alcalinos, ya que extrae la mayoría de los nutrientes del suelo necesarios para determinar el su grado de fertilidad (Castellanos y Rodríguez, 2021; Chonay, 2000).

Solución extractora Mehlich III. Se considera una solución multi elemental con medios en ICP, que permite conocer la disponibilidad de macronutrientes como Ca, P, y entre los micronutrientes el Fe, Mn, Cu, Zn y adicionalmente también metales pesados tales como Cr, Pb, Cd, Ni, no es recomendable en suelos calcáreos (Fouz et al., 2007; Castellanos y Rodríguez, 2021).

Morgan modificado. Está compuesta por acetato de amonio [NaOAc] más ácido acético o [CH₃COOH]), fue presentada en 1941 por Morgan M.F., es ideal para la extracción de P, Ca, Mg, Cu, Zn y Mn a pH de 4,8 en suelos de ácidos a neutros, (Cabalceta, 1995; PRIICA, 2016; Molina & Bornemisza, 2021).

Solución extractora Olsen modificada. Esta solución contiene en 10 litros 0,5 g de Superfloc 127, NaHCO₃ 0,5 M, EDTA 0,01 M y 0,5 g. La concentración de fósforo en la solución aumenta a medida que disminuye el pH en suelos ácidos que incluyen fosfatos ligados a Al y Fe, esto responde a que la concentración de Al, Ca, F y otras precipitaciones secundarias son las más bajas (Alfaro, Mozón, et al., 2019). Tandazo (2019) citando a (RELEASE, 2016) afirma que generalmente se utiliza para la extracciones de algunos macro y micronutrientes; P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe y Mg.

Solución extractora Bray I. Es una solución que se constituye por fluoruro de amonio (NH₄F) a 1 Molar y Ácido Clorhídrico HCl a 0,5 M, no apta para suelos calcáreos. Esta solución cuenta con principios fundamentales, para llevarse a cabo, en primera estancia los nutrientes del suelo deben ser extraídos de forma proporcional; la cantidad extraída debe medirse con exactitud y gran velocidad y correlacionarse con el crecimiento del cultivo a varias condiciones de manejo de los nutrientes (González et al., 2007; Boschetti, 2012).

Solución extractora Bray II. Bray en 1945 combinó el HCl y NH_4F para extraer el P en sus diferentes formas, esta solución tiene como principio la solubilidad de compuestos que forma el ión F^- y la acidez de la misma, cuyo pH es menor a 3. Por lo general es un método adecuado para suelos de pH ácido (Zapata, 2012; Carrero et al., 2015)

4.10. Utilización de la solución Olsen Modificado

Según Chavéz (2011) en el Ecuador la mayoría de los laboratorios disponibles para el análisis de los suelos emplean el método de solución Olsen Modificado para la determinación de macro y micronutrientes, por tener ventaja frente a otras soluciones cuya limitación es excedente, evidencia de aquellos son las siguientes investigaciones y documentación existente que se presenta a continuación:

En los años de 1998 a 2008 el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas “DMSA” ejecutó un historial de concentración de nutrientes disponibles mediante el uso de la extracción con solución alcalina Olsen Modificado (Chavéz, 2011). Otros investigadores aplicaron el procedimiento en el laboratorio de los suelos de la Universidad politécnica estatal del Carchi, en (2018) para la determinación de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn asimilables.

Valverde & Alvarado (2009) para realizar recomendación de fertilización de papa en los Andisoles de la sierra Alta de Ecuador, se descifró el contenido de P mediante análisis químico de suelos con el método Olsen modificado terminando 42 ppm de P presentes en los Andisoles.

La solución extractante Olsen Modificado fue usada para la determinación de: K, Ca y Mg por Tomita (2020) en su investigación en la provincia de Imbabura y Pichincha. Por otra parte en la Costa y Sierra Ecuatoriana generalmente en los análisis de suelos en cuanto a la determinación de macronutrientes y micronutrientes; P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe y Mn se usa el método Olsen modificado, que es una solución efectiva, para la interpretación y resultados en cuantos a la cantidad de los elementos nutritivos presentes en el suelo (Aucatoma, 2017)

4.11. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo

Hay que mencionar que el uso de plantas indicadoras en campo o en condiciones invernales es una forma rápida de detectar la deficiencia de nutrientes en el suelo utilizando la técnica del elemento faltante o aditivo. Esta técnica se clasifica como un método biológico en el que las plantas se utilizan para evaluar cómo responderían a la variabilidad nutricional de los suelos. Además sostienen que el objetivo principal de esta práctica es establecer la

capacidad de un suelo para proporcionar los nutrientes necesarios para un crecimiento adecuado (Arotoma, 2018).

Una de sus ventajas más significativas es el control relativo de las condiciones ambientales que existen en condiciones climáticas invernales, tales como temperatura, luz, disponibilidad de agua, parásitos, hongos y otros, excluyendo el efecto de la fertilidad del suelo en el proceso. Mientras que la desventaja de esta tecnología es que está fuera del alcance de la mayoría de los agricultores, ya que requiere que se cumplan ciertas condiciones y porque las conocidas soluciones de concentración que utiliza solo se pueden hacer en un laboratorio. Además, debido a que las condiciones externas están controladas, sus resultados no pueden extrapolarse inmediatamente al campo Bertsch (1982) citado por (Galvis, 2017).

4.12. Evaluación química y biológica en suelos del Ecuador

En la investigación realizada por Zhunaula (2016), en la evaluación química y biológica en cantón Catamayo, se tomó como referencia el estudio suelo detallado del INERHI (1984) por su metodología y hallazgos. Al actualizar esta información, se concluye que las muestras de suelo son de mala calidad, con valores de pH que van desde alcalino hasta casi neutro, un C.I.C. en el medio, un rango de material orgánico, y un rango de sumas de base total de moderado a alto. Evaluar biológicamente la disponibilidad de los elementos N, P, K, Mg, S, Zn, Cu, Mn, B y Fe en plantas indicadoras de tomate en las que se evaluaron las variables de altura y biomasa seca, finalmente se llegó a la conclusión de que la mayor deficiencia se presentaba en los nutrientes N, P y S y al realizar la correspondencia todos los nutrientes presentan una correlación positiva.

Por su parte Burneo, (2012) examinó la fertilidad del suelo de Panguintza, ubicado en el cantón Centinela del Cóndor, en la provincia de Zamora Chinchipe, después de ser tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes. Los resultados indicaron que los elementos Nitrógeno, Fósforo y Boro fueron deficientes en los suelos en los doce tratamientos del experimento. Además, se observó que la correlación entre la biomasa seca y los niveles de nutrientes extraídos mediante la Solución de Olsen Modificada fue muy baja e incluso negativa, a excepción de Potasio y Magnesio, que mostraron una correlación moderada ($r=0.68$ y 0.56). Esto sugiere que se debe revisar el método de análisis de laboratorio para los elementos disponibles en los suelos de la región sur de la Amazonía Ecuatoriana. El enfoque biológico resultó ser más sensible para evaluar la disponibilidad de nutrientes, teniendo en cuenta factores como la fertilización, las especies arbóreas y la cantidad de biocarbón, a diferencia de los análisis de laboratorio.

En la parroquia Vilcabamba el sector de Cucunamá, Rogel 2021, recopiló información sobre los nutrientes disponibles N, P, K, S, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B, analizados químicamente y la evaluación biológica (elemento faltante), donde se utilizó plantas indicadoras de tomate con su respectiva solución nutritiva, para posteriormente realizar una comparación entre los dos métodos. Como resultado se obtuvo que el N, P, K, y S fueron los elementos más deficientes; y, en el análisis comparativo se evidenció que el N, P, K, Mg, S, Cu, y B no presentó correspondencia entre la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico

Ante los estudios expuestos se ha demostrado que no existe correspondencia entre la evaluación bioquímica y la solución extractora modificada de Olsen para los elementos N, P, K, S, Mg y B.

4.13. Fertilización del Café

Actualmente las demandas del creciente mercado, aumenta la necesidad de introducción de alternativas tecnológicas que conduzcan a mejorar la sustentabilidad económica de la producción, entre los aspectos más importantes está el uso de fertilizantes en los cultivos, entre ellos el café que requiere de 16 o más elementos, que varían según su estado de crecimiento, que se clasifican en cuatro etapas: germinativa, almácigo, levante y crecimiento reproductivo. Actualmente los productores a nivel mundial tienen están sometidos a mercados muy competitivos y se busca la investigación en números experimentos en torno a la nutrición cafetalera esperando mejores rendimientos a corto plazo (Marín, 2008).

Requerimientos nutricionales. La práctica de la fertilización ayuda al crecimiento óptimo y al logro del máximo potencial de rendimiento de una planta en el cultivo del café. Esto se consigue a través de un plan general de saneamiento o un plan ajustado a los resultados de un análisis de suelo. Sea cual sea la opción elegida, su éxito depende en gran medida de la oportunidad y pertinencia con que se lleve a cabo. Este aspecto involucra otros factores como el tipo de suelo, la edad de la planta, la etapa de desarrollo en la que se encuentra el cultivo, así como la disponibilidad de agua y radiación solar, en la tabla 1 se escatima en la cantidad de elementos nutritivos que el cultivo de café necesita (González et al., 2014).

Tabla 1.

Requerimientos de macro y micronutrientes en cafetales (Kg/ha).

| Autores | N | P | K | S | Ca | Mg | Zn | Fe | Mn | B | Cu |
|----------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| YARA,(2018) | 163 | 26 | 154 | 14 | 74 | 33 | 0,4 | 2,20 | 0,74 | 0,19 | 0,36 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|-----|----|-----|----|----|----|-----|-----|------|-----|------|
| Ministerio de Agricultura y Riego, (2022) | 180 | 80 | 190 | 20 | 63 | 20 | - | - | - | - | - |
| Morales et al., (2019) | 250 | 17 | 105 | 60 | 30 | 20 | 0,7 | 3,8 | 1,15 | 0,3 | 0,55 |
| Vignola et al., (2018) | 300 | 50 | 200 | 60 | 80 | 80 | 10 | - | - | 6 | - |
| Sadeghian & González, (2012) | 300 | 50 | 280 | 50 | | 50 | - | - | - | - | - |
| Iñiguez, (2007) | 286 | 74 | 291 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Valarezo (2014) | 100 | 60 | 100 | 5 | 80 | - | - | - | - | - | - |

Fuente: Tandazo (2019)

Relaciones entre cationes intercambiables. Las cargas eléctricas negativas que poseen las arcillas y el suelo ayudan a retener los elementos cargados positivamente, tanto las de Al^{3+} e H^+ , y las de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ evitando que se pierdan por lixiviación, en esta fase los cationes retenidos se intercambian con aquellos que se encuentran en la solución del suelo, es decir los suelos con mayor carga negativa poseen mayor CIC.

Tabla 2.

Relaciones entre cationes intercambiables adecuados para el cultivo de café.

| Relaciones entre cationes | Rangos óptimos (cmol kg ⁻¹) | Nivel crítico (cmol kg ⁻¹) | Recomendación |
|---------------------------|---|--|-------------------|
| Ca Mg ⁻¹ | 2, 2,6 a 8,0 | <2,6 | Adicionar Ca |
| | | >8,0 | Adicionar Mg |
| Ca Mg ⁻¹ | 7,5 a 15,0 | <7,5 | Adicionar Mg |
| | | >15,0 | Adicionar K |
| (Ca + Mg)K ⁻¹ | 27,5 a 55,0 | <27,5 | Adicionar Ca y Mg |
| | | >55,0 | Adicionar K |

Fuente: Adaptado de Enríquez & Duicela , (2014).

5. Materiales y métodos

5.1. Ubicación política, geográfica y características biofísicas de la Quinta Experimental La Argelia.

La presente investigación se realizó en la quinta experimental La Argelia misma que se encuentra en el cantón Loja y provincia de Loja, en las siguientes coordenadas geográficas: 4° 02'17" Sur, una longitud de 79°11'54" Oeste Sur, y una altitud de 2 154 m.s.n.m. La temperatura media es de 17 ° C, con precipitaciones anuales de 1031,4 mm/ año, humedad relativa media 78 % y una velocidad del viento media 3 Km h⁻¹ (INAMHI, 2019).

Figura 1.

Ubicación geográfica del sector de estudio.



Fuente: El autor.

5.1.1. Materiales y Equipos

Para realizar la evaluación química y biológica del suelo de la Quinta Experimental La Argelia se usó 144 recipientes de plástico con capacidad de 700 ml, 144 vasos de plásticos de 150 ml, semillas de tomate riñón variedad Floradade, fundas de papel y plástico, tamices, pipetas, recipientes plásticos de 20 l, baldes, media nylon, muestras de suelo, balanza de precisión 0,1 g, estufa, ligas de goma delgadas, barreno, flexómetro, marcadores y etiquetas de identificación.

5.2. Metodología

5.2.1. Análisis químico del suelo.

Se recolectó 4 muestras alteradas en total, una muestra de cada uno de los 4 bloques de la zona de estudio, hasta una profundidad de 25 cm, para el análisis químico, donde se determinó: pH, elementos disponibles (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe, B, Zn), capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, estación experimental Santa Catalina (INIAP).

5.2.2. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo

5.2.2.1. Diseño Experimental. El ensayo se realizó un diseño bifactorial completamente al azar, con 12 tratamientos y 3 repeticiones. Se recolectó 4 muestras de suelo del sector los Molinos en la Quinta Experimental la Argelia (Anexo 1), a una profundidad de 25 cm, con un peso de 12 kg de suelo por cada bloque, de los cuales se dividió: 1 kg para análisis químicos que se envió al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y 11 kg para la evaluación biológica (12 soluciones nutritivas con 3 repeticiones y 4 bloques con diferentes factores de N, número total de plantas 144) (Tabla 3). Las muestras extraídas en los 4 bloques fueron sometidas a los tratamientos que son las soluciones nutritivas (SC, -N, -P, -K, -Mg, -S, -Fe, -Mn, -Zn, B y -Cu, Testigo), cuyas variables a tomar en cuenta son la altura de planta de tomate (cm) y peso de materia seca (g), a las cuales se les aplicó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% para discriminar las medias.

Tabla 3.

Factores y Niveles de evaluación.

| FACTOR | NIVELES |
|------------------------|----------------------------------|
| A. Solución 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) |
| | 0 N ha-1 |
| | 150 N ha-1 |

| | |
|--|------------------------|
| B. Uso del suelo: Bloques de la Quinta Experimental la Argelia | 200 N ha-1 250 ha-1 |
|--|------------------------|

Fuente: Elaborado por el autor (2023)

Especificaciones del ensayo.

- Número total de unidades de uso de suelo: 4
- Número de niveles soluciones: 12
- Número total de unidades experimentales: 144
- Número de repeticiones: 3
- Número total de plantas: 144

5.2.2.2. Cálculo de la cantidad de nutrientes. Para el cálculo de cada nutriente que contiene la solución nutritiva se consideró las sales minerales utilizadas en la investigación, la cantidad de meq/l de las sales para preparar las soluciones nutritivas, el equivalente químico y la concentración de cada sal.

Mediante relaciones aritméticas se calculó la cantidad de nutrientes o requerimiento del cultivo de tomate para el periodo de 60 días, para cada una de las 11 soluciones nutritivas (Anexo 3)

5.2.2.3. Preparación de las soluciones nutritivas. En las Tablas 4 y 5 se detallan las cantidades y tipos de sales que se emplearon la para la elaboración de las soluciones madre de los macros y micro nutrientes.

Tabla 4.

Cantidades de sales requeridas de macronutrientes para la Evaluación Biológica.

| Nombre | Macronutrientes | Cantidades para 1 L de solución |
|-----------------------|--|---------------------------------|
| Nitrato de Calcio | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | 118 g |
| Nitrato de Potasio | KNO_3 | 101 g |
| Fosfato Mono potásico | KH_2PO_4 | 136 g |
| Fosfato Mono Sódico | NaH_2PO_4 | 120 g |
| Sulfato de Potasio | K_2SO_4 | 87 g |
| Sulfato de Magnesio | $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 123 g |
| Cloruro de Magnesio | $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 101 g |
| Cloruro de Calcio | $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 109 g |
| Cloruro de Sodio | NaCl | 58 g |

Fuente: Tandazo (2019)

Tabla 5.

Cantidades de sales requeridas de micronutrientes para la Evaluación Biológica.

| Nombre | Micronutrientes | Cantidades para 1 L de solución (g/l) |
|---------------------|--|---------------------------------------|
| Cloruro de Magnesio | MnCl ₂ .4H ₂ O | 1,81 |
| Ácido Bórico | H ₃ BO ₃ | 2,86 |
| Sulfato de Cinc | ZnSO ₄ .7H ₂ O | 0,22 |
| Sulfato de Cobre | CuSO ₄ .5H ₂ O | 0,16 |
| Molibdato de Amonio | (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O | 0,04 |
| EDTA | NaFe.EDTA | 32,75 |

Tras la elaboración de las soluciones madre detalladas en la Tabla 6, se indican los volúmenes en mililitros de estas soluciones madre necesarias para crear 1 litro de las soluciones nutritivas.

Tabla 6.

Volúmenes de solución madre para 1L de solución nutritiva

| Fertilizantes | 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 | 6 |
| KNO ₃ | 2 | 2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| KH ₂ PO ₄ | 2 | 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 | 1,5 |
| MgCl. 6H ₂ O | | | | | | 1,5 | | | | | |
| CaCl. 6H ₂ O | | 6 | | | | | | | | | |
| NaCl | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NaFe - EDTA | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| MnCl ₂ . 4H ₂ O | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| H ₃ BO ₃ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| ZnSO ₄ . 7H ₂ O | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| CuSO ₄ . 5H ₂ O | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Fuente: Tandazo (2019)

5.2.2.4. Preparación de las muestras de suelo. Se tomaron muestras de suelo del sector los Molinos en la Quinta Experimental la Argelia del cultivo de café. Estas muestras se secaron sin contacto al sol, bajo un ambiente de cubierta libre de impurezas.

5.2.2.5. Preparación de los recipientes. Se usaron como macetas vasos pasticos de 250 ml, estos se perforaron en la parte inferior y se les ubicó un tejido nylon en la base, sujetado por una liga de goma y a su vez asegurada con cinta. Mientras que las tapas de los recipientes (tarrinas), se les realizó un corte circular en el centro para colocar el vaso que contiene la muestra de suelo, de esta manera el vaso plástico queda sumergido aproximadamente 1 cm desde la base, en la solución nutritiva que está colocada dentro de la tarrina. (Anexo 17)

5.2.2.6. Siembra de la planta indicadora de tomate. Previamente a la siembra se dejó el vaso con muestra sumergido a 1 cm de la base dentro de la solución nutritiva por 24 horas, para que por efectos de capilaridad la muestra se mantenga húmeda, A continuación, se sembró dentro de cada vaso, tres semillas de la planta indicadora, días después de la germinación se realizó la selección de la planta más fuerte, cortando las demás y dejándola continuar con su desarrollo.

5.2.2.7. Reposición de la solución nutritiva. La cantidad de solución nutritiva fue repuesta según el nivel que esta contenía en la tarrina de acuerdo a la evapotranspiración del cultivo durante los 60 días del ensayo

5.2.2.8. Evaluación de variables. Las medidas de altura se registraron mediante el uso de una cinta métrica desde el nivel del cuello de la planta hasta su ápice, durante 60 días después de la germinación. Finalmente, para el secado de la biomasa se corta la planta de tomate a nivel del cuello y se coloca en la estufa a 60°C durante cuatro días para determinar la biomasa seca.

5.2.2.9. Difusión de resultados. A los 55 días después de la germinación de las plantas se realizó una difusión de los resultados en una salida de campo con presencia de docentes y alumnos del tercer ciclo de la carrera de Ingeniería Agrícola en la cual se expuso los 12 tratamientos que fueron sometidas las plantas de tomate.

5.3. Metodología para establecer la correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica de la fertilidad actual del suelo.

Se hizo un promedio de las 3 repeticiones de cada tratamiento para realizar el cálculo de cada uno de los elementos del sector de estudio.

Se realizó la correspondencia entre la interpretación del análisis químico frente a la interpretación de la evaluación biológica, con ayuda de una hoja electrónica, en la cual la variable independiente que está compuesta por dos factores que son los tratamientos y las muestras de suelo que fueron sometidas a diferentes dosificaciones de N de los cuatros bloques, y la variable dependiente que corresponden a los datos obtenidos en la evaluación biológica como es el peso de la biomasa seca.

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

- Se determinó la cantidad de agua consumida (l) en el ciclo del cultivo en cada uno de los bloques, con el registro diario de solución nutritiva a cada unidad.
- Se transformó el requerimiento del cultivo de tomate expresado de los macronutrientes en meq/L a ppm.
- Se consideró las sales minerales utilizadas en las investigaciones (Tabla 4 y 5), la cantidad de meq/L de las sales para preparar las soluciones nutritivas o stock (Tabla 6), el equivalente químico (Anexo 3) y la concentración de cada sal (Anexo 4).
- Mediante relaciones se calculó la cantidad de nutrientes o requerimiento del cultivo de tomate para el periodo de 60 días, para cada una de las 11 soluciones nutritivas. Teniendo en cuenta que para macronutrientes se calculó en meq mientras que para micronutrientes se tomaba en cuenta mg/L.
- Se sumó el aporte de nutrientes de cada una de las sales para definir el contenido total del nutriente de la solución completa por ejemplo del N.
- En función del volumen de la solución nutritiva consumida en cada bloque se determinó la concentración de nutrientes contenidos en cada uno (mg).
- Para el cálculo correspondiente se utilizó el volumen de agua consumida (L) y la cantidad de nutrientes de cada sal (mg/L), mediante una regla de tres simple se determinó la concentración de cada elemento en mg de cada compuesto.

5.3.1. Correspondencia entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica.

Una vez determinado los valores de la evaluación biológica (%) se realizó la correspondencia con los análisis químicos, para ello fue necesario la utilización de los rangos de Alto, Medio y Bajo de cada uno de los nutrientes (Tabla 7).

Los resultados fueron agrupados según los parámetros antes mencionados, verificando que este rango coincide tanto en la evaluación biológica como análisis químico para que existirá relación.

Tabla 7.

Correlación entre los del análisis químico y de la evaluación biológica.

| Parámetro | % | |
|------------------|----------|---|
| Bajo | < 33 | B |
| Medio | 33 - 66 | M |
| Alto | > 66 | A |

Fuente: Tandazo (2019)

5.4. Metodología para establecer el plan de fertilización

Se definió las cantidades y tipos de fertilizantes a aplicar, con base a los nutrientes disponibles en el suelo de la evaluación biológica, requerimientos del cultivo, eficiencia de los fertilizantes y la relación de cationes determinados por los análisis químicos, para el cultivo de café.

6. Resultados

6.1. Resultados para la caracterización química los suelos de la Quinta Experimental La Argelia.

El sistema agroforestal de la Quinta experimental La Argelia, está compuesto por el cultivo de café de variedad castillo y presenta las siguientes características morfológicas.

Tabla 8.

Características morfológicas del sector de estudio.

| Parámetros | Descripción |
|----------------------|------------------------------------|
| Altitud | 2140 m.s.n.m |
| Fisiografía | Área de 0,9 ha, con pendiente baja |
| Drenaje interno | Bueno |
| Sistema agroforestal | Arbustiva y herbácea |

Fuente: INIAP (2021).

6.1.1. Características químicas de los suelos de la Quinta experimental la Argelia

El suelo se caracteriza por tener de pH moderadamente ácido, con un contenido de materia orgánica medio y es bajo en la suma de bases. La saturación de bases es media para los bloques B1, B2 y B3 y en lo que respecta a la relación de cationes del suelo Ca/Mg se encuentra en el rango óptimo 2,45 a 2,82 para los bloques B2, B3 y B4, mientras que para bloque 1 está en 2,05 un nivel crítico, con relación a los valores de Mg/K el bloque 3 se encuentra dentro de la normalidad, por el contrario, los demás revelan niveles críticos, y en cuanto al (Ca +Mg) /K el bloque 3 se encuentra en un nivel adecuado, a diferencia de los demás que están muy por debajo del nivel crítico. Tal como se detalla en la Tabla 9

Tabla 9.

Características químicas del suelo de la quinta experimental La Argelia.

| Bloque | pH | Ca/Mg | Mg/K | (Ca+Mg)/K | CIC | Σ bases | MO | SB |
|--------|------|-------|------|-----------|-----|----------------|-----------|------|
| | | | | | | | % | |
| | | | | | | | meq/ 100g | |
| B1 | 5,21 | 2,05 | 3,88 | 11,80 | 6,7 | 3,28 | 1,61 | 52 |
| B2 | 4,98 | 2,82 | 2,19 | 8,37 | 6,2 | 3,03 | 1,51 | 52,6 |
| B3 | 4,65 | 2,64 | 9,34 | 33,99 | 6,0 | 2,53 | 1,59 | 43,8 |
| B4 | 4,76 | 2,45 | 3,07 | 10,61 | 6,1 | 2,01 | 1,45 | 44,3 |

Fuente: Elaboración propia de los resultados obtenidos del análisis por parte del INIAP (2021A).

6.1.2. Fertilidad Actual

En la zona de estudio, los resultados del análisis químico revelaron un contenido sustancialmente alto de los nutrientes N, P, Mg, Cu, Fe y Mn. Además, se obtuvieron cantidades intermedias de K, Ca, Zn. Por otro lado, se registran valores bajos en los nutrientes de S y B en las muestras de los bloques B1 y B2. En comparación a la muestra del B3 que mostro niveles bajos de K. El análisis revelo también que la muestra del B4 poseía contenido

medio de Mg, pero presenta deficiencia en K. Los resultados indican la existencia de una fertilidad adecuada en la zona de estudio, respalda por la presencia significativa de nutrientes disponibles, como se detalla en la Tabla 10.

Tabla 10.

Contenidos de elementos disponibles en la Quinta experimental la Argelia.

| Elementos disponibles | | B1 | I | B2 | I | B 3 | I | B4 | I |
|-----------------------|-----------|-------|---|-------|---|------|---|-------|---|
| N | mg/Kg | 102 | A | 115 | A | 84 | A | 108 | A |
| P | mg/Kg | 161,1 | A | 79,2 | A | 86,1 | A | 79,1 | A |
| K | meq/ 100g | 0,26 | M | 0,32 | M | 0,07 | B | 0,17 | B |
| Ca ⁺ | meq/ 100g | 2,03 | M | 2,00 | M | 1,78 | M | 1,30 | M |
| Mg ⁺ | meq/ 100g | 0,99 | A | 0,71 | A | 0,67 | A | 0,53 | M |
| S | mg/Kg | 10,06 | B | 10,02 | B | 8,22 | B | 9,55 | B |
| B | mg/Kg | 0,31 | B | 0,30 | B | 0,15 | B | 0,15 | B |
| Zn | mg/Kg | 6,0 | M | 5,6 | M | 4,1 | M | 2,4 | B |
| Cu | mg/Kg | 6,8 | A | 5,4 | A | 5,9 | A | 5,9 | A |
| Fe | mg/Kg | 750 | A | 622 | A | 628 | A | 591 | A |
| Mn | mg/Kg | 84,7 | A | 115,2 | A | 41,0 | A | 107,0 | A |

Fuente: Elaboración propia de los resultados obtenidos del análisis por parte del INIAP (2021b).

6.2. Resultados de la evaluación biológica.

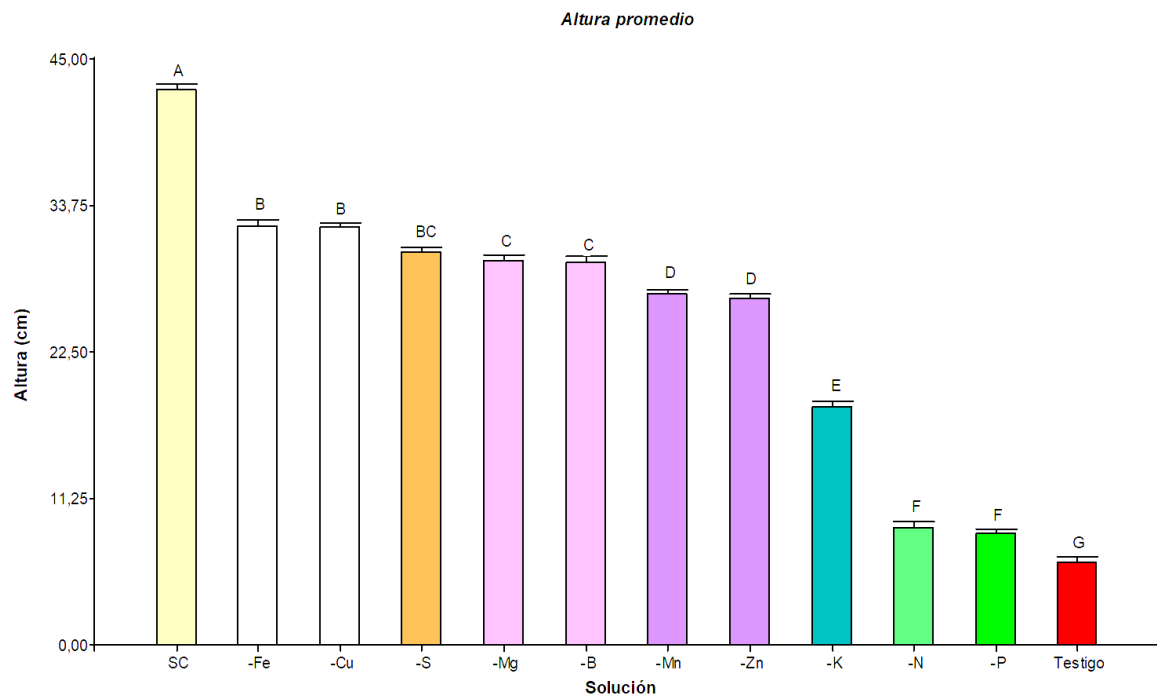
A continuación, se presenta los resultados obtenidos de la biomasa seca (g) y altura (cm) del análisis biológico.

6.2.1. Altura

En la Figura 2 se presentan los valores correspondientes a la altura de las plantas de tomate. Se observa que las cantidades varían en el rango de 42,7 cm que corresponde a la SC y de 6,4 cm que pertenece a la planta Testigo. Cabe mencionar que la altura no se utilizó para realizar la correspondencia, esto debido a que no ha considerado representativo la variable del crecimiento ya que no solo las condiciones de fertilizantes, sino también depende factores externos como a la ubicación, luz, temperatura del ambiente, humedad relativa y los nutrientes del suelo.

Figura 2.

Prueba de Tukey al 5% de la altura de la planta indicadora a los 60 días de edad de todos los bloques.

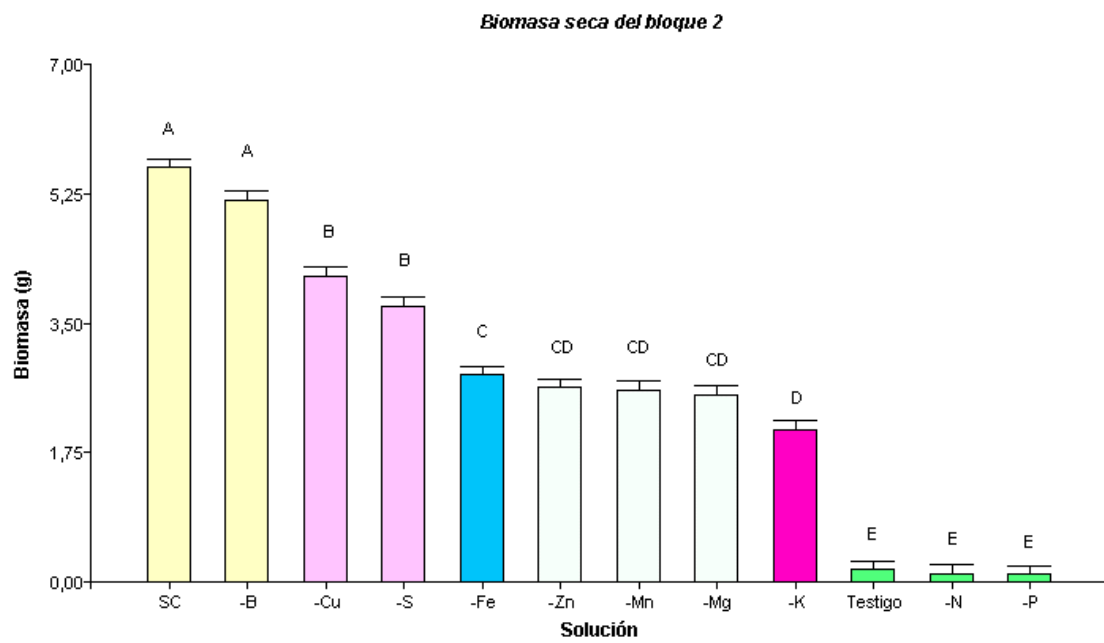
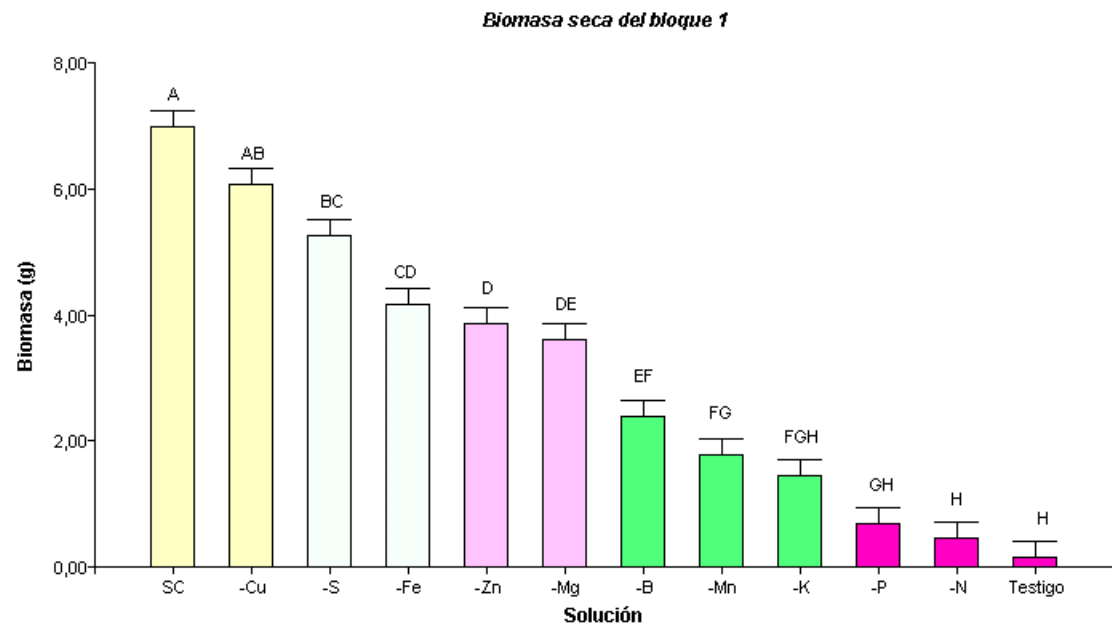


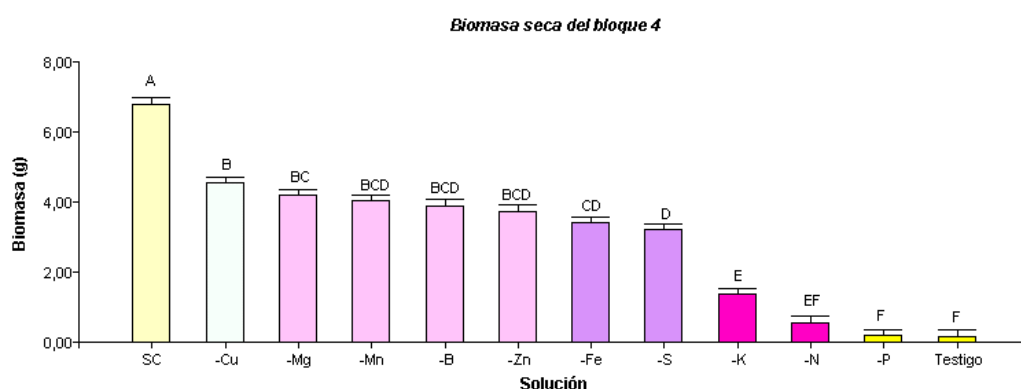
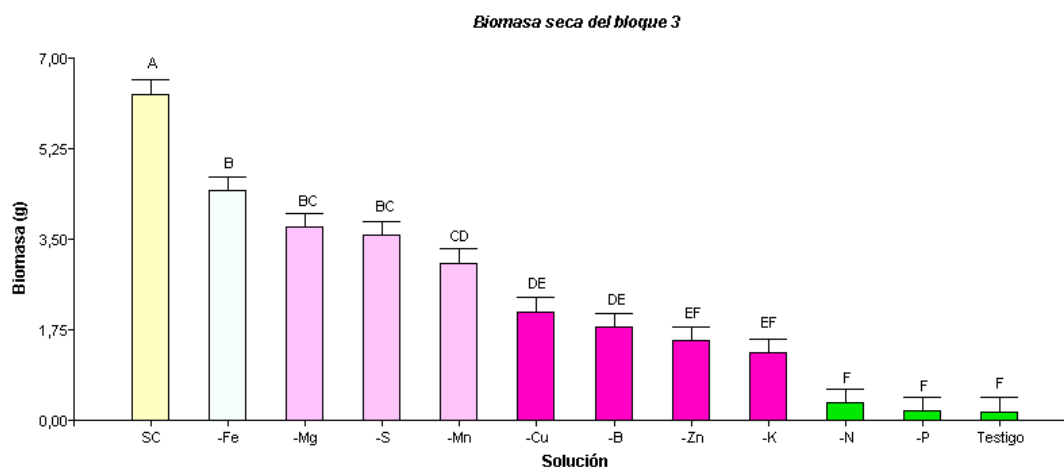
6.2.2. Biomasa seca

En la Figura 3, se presenta los valores correspondientes al peso de biomasa seca de las plantas de tomate. Se observa que las cantidades varían en el rango de 5,8 a 6,8 gramos para las plantas sujetas al tratamiento experimental (SC). En contraste, las plantas de control (testigo) muestran pesos de biomasa seca en un rango más bajo, que oscilan entre los 0,15 y 0,18 gramos en los cuatro bloques de estudio.

Figura 3.

Prueba de Tukey al 5% de materia seca de la planta indicadora a los 60 días de edad de todos los bloques.





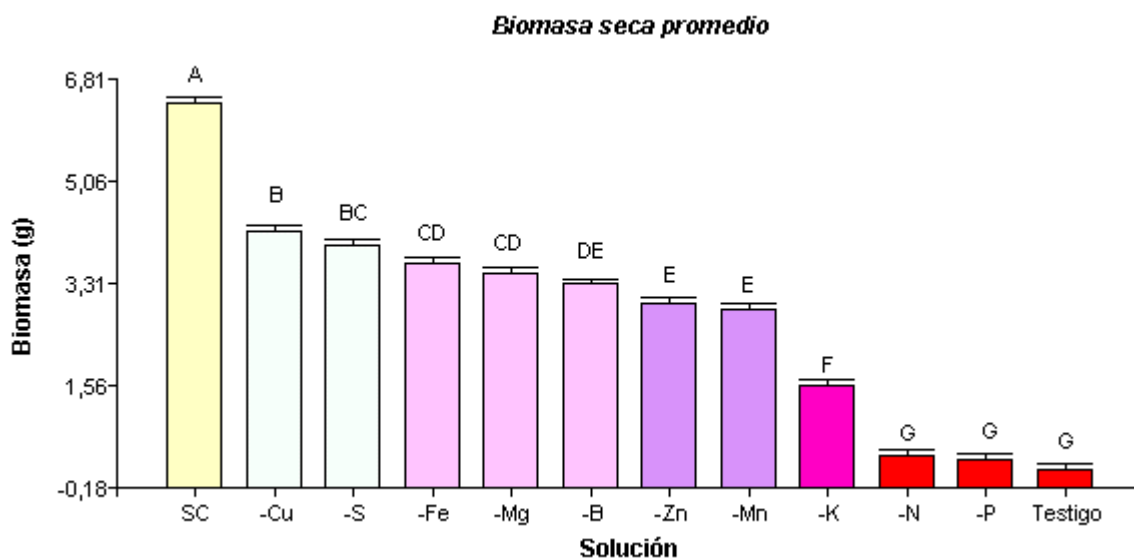
Fuente: El autor (2023).

El valor de biomasa seca, como se muestra en la Figura 4, se estableció en 6,41 gramos. 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 y Cu 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 Testigo son estadísticamente diferentes a todas las soluciones con la menor altura. Por lo tanto, el promedio de valores de biomasa seca con respecto a la altura es estadísticamente irrelevantes.

Vale señalar que la solución nutritiva completa utilizada contiene tanto macro como micronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. Esto explica el mayor crecimiento observado tanto en altura como en peso en comparación con los tratamientos que carecían de un elemento específico.

Figura 4.

Promedio y prueba de Tukey al 5% de materia seca de la planta indicadora a los 60 días.



Fuente: El autor (2023).

6.2.2.1. Solución – N. El promedio de masa de materia orgánica seca para la Solución -N se registró 0,36 g como muestra la Figura 4. En constante con la solución completa, todas las plantas de los cuatro bloques de estudio mostraron un peso de biomasa seca menor, representando valores entre un 6,44 y 5,6 % menos (consultar Anexo 11 para más detalles).

Durante la evaluación biológica, se evidenció un contenido bajo de N, mientras que el análisis químico indicó niveles elevados (Figura 6). Esto sugiere que el análisis químico no refleja con precisión la disponibilidad real del nutriente en el suelo.

6.2.2.2. Solución – P. En la evaluación biológica, se obtuvo un promedio de 0,29 g de masa de materia orgánica seca en los cuatro bloques de estudio, como se muestra en la Figura 4. En comparación con la solución completa, todas las repeticiones mostraron un peso de biomasa inferior, con una disminución promedio de 4,5% (consulte el Anexo 11).

Durante la evaluación biológica, también se observó una deficiencia de fósforo, lo cual se reflejó en niveles bajos en las plantas. Sin embargo, es importante destacar que el análisis químico indicó niveles de fósforo en el suelo, lo que sugiere una discrepancia entre los resultados de las dos metodologías (Figura 5).

6.2.2.3. Solución -K. El promedio de masa de materia orgánica seca es de 1,5 g en los cuatro bloques de estudio, según se muestra en la Figura 4. En contraste con la solución completa todos los bloques presentaron un peso de biomasa seca inferior, lo que representa una reducción del 24% en promedio (Anexo 11).

En la evaluación biológica, se observó que existe disponibilidad de potasio un nivel bajo y medio en las plantas. Por otra parte, los resultados del análisis químico indicaron que los niveles de potasio en el suelo se encuentran en un rango medio y bajo (Figura 6). Por lo que presentan resultados similares existe correspondencia entre esos dos análisis.

6.2.2.4. Solución – Mg. El promedio de masa de materia orgánica seca es de 3,52 g para los cuatro bloques de estudio, como se muestra en la Figura 4. En comparación con la solución completa todas las repeticiones presentaron un peso de biomasa seca menor, lo que equivale a una reducción del 54,8% en promedio (Anexo 11).

Durante la evaluación biológica, se observó que la disponibilidad de magnesio (Mg) en todos los bloques con un rango medio. Sin embargo, resulta, interesante notar que los resultados del análisis químico indicaron que los niveles de magnesio se encuentran en un rango alto medio. (Figura 6). Esta discrepancia entre los métodos de la evaluación biológica y química resalta la importancia de considerar múltiples enfoques para comprender la disponibilidad real de potasio en el suelo.

6.2.2.5. Solución - S. El promedio de masa de materia orgánica seca es de 3,94 g para los cuatro sectores de estudio, tal como se indica en la Figura 4. Todos los bloques mostraron un peso de biomasa seca inferior al de la solución completa, lo que representa una disminución del 61,4 % (Anexo 11).

Se pudo observar en la evaluación biológica existe rangos altos y medios de azufre, mientras que el análisis químico mostró que los niveles de azufre se encuentran en un rango inferior o bajo por lo que no existe correspondencia entre estos elementos. (Figura 6).

6.2.2.6. Solución – Zn. El peso promedio de materia orgánica seca es de 2,9 g, según se ilustra en la Figura 4. En contraste con la solución total, todas las repeticiones mostraron una disminución del 45,8% en el peso de biomasa seca en promedio, como se detalla en el Anexo 11.

Durante el análisis biológico, se observó que la concentración de Zinc (Zn) en todos los bloques presentaba un rango medio y bajo. Sin embargo, es relevante notar que los resultados

del análisis químico señalaron que los niveles de Zinc se hallaban en un rango medio-alto, por lo que existió correspondencia en los B1 y B2 (Figura 1). Esta discrepancia entre los métodos de evaluación biológica y química destaca la importancia de considerar diversos enfoques para comprender la verdadera disponibilidad de potasio en el suelo.

6.2.2.7. Solución – Mn. Se noto durante el ensayo que el promedio de masa de materia orgánica seca fue de 2,8 g en los cuatro bloques de estudio, como se indica en la Figura 4. La zona de estudio presentó un peso de biomasa seca menor en comparación con la solución completa, lo que representa una reducción del 44,6 % promedio (Anexo 11)

En la evaluación biológica se evidenció una deficiencia de manganeso (Mn) en un nivel bajo y medio en los bloques de estudio, sin embargo, el análisis químico niveles de manganeso en un rango alto, por ende, no existe relación entre estos análisis tal puede apreciar en la Figura 6.

6.2.2.8. Solución - Cu. El promedio de masa de materia orgánica seca es de 4,20 g en los cuatro bloques de estudio, según se indica en la Figura 4. El ensayo biológico mostró un peso de biomasa seca menor en comparación con la solución completa, lo que representa una disminución del 65,5 % según el Anexo 11.

Durante el ensayo se evidenció que existe disponibilidad de cobre con niveles altos y medios en los bloques de estudio, por otro lado, el análisis químico indicó que los niveles de cobre se encuentran en un rango alto, como se muestra en la Figura 6. Ante la similitud entre sus interpretaciones existe correspondencia entre los análisis químicos y biológicos.

6.2.2.9. Solución – Fe. El promedio de masa de materia orgánica seca es de 3,70 g Figura 4. Los bloques exhibieron un peso de biomasa seca menor en comparación con la solución completa, lo que representa una disminución del 57,7 % promedio según el Anexo 1

En la evaluación biológica se pudo observar una disponibilidad y deficiencia de hierro (Fe) entre los bloques de estudio con niveles altos y medios, mientras que el análisis químico indicó niveles altos de hierro por lo que existió correspondencia en uno de los cuatro bloques (Figura 6).

6.2.2.10. Solución – B. El promedio de masa de materia orgánica seca es de 3,2 g en los cuatro bloques de estudio, tal como se indica en la Figura 3. Los bloques presentaron un peso de biomasa seca menor en comparación con la solución completa, lo que representa una disminución del 51,3 promedio % según el Anexo 11.

En la evaluación biológica se evidenció una deficiencia y disponibilidad de boro (B) en con niveles altos y bajos en la zona de estudio, sin embargo, el análisis químico reveló que los niveles de boro se encuentran en un rango bajo, como se puede apreciar en la Figura 6. Por ende, existió relación de los análisis biológicos y químicos en uno de los cuatro bloques.

Aspecto de las plantas utilizadas en el ensayo biológico. En la Figura 5 se observa las plantas de tomate que fueron sometidas a los diferentes tratamientos

Figura 5.

Plantas indicadoras de los tratamientos.



Fuente: El autor (2023).

6.2.3. Análisis de correspondencia entre el análisis químico y evaluación biológica

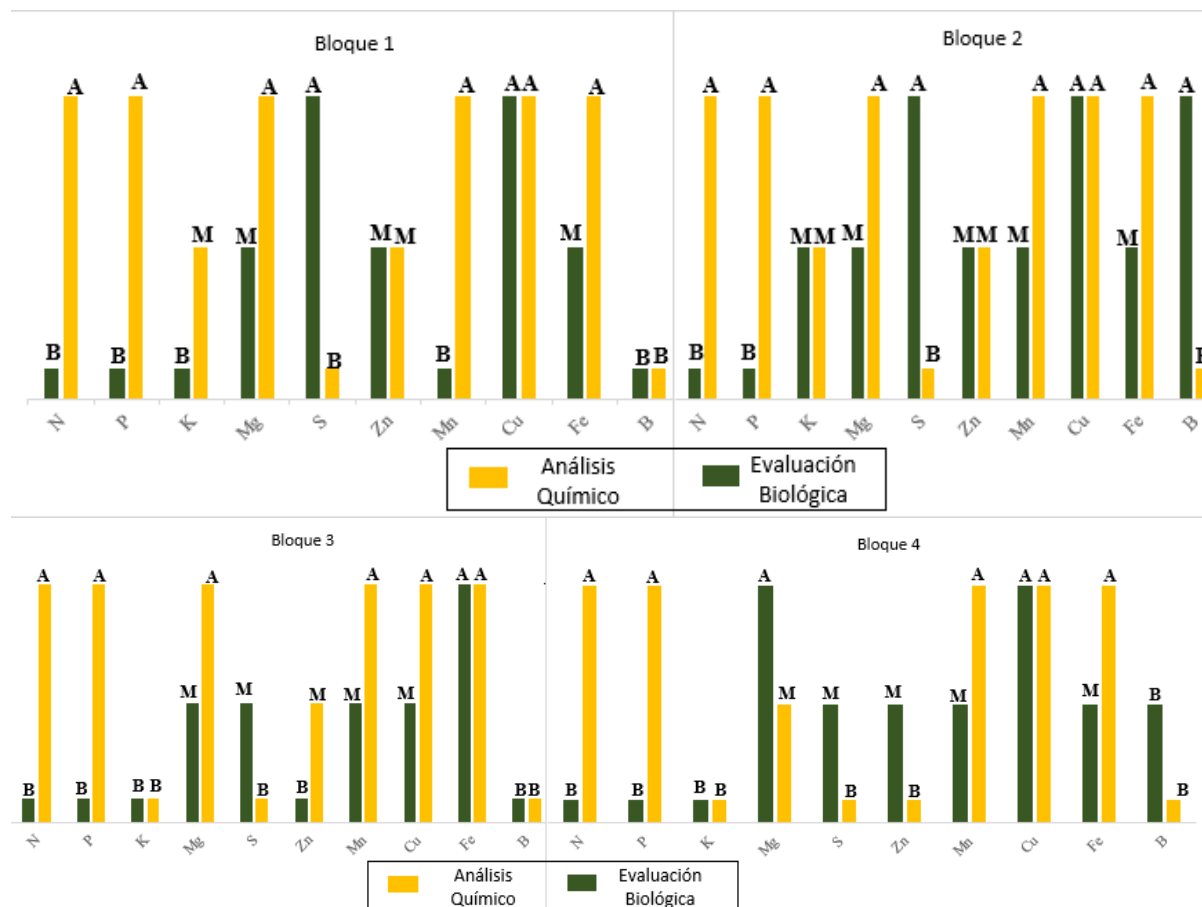
En la Figura 6 se presenta una relación entre la interpretación de los resultados de la evaluación biológica, utilizando la biomasa en estado seco como indicador, con la interpretación asociada al contenido de cada elemento químico analizado.

En los cuatro bloques de estudio, se observa que la correspondencia entre los elementos Nitrógeno, Fosforo, Magnesio, Azufre y Manganeso no mostraron similitud entre sus interpretaciones de la evaluación biológica con respecto a la concentración del nutriente disponible en el análisis químico.

Por otro lado, los elementos K, Zn, Cu, Fe y B fueron aquellos elementos que si presentaron correspondencia entre las interpretaciones de la evaluación biológica y los resultados de los análisis químicos.

Figura 6.

Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico del suelo de la Quinta experimental la Argelia.



Fuente: El autor (2023).

6.3. Plan de fertilización

El pH del suelo de la zona de estudio es de 4,9 fuertemente ácido; es decir; no se encuentra en el rango óptimo para el cultivo de café. En la Tabla 11 se muestra el cálculo de la CICE del suelo, donde se usó la relación de 1 meq 100 g⁻¹ de Aluminio para 0,5 meq 100 g⁻¹ de calcio, para neutralizar el aluminio intercambiable.

Tabla 11.

Cálculo del CICE del sector.

| B. Intercambiables | Inicio cmol kg ⁻¹ | Adición cmol kg ⁻¹ | Total |
|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------|
| Ca ⁺⁺ | 1,97 | 1,82 | 3,79 |
| Mg ⁺⁺ | 0,81 | 0,41 | 1,30 |
| K ⁺ | 0,23 | -0,06 | 0,17 |
| Na ⁺ | 0,11 | | 0,11 |
| Al ⁺⁺⁺⁺ H ⁺ | 1,81 | | |

| | | | |
|-------------------|------|--------|------|
| Al ⁺⁺⁺ | 2,14 | | |
| CICE 1 | 5,3 | CICE 2 | 5,37 |

Fuente: (El autor, 2022).

En la Tabla 12 se puede notar que, en el caso del calcio (Ca), el nivel de saturación de bases fue inicialmente de 37,45 %. Tras la enmienda, este aumento a 70,6 %, alcanzando el rango óptimo. Mientras tanto el magnesio (Mg), la saturación de bases empezó en 15,3 %, incrementando a 24,2 % tras la enmienda, por lo que le permitió estar rango óptimo. De manera similar, para el potasio (K), el porcentaje inicial era de 4,4 %, disminuyendo a 3,2 % después de la enmienda.

Con respecto a la relación de cationes, se observa un valor de 2,44 cmol.kg⁻¹ para Ca/Mg, el cual, fue necesario agregar Ca y Mg para estar dentro del rango de 2,6 - 8,0 cmol/kg⁻¹. En cuanto a Mg/K, la medida inicial fue de 3,46 cmol.kg⁻¹, y tras la adición de Mg y K, se aumentó a 7,5 cmol.kg⁻¹, encontrándose en el rango óptimo. En el caso de (Ca+Mg)/K, el valor inicial era de 11,9 cmol/kg-1, pero después de añadir Mg, K y Ca aumento a 29,4 cmol/kg-1, también alcanzando el rango deseado.

Tabla 12.

Enmienda y relación de cationes para el suelo del sector.

| SB | Enmienda | | | Relación de cationes | | | | |
|----|-----------|-------------|---------------|-----------------------------|---------|-------------------------------|---------------------------------|-----------|
| | Antes (%) | Después (%) | R. óptimo (%) | Antes cmol kg ⁻¹ | Agregar | Después cmol kg ⁻¹ | R. óptimo cmol kg ⁻¹ | |
| Ca | 37,45 | 70,6 | 60,0-70,0 | Ca Mg ⁻¹ | 2,4 | Ca | 2,92 | 2,6 -8,0 |
| Mg | 15,34 | 24,2 | 15,0-25,0 | Mg K ⁻¹ | 3,46 | Mg | 7,50 | 7,5-15,0 |
| K | 4,4 | 3,2 | 5,0-10,0 | (Ca+Mg) K ⁻¹ | 11,90 | Ca y Mg | 29,4 | 27,5-55,0 |

Fuente: (El autor, 2022).

Para satisfacer los requerimientos del cultivo de café se aplicará las siguientes dosis: N:100; P:60; K:100; Mg:30; S:75; Zn:3 B:5; Cu:1,5 kg. ha⁻¹ (Peñaloza, 2021), para el sector de estudio y se utilizaran los fertilizantes propuestos en la Tabla 13.

Tabla 13.

Fertilizantes recomendados para el cultivo de café en producción.

| Fertilizante | Formula | Kg. Ha ⁻¹ | g. planta ⁻¹ |
|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| Cal dolomítica, | CaMg(CO3)2 | 3236 | 63,54 |
| Kieserita | (MgSO4H2O) | 600,0 | 300,0 |
| 10-30-10 | | 458, 2 | 229,15 |
| Nitrato de Amonio | [NH4NO3] | 119,5 | 59,78 |
| Bórax | Na2[B4O5(OH)4]·8H2O | 45,45 | 2273 |

Fuente: (El autor, 2022).

El contenido en gramos por planta se realizó en base a los requerimientos del cultivo de café en la evaluación biológica, basándose en la relación de cationes adecuada para el cultivo de café, y los requerimientos para cafetales en crecimiento hasta los 18 meses.

Se recomienda aplicar los macronutrientes la cuarta semana de cada mes y los micronutrientes cada tres meses para cafetales en crecimiento.

7. Discusión

7.1. Caracterización química los suelos de la estación experimental la Argelia.

Según Tamargo (2017), el análisis de suelo es una técnica compleja que combina diversos métodos analíticos con sus extracciones específicas con el propósito fundamental de extraer y medir la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas (Cardarelli y Tranier, 2022). El análisis de suelo, como señala López (2013), tiene el propósito determinar el estado de fertilidad del suelo e identificar los nutrientes que pueden limitar el rendimiento de las plantas, ya sea por encontrarse en exceso o en deficiencia de estos elementos.

La acidez cambiante ($H^{++} Al^{3+}$) y aluminio intercambiable (Al^{3+}), corresponden a un rango considerado tóxico, Según Tandazo (2019), en zonas con las altas precipitaciones ocasionan la lixiviación de cationes intercambiables como (Ca, Mg, K y Na).

El análisis químico presentó un pH de 4,9 al cual se lo considera como ácido. De acuerdo a (Villamagua et al., 2021) los suelos cafeteros de altura en la provincia de Loja se caracterizan por ser ácidos a ligeramente ácidos. La acidez en los suelos puede deberse a diversas causas entre ellas se incluye el contenido de materia orgánica (1,6 %) que se encuentra en el rango medio. Cuando esta materia orgánica se descompone por la acción de los microorganismos del suelo, se libera dióxido de carbono que se transforma fácilmente en bicarbonato, esta reacción libera hidrógeno de esta manera el suelo se vuelve ácido (Intragi, 2016). Otras de las causas de acidez pueden ser el lavado de bases intercambiables por la lluvia y su reemplazo por otros cationes de carácter ácido (principalmente Al^{3+}), la oxidación del azufre, la nitrificación del amonio- NH_4^{++} y la liberación de H^+ por las raíces cuando absorben Ca^{2+} , Mg^{2+} y K (Jaramillo, 2016).

La suma de bases del análisis resultó baja, lo cual puede deberse a la acidez del suelo, Redondo (2016) señala que cuando el pH disminuye los suelos tienden a perder con mayor facilidad las bases por lixiviación, situación que está directamente relacionada con la concentración de las precipitaciones. Según Enríquez & Duicela (2014) la suma de bases debe mantenerse en un rango óptimo de 15-30 $cmol\ kg^{-1}$, en los resultados obtenidos del análisis los valores están muy por debajo de este, por ende sería conveniente agregar K, Ca y Mg. La aplicación de materiales alcalinizantes como carbonatos, óxidos e hidróxidos y silicatos de Ca y/o Mg permitirán alcanzar los niveles óptimos en nuestro suelo (Espinosa y Molina, 2015).

En lo referentes a la relación de cationes del suelo, la zona de estudio presentó los siguientes resultados: $Ca/Mg=2,87$; $Mg/K=3,57$ y $(Ca+Mg)/K= 11,56$. Estos valores no se encuentran dentro del rango óptimo del cultivo de café, por lo que fue necesario realizar un

incremento de Ca=0,75 , Mg=0,40, K=0,10; siguiendo la practica realizada por Tandazo (2019) quien agregó 0,1; 0,4; 2,2, respectivamente, para alcanzar los rangos óptimos establecidos por Enríquez y Duicela (2014) Ca/Mg: 2,6-8; Mg /K: 7,5-15 y (Ca+Mg) /K 27,5-55.

Para Sadeghian & Diaz (2020) las propiedades químicas de suelo debe presentar las siguientes características para un adecuado desarrollo de los cultivos: pH 4,9-5,7; cationes cambiabiles Ca: 5,1-11,2 cmol kg⁻¹ ; Mg: 0,9-2,1 cmol kg⁻¹ ; y, la saturación de bases de 21- 45 %. Los parámetros obtenidos en la muestra de suelo de la zona de estudio se ajustan a estas recomendaciones, lo que favorecerá el progreso de los cultivos.

7.2. Correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad actual del suelo.

La zona de estudio no presentó correspondencia en los nutrientes N, P, Mg, S y Mn, mientras que el K, Zn, Cu, Fe y B sí presentan similitud entre sus interpretaciones, resultados que se asemejan con el experimento de Rogel (2021). De igual manera Tandazo (2019) presentó cierta similitud de no correspondencia en los nutrientes de N, Mg, Mn y S entre la evaluación biológica y el análisis químico. Un resultado similar al de Zambrano (2019), en la cual las tres zonas de estudio no dieron relación entre sí en los nutrientes de N, P, Mg, S y Fe. Acuatoma (2017) manifiesta que el extractante de Olsen Modificada, cuantifica el nutriente disponible en suelos de pH neutro a alcalino, por ello se puede entender que no exista una relación entre las metodologías ya que el pH del suelo es acido a ligeramente acido. (Alfaro, Monzón, et al., 2019) menciona que las soluciones extractoras tienen la desventaja de ser influenciadas por el pH de la solución y el pH del suelo; con ello no es posible obtener correlaciones adecuadas entre los resultados de extracción con diferentes metodologías

Mientras que los nutrientes K, Zn, Cu, Fe y B sí presentan correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico, resultados que se asimilan a los de Tandazo(2019) donde el K, Zn, Cu, y Fe presentan relación entre sí en los suelos de Lozumbe. De la misma manera Zhunaula (2016) presentó cierta similitud entre los nutrientes de K, Zn, Cu,y Fe. Al igual que los estudios realizados por Loaiza (2013) realizo ensayos donde presentaron una correlación positiva con el K, Zn, Cu y Fe

En la zona de estudio, se observa una relación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica en los nutrientes K, Zn, Cu, Fe y B. No obstante, la falta de correspondencia en los demás elementos se debe a diversos factores como lo señala Molina (2007) la solución Olsen Modificado presenta varias desventajas, ya que tiende a sobrestimar la disponibilidad de los micronutrientes, debido al extractante que ataca la materia orgánica

liberando, parte del Fe y Mn que se encuentra adherido en ella. Sin embargo Alfaro, Monzón, et al. (2019) menciona que la Red de Laboratorios de Análisis de Suelos del Ecuador (RELASE) evidencian que el 70 % de laboratorios reportan resultados satisfactorios en los elementos fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre, hierro y manganeso. Padilla, (2013) contribuye diciendo que los estudios de correlación realizados en Ecuador, hasta el momento, han demostrado que la solución extractora de Olsen modificada ha alcanzado grados altos de correlación con las respuestas de las plantas, en los diferentes elementos que son analizados en el extracto de suelo.

Según Tineo (2014) citado por Quisuruco (2014) la evaluación biológica o técnica del elemento faltante es una metodología para desarrollar recomendaciones de fertilización ajustadas a las necesidades específicas de cada región. Esto posibilita el uso adecuado de los fertilizantes y una mejor adaptación a las condiciones particulares de la zona. Esta metodología resulta fundamental para lograr un equilibrio en los suelos y, en última instancia, mejorar el rendimiento de los cultivos.

7.3. Plan de fertilidad

Antes de realizar cualquier programa de fertilización de café, es vital realizar un análisis químico de suelo, para establecer un diagnóstico y posterior a eso un plan de fertilización preciso e identificar los factores que restringen el crecimiento y la producción de la planta (Khalajabadi, 2017). Para Vistoso (2022) la fertilidad del suelo juega un papel relevante para su productividad, por ello, es necesario identificar y manejar aquellos factores que pueden limitar o favorecer la nutrición de los cultivos y praderas y, por ende, las diversas relaciones suelo - planta. Los requerimientos nutricionales para el cultivo de café según Marin (2008), son N:560 kg/ha P=52 kg/ha y K=240 kg/ha y Ca= 60kg/ha: sin embargo, se tomó como referencia los trabajos sobre ensayos similares que efectuó Villamagua (2019) cuyos requerimientos son: N:100; P:60; K:100; S:75; Zn:3; B:5; Cu:1,5; Mg:30; kg ha⁻¹. El contenido de macro y micro nutrientes de la zona de estudio presenta deficiencias nutricionales tal es el caso del S, Ca, Zn que presentan rangos medios y bajos.

Cenicafé (2016) aconseja que, al establecer cafetales, es importante aplicar fertilizantes con elevadas concentraciones de fósforo y potasio. Se sugiere utilizar fórmulas como 10-30-10 o 12-24-12 en cantidades que varíen entre 200 y 400 Kg por hectárea al momento de la siembra. Sin embargo, esta aplicación debe llevarse a cabo solo si se ha confirmado la carencia de estos elementos en el suelo.

Enríquez y Duicela (2014), indican que el pH adecuado para el café oscila entre 5,6 a 6,5 por lo que es necesario alcanzar un pH óptimo para neutralizar el Al^{3+} y lograr un buen desarrollo del café. La acidez del suelo provoca una disminución de la CIC, con implicaciones en la fertilidad y eficiencia de la fertilización, pues habrá menor capacidad de retención debido a que los aluminios ocupan los sitios de intercambio, menor participación de bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+}) y facilidad para perderse por lixiviación (Sadeghian, 2016).

8. Conclusiones

- La caracterización química de los suelos de la Quinta Experimental La Argelia reveló un pH ácido de 4,9, que se encuentra en concordancia con las características típicas de los suelos cafeteros de altura en la provincia de Loja. Esta acidez puede atribuirse a múltiples factores, incluyendo el contenido de materia orgánica y la lixiviación de cationes intercambiables debido a las altas precipitaciones en la zona.
- Los valores de la suma de bases obtenidos en el análisis químico resultaron bajos, lo que sugiere una pérdida significativa de bases por lixiviación en suelos ácidos. Para optimizar la fertilidad del suelo, se recomienda la adición de nutrientes como potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) mediante la aplicación de materiales alcalinizantes, como carbonatos, óxidos e hidróxidos, y silicatos de Ca y/o Mg.
- Durante el estudio, se observó deficiencias en varios nutrientes de la planta indicadora de tomate, aunque estas deficiencias fueron en menor intensidad comparadas con las de nitrógeno (N), Fósforo (P), azufre (S) y potasio (K). Esto sugiere que, aunque Mg, Cu, B y Zn también mostraron deficiencias, su nivel de escasez fue menor en la planta indicadora.
- Los elementos con mayor deficiencia que presentó la planta indicadora de tomate, evaluada bajo condiciones de invernadero a los 60 días después de la siembra, fueron nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y potasio (K). Estas deficiencias se reflejaron en diferencias altamente significativas en los bloques donde existió la omisión de estos nutrientes; además la planta indicadora de tomate presentó cambios notorios en la morfología y el color.
- En lo que respecta a la correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico se observó que los elementos nitrógeno (N), fósforo (P), magnesio (Mg) y zinc (Zn), no presentaron similitud entre las interpretaciones de ambos métodos. Sin embargo, se encontró que los elementos potasio (K), cobre (Cu), hierro (Fe) y boro (B) mostraron una correspondencia significativa en las interpretaciones de ambos métodos.
- Tras la adición de 0,06 meq de K, 1,82 meq de Ca y 0,49 meq de Mg al suelo, se evidenció una mejora significativa en la relación de cationes. Antes de la adición, las relaciones Ca/Mg, Mg/K y (Ca+Mg)/K eran 2,44, 3,46 y 11,90, respectivamente. Sin embargo, después de la adición, estas relaciones se incrementaron a 2,92, 7,50 y 29,4, indicando un balance más adecuado entre los cationes esenciales en el suelo. Estos datos respaldan la eficacia de la

corrección en la relación de cationes, promoviendo un ambiente óptimo para la absorción de nutrientes por parte de las plantas y potencialmente mejorando su desarrollo y productividad.

- La evaluación biológica o técnica del elemento faltante se presenta como una metodología fundamental para desarrollar recomendaciones de fertilización precisas y adaptadas a las necesidades específicas de cada región. Esto permite un uso eficiente de los fertilizantes y contribuye a un equilibrio nutricional en el suelo, lo que a su vez mejora el rendimiento de los cultivos.

La propuesta de aplicación de nutrientes para cafetales en crecimiento se la realizó 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

- Para estudios futuros en la realización de la evaluación biológica, se debe tomar en cuenta que el recipiente que contiene el suelo se encuentre en contacto mínimo con la solución, con el fin de evitar enfermedades por exceso de humedad.
- También es importante tener conocimiento de la capacidad de retención de agua del suelo.
- Realizar la evaluación biológica en un entorno controlado es fundamental para garantizar que no se produzca contaminación debido a la infestación de plagas.
- Después de concluir el periodo de experimento se debería realizar un análisis químico al suelo para observar el aporte por parte de los macro y micronutrientes al suelo.
- En la realización del plan de fertilidad se recomienda tomar en cuenta los fertilizantes más disponibles y económicos en el mercado.
- Se sugiere llevar a cabo una investigación que incluya análisis químicos y evaluación biológica para determinar cuál de los métodos es más eficaz debido a la falta de correspondencia.

10. Bibliografía

- Alfaro, M., Mozón, C., Pril, V., & Pérez, E. (2019). *Evaluación de metodologías de extracción, para el análisis químico de suelos de los departamentos de Zacapa y Chiquimula en el Laboratorio de Suelos y Plantas de ICTA*. <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/9%20MA%20C3%8DZ%20ORIENTE/M%20C3%A9todos%20extracci%C3%B3n-ICTA-Antonieta%20Alfaro/Evaluaci%C3%B3n%20de%20metodolog%C3%ADas%20de%20extracci%C3%B3n.pdf>
- Álvaro, Á. G. J.-T. L. (2019, diciembre 10). *El fósforo y su importancia en el crecimiento vegetal*. fertibox. <https://www.fertibox.net/single-post/fosforo-agricultura>
- Amezcu, J., & Flores, M. (2017). *El zinc en las plantas*. 68(3). https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf
- Arotoma, E. (2018). “*evaluacion de la fertilidad de los suelos agricolas del distrito de olleros a traves de la prueba biologica – huaraz- ancash*”. http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2205/T033_45111393_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aucatoma, B. (2017). *Elaboración y caracterización de un material de referencia intercambio de suelos para los macro elementos P, K Ca y Mg extraídos con Olsen Modificado para análisis en suelos cañeros del orden inceptisol, entisol y vertisol de la cuenca baja del Rios Guayas (Escuela Superior Politécnica del Litoral)*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/102821/D-CD102872.pdf>
- Aucatoma, B., Cuesta, C., Ramos, L., Quishpillo, N., Alcívar, L., & Echeverría, A. (2022). *Elaboración De Un Material De Referencia Interno Para Análisis De Macroelementos En Suelos De Ecuador. Ecuador Es Calidad*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.36331/revista.v9i2.144>
- Benimeli, M., Corbella, R., Sanzano, A., Fernández, J., Plasencia, A., Andina, D., & Sosa, F. (2019). *El N de suelo*. 11.
- Boschetti, G. (2012). *Determinación de P extraíble en suelos por el método de Bray y Kurtz I. Aspectos a tener en cuenta para su evaluación*. Jornadas Cierre PROINSA 23 Noviembre 2012. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos//002012_Ronda%202012/000400_Lic.%20Edaf.%20Graciela%20Boschetti%20-

%20UNER/000400_Determinaci%C3%B3n%20del%20P.pdf

- Briones, J., Mejía, T., & Briones, H. (2021). *Evaluación de la fertilidad química del suelo en un sistema inicial productivo de Theobroma cacao de la finca “Hermanos Briones”, Portoviejo—Ecuador*. 4(3), 11.
- Burbano, H. (2017). La calidad y salud del suelo influyen sobre la naturaleza y la sociedad. *Tendencias*, 18(1), 118-126. <https://doi.org/10.22267/rtend.171801.68>
- Cabalaceta, G. (1995). Correlacion de soluciones extractoras de fosforo en suelos de costa ricai/. *Agronomia costarricense*, 9.
- Cakmak, I., & Yazici, A. M. (2010). *Magnesium: A Forgotten Element in Crop Production*. 94(2), 3.
- Carrero, A., Zambrano, G., Hernández, G., Contreras, B., Machado, D., Bianchi, B., & Varela, D. (2015). *Comparación de dos métodos de extracción de fósforo disponible en un suelo ácido*. 10, 6. <https://www.redalyc.org/pdf/933/93343104006.pdf>.
- Carvajal, R. (1997). *Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos* (Primera).
- Castellanos, J., & Rodríguez, D. (2021). *File:///F:/FABRICIO/21.%20Análisis%20de%20Suelo%20Diagnostico%20Calidad%20y%20Asertividad.pdf*. 7.
- Castillo, F., & Salinas, J. (2014). “*Correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad actual de suelos de origen volcánico en dos unidades productivas de las provincias de los ríos y esmeraldas*” [Universidad nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12501/1/Fernando%20Mauricio%20Castillo%20Cevallos.pdf>
- Cenicafé. (2016). Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., & Guaya, P. (1998). *Condiciones físicas de los suelos de la region sur del Ecuador*. 67(1). <https://www.cenicafe.org/es/publications/RevistaCenicafe67-1.pdf>
- Chavéz, F. (2011). “*Determinación multielemental de macro y micronutrientes catiónicos en suelos por espectroscopía de emisión por acoplamiento de plasma inductivo y detección óptica ICP-OES*”. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/4757/DISERTACI%C3%93N.pdf>
- Chonay, J. (2000). *Evaluación de soluciones extractoras en la fertilidad de los suelos para las regiones fisiográficas: Llanura costera del pacífico y pendiente volcánica reciente de Guatemala*. <https://fondo.senacyt.gob.gt/portal/index.php/catalogo/15-codigo/61-07-1998-agropecuaria>

- Colacelli, N. (2001). *Azufre en el suelo*. Tecnibook Ediciones.
- Corrales, M., Vargas, A., Cohén, V., & Martínez, T. (2013). *Deficiencia de azufre en suelos cultivables y su efecto en la productividad*. XVI(1), 7.
- Cruzatty, L. C. G., & Vollmann, J. E. S. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, 7(3), 456-464. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i3a1736>
- Cultivo De Café (*Coffea arabica*) & Ministerio de Agricultura y Riego. (2022). *Cultivo de café (Coffea arabica) contenido de nutrientes en el guano de las isla*. <https://www.agrorural.gob.pe/wp-content/uploads/transparencia/dab/material/ficha%20tecnica%20cafe.pdf>
- Enríquez Calderón, G. A., & Duicela Guambi, L. A. (2014). *Guía técnica para la producción y poscosecha del café robusta*. Consejo Cafetalero Nacional COFENAC.
- Estrada, G. (1981). *Caracterización del magnesio y de otros factores que afectan su disponibilidad para las plantas en suelos andinos*. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/14389/24127_6469.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- FAO. (2000). Mejorando la nutrición a través de huertos y granjas familiares. www.fao.org. <https://www.fao.org/3/V5290S/v5290s00.htm#TopOfPage>
- Fernández, M. (2007). *Fósforo: Amigo o enemigo*. XLI, 57.
- FAO.(2009). *Guía para la descripción de suelos*. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- FAO. (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo*. <https://www.fao.org/3/i5126s/I5126S.pdf>
- Fouz, S., Avalos, J. M., ABREU, C. A., & González, A. (2007). Elementos minoritarios extraídos con DTPA y Mehlich-3 en suelos dedicados a cultivo, pradera y monte. *CAD. LAB. XEOL. LAXE*, 3, 12.
- Galán, E. L. (1988). *Metodos Rapidos De Analisis De Suelos*. 32.
- Galvis, A. (2017). *Evaluación De Deficiencias Nutricionales En Quinua Hidropónica (Chenopodium Quinoa Willd.), Mediante La Técnica Del Elemento Faltante Bajo Invernadero* [Universidad Central Del Ecuador Facultad De Ciencias Agrícolas Carrera De Ingeniería Agronómica]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/11806/1/T-UCE-0004-25-2017.pdf>
- Galvis, J. G., & Ballesteros, M. I. (2006). Evaluación de los parámetros de calidad para la determinación de fósforo disponible en suelos. *Revista Colombiana de Química*, 35(1), 81-89.

- Galvis, J. G., & Ballesteros, M. I. (2006b). Evaluación De Los Parametros De Calidad Para La Determinación De Fósforo Disponible En Suelos. *Revista Colombiana de Química*, 35(1), 81-89.
- Gil, G. F., & Pszczólkowski, P. (2015). *Viticultura: Fundamentos para optimizar producción y calidad. Segunda edición ampliada y actualizada*. Ediciones UC.
- Gómez, M., & Sotés, V. (2014). *El Manganeso y la Viticultura: Una revisión* (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/publicaciones/MANGANESO%20Y%20VITICULTURA_tcm30-89512.pdf
- González, H., Sadeghian, S., & Jaramillo, Á. (2014). *Épocas recomendables para la fertilización de cafetales*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt04424.pdf>
- González, J. C., Barrios, D. L. O., Rodríguez, A. H., Franco, A. C. G., Hernández, L. R., & Ochoa, G. R. L. (2018). Metaloenzimas de zinc en plantas. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 43(4), 242-248.
- González, M., López, M. V., Moreno, G., Comese, R., & Madero, M. (2007). *Comparación De Los Métodos De Bray & Kurtz N° I Y Mehlich Iii En La Determinación De La Disponibilidad De Fósforo En Suelos Con Fertilizaciones Continuas*. 7.
- Gutiérrez-Soto, M. V., & Torres-Acuña, J. (2013). Síntomas asociados a la deficiencia de boro en la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 441. <https://doi.org/10.15517/am.v24i2.12547>
- INIA. (2015). *Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas*. <http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/El%20Suelo%20de%20mayo.pdf>
- INTAGRI. (2017a). *Las funciones del potasio en la nutrición vegetal*. 100, 4.
- INTAGRI. (2017b). *Uso eficiente del fósforo en la agricultura*. 105, 8.
- INTAGRI. (2018a). *El Manganeso en la Nutrición Vegetal*. 113, 5.
- INTAGRI.(2018b). *Funciones del calcio en la nutrición vegetal*. 122.
- Jiménez, L. S., Mezquida, E. T., & Capa, M. B. (2007). *Cambio En Las Propiedades Del Suelo Por Transformación De Áreas Boscosas En Pastizales En Zamora-Chinchipec (Ecuador)*. 6.
- Juárez, S., Cerdán, M., & Sánchez, A. (2007). *Hierro en el sistema suelo-planta*. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/HIERRO.pdf>
- Khalajabadi, S. (2017). *Sintómas visuals de deficiencias nutricionales en café, diagnóstico y manejo* (Sandra Milena Marín López).

- <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0478.pdf>
- Kirkby, E., & Volker, R. (2007). *Micronutrientes En La Fisiología De Las Plantas: Funciones, Absorción Y Movilidad*. 5.
- Koni, A. (2006). *Agricultura orgánica: El suelo y sus componentes físicos*.
[https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_\(1\).pdf](https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_(1).pdf)
- Kirkby, E., & Römheld, V. (2008). *MICRONUTRIENTES EN LA FISILOGIA DE LAS PLANTAS: FUNCIONES, ABSORCION Y MOVILIDAD*.
[http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/3FA84D0333FEDEAA852579A0006BF733/\\$FILE/Micronutrientes%20en%20la%20Fisiolog%C3%ADa%20de%20las%20Plantas.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/3FA84D0333FEDEAA852579A0006BF733/$FILE/Micronutrientes%20en%20la%20Fisiolog%C3%ADa%20de%20las%20Plantas.pdf)
- Kopittke, P. M., Lombi, E., van der Ent, A., Wang, P., Laird, J. S., Moore, K. L., Persson, D. P., & Husted, S. (2020). Methods to Visualize Elements in Plants1[OPEN]. *Plant Physiology*, 182(4), 1869-1882. <https://doi.org/10.1104/pp.19.01306>
- Larriva, N. (2003). *Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas* (Vol. 2).
[file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Documentos/Nueva%20carpeta%20\(2\)/Dialnet-SintesisDeLaImportanciaDelPotasioEnElSueloYPlantas-5969765.pdf](file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Documentos/Nueva%20carpeta%20(2)/Dialnet-SintesisDeLaImportanciaDelPotasioEnElSueloYPlantas-5969765.pdf)
- López, J. (2022). *La función del zinc en el cultivo de plantas*.
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-zinc-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Marín, S. (Ed.). (2008). *Luis Genaro Muñoz Ortega*. 45.
- Martínez Cuenca, M.-R. (2012). *Respuestas Del Sistema De Absorción De Hierro En Las Raíces De Los Cítricos Ante Diferentes Condiciones Clorosantes Del Medio* [Universitat Politècnica De València]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/17979>
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal* (Cuarta).
- Ministerio de agricultura y ganadería. (2022). 6425 hectáreas de café son renovadas en la provincia de Loja – Ministerio de Agricultura y Ganadería [Https://www.agricultura.gob.ec/]. <https://www.agricultura.gob.ec/6425-hectareas-de-cafe-son-renovadas-en-la-provincia-de-loja/>
- Mira, J., Argel, L., Gutierrez, J., Hurtado, R., Sánchez, J., & Rey, V. (Eds.). (2012). *Acidez de los suelos y su manejo*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18581.32486>
- Molina, E., & Bornemisza, E. (2021). *Correlación Entre Métodos De Análisis De Zn Disponible En Cuatro Ordenes De Suelos De Costa Rica!*
https://www.mag.go.cr/rev_agr/v25n02_065.pdf

- Molina, E. (2007). *Análisis de suelos*.
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:mxtq1F6fzmIJ:www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Molloy, L. (2002). *El suelo concepto y formación*.
<http://www.edafologia.net/introeda/tema01/introd.htm>
- Monge, Sanz, M., Blanco, A., & Montañes, L. (1994). *El calcio nutriente para las plantas*.
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/4247/1/analesv.21n.3-1995-pp189.pdf>
- Morales, J. M. L. (2012). *El Daño Por Oxidación Causado Por Cobre Y La Respuesta Antioxidante De Las Plantas*. 37, 8.
- Morales, P., Cerdón, L., Girón, J., & Morales, S. (2019). *Un componente básico para mantener empresas cafetaleras*. 15.
- Moreno, E. (2013). *Crecimiento y desarrollo de plantas*.
https://bibliofep.fundacionempresaspoler.org/media/16993/libro_mundo_biologia_lw_13.pdf
- Navarro, S., & Navarro, G. (2003). *El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal* (Segunda). Aedos, s. a.
<https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484766568/quimica-agricola--quimica-del-suelo-y-de-los-nutrientes-esenciales-para-las-plantas>
- Novillo, J., & Álvarez, J. M. (2009). *Manganeso: Deficiencia en plantas cultivadas y su corrección*. 5.
- Osorio, N. W. (2012). *Ph Del Suelo Y Disponibilidad De Nutrientes*. 1(4), 4.
- Peralta, A. (2018). *EL SUELO*. - ppt descargar. <https://slideplayer.es/slide/12212234/>
- Padilla, W. (2013, diciembre 8). Métodos químicos para el análisis del suelo y foliar. Obtenido de <http://www.clinica-agricola.com/>
- Perdomo, C., Barbazán, M., & Durán, J. (s. f.). N. Recuperado 24 de agosto de 2022, de <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>
- Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., Mauro, F., Montes, A., & Velarde, M. (2011). *Sistemas de producción vegetal II* (Primera).
https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4781/sistemas_de_produccion_vegetal_2.pdf
- Pereyra, M. (2001). *Asimilación del nitrógeno en las plantas*.
<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Asimilacion%20del%20nitrogeno.pdf>

- Pérez, F. (2017). *Nutrición Mineral* (Primera).
<http://www.repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3201/000026082L.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Pozas, J. S. (2008). *Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia*. 45.
- PRIICA. (2016). *BVE17069071e.pdf*.
<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf;jsessionid=CA7D131BA293410B28308E4134E4BF3E?sequence=1>
- Prochnow, Morales, M., & Stipp, S. (2009). «*Simposio de Fertilidad*» *Micronutrientes*.
[http://lacs.ipni.net/0/911FAF872B76432C852579840053ECE7/\\$FILE/Prochnow-SpanishIPNI.pdf](http://lacs.ipni.net/0/911FAF872B76432C852579840053ECE7/$FILE/Prochnow-SpanishIPNI.pdf)
- Redondo, J. (2016). *Mejoramiento de los Niveles de Fertilidad de los Suelos en Predios Lecheros*. <https://docplayer.es/38427570-Mejoramiento-de-los-niveles-de-fertilidad-de-los-suelos-en-predios-lecheros.html>
- Quisuruco, E. G. (2014). Aplicación de la técnica del elemento faltante y presente en la cuantificación de la dosis óptima de N,P,K en cebolla (*Allium cepa* L. var. Roja Arequipeña) en Canaán 2750 msnm, Ayacucho. *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2075>
- Ríos, A., & Martino, D. L. (s. f.). *Propiedades Físicas Del Suelo Que Afectan El Desarrollo Vegetal*. 173.
- Ríos, A., Martino, D. L., Martino, D., & Sawchik, J. (1999). *Propiedades Físicas Del Suelo Que Afectan El Desarrollo Vegetal*. 173.
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). PH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de Iniciación Científica*, 4, 101-105. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1829>
- Rodríguez, M., & Flores, V. (2004). *Elementos esenciales y beneficiosos* (1a. ed). Programa CYTED.
- Rodríguez, M., & Florez, V. (2004). Elementos Esenciales y Beneficiosos. Guzmán, M. y López-Galvez (Ed). *Fertirriego: Tecnologías y Programación en Agroplasticultura*. CYTED. ISBN 84-96023-27-3. DL: A1-290-2004. <http://www.cytcd.org>.
<https://core.ac.uk/download/pdf/143458034.pdf>
- Rodríguez, R. (2019). *Evolución de la acidez en un ultisol a la aplicación de cal y respuesta en la fase inicial del cultivo del café (Coffea arabica L.) en pueblo nuevo del cantón Loja* [bachelorThesis, Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/22566>
- Rogel, S. L. R. (2021). *Evaluación biológica de fertilidad del suelo en el sector Cucanamá alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba*.

- <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24489/1/Sofia%20Lizbeth%20Rogel%20Pe%C3%B1aloz.pdf>
- Sadeghian, K. (2016). *La acidez el suelo, una limitante común para la producción de café* (Sandra Milena). <https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0466.pdf>
- Sadeghian, S., & González, H. (2012). *Alternativas Generales De Fertilización Para Cafetales En La Etapa De Producción*. <https://docplayer.es/11255430-Alternativas-generales-de-fertilizacion-para-cafetales-en-la-etapa-de-produccion.html>
- Sánchez, J. (2017). *Fertilidad Del Suelo Y Nutricion Mineral De Plantas*. StuDocu. <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-de-salta/suelos/fertilidad-del-suelo-y-nutricion/6761216>
- Santos, F. E., Martínez, J., & Planello, M. (2010). *Fundamentos básicos de fisiología vegetal y animal*. <http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosbasicosdeFisiologiavegetalyanimal.pdf>
- Sanzano, A. (2019a). *El azufre del suelo* [Universidad Nacional de Tucumán]. [file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Documentos/Nueva%20carpeta%20\(2\)/El%20azufre%20del%20suelo%202019.pdf](file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Documentos/Nueva%20carpeta%20(2)/El%20azufre%20del%20suelo%202019.pdf).
- Sanzano, A. (2019b). *Los factores de formación del suelo* [Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán]. *Solución extractora Bray II y ballesteros—Buscar con Google*. (s. f.). Recuperado 28 de agosto de 2022, de https://www.google.com/search?rlz=1C1GCEA_enEC997EC997&q=Soluci%C3%B3n+extractora+Bray+II+y+ballesteros&spell=1&sa=X&ved=2ahUKEwjHnr651-r5AhUVtTEKHcjFDFQQBSgAegQIARA6&biw=1366&bih=625&dpr=1
- Simposio internacional sobre la nutrición e interacción del hierro. (2016). *Novedades en nutrición férrica de las plantas para aumentar la eficiencia de tus cultivos*. <https://www.certiseurope.es/fileadmin/ES/Descargas/Catalogos/ebook-certis-nutricion-ferrica.pdf>
- StuDocu. (2017). *Determinación de P disponible en un suelo Ácido por el método de Bray II*. StuDocu. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-nacional-de-colombia/quimica-organica/guia-no-7-fosforo-bray-ii/5790493>
- Tandazo, K. (2019). *Evaluación Química Y Biológica De La Fertilidad Del Suelo En Los Sistemas Agroforestales Con Café De Los Sectores Chaguarpamba Y Lozumbe*

[Universidad Nacional De Loja]. Evaluación Química Y Biológica De La Fertilidad Del Suelo En Los Sistemas Agroforestales Con Café De Los Sectores Chaguarpamba Y Lozumbe

- Tomita, K. (2020). *Característica físico-química de los suelos en la región de Sierra, comparando con los resultados en la región de Costa por la evaluación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y otros.* https://cidecuador.org/wp-content/uploads/congresos/2020/tecnologias-agropecuarias/diapo/nuevo-metodo-de-analisis-para-evaluar-la-salinidad-del-suelo_kentaro-tomita.pdf
- Universidad de Cauca. (2016). *Determinación de P disponible en un suelo Ácido por el método de Bray II.* StuDocu. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-nacional-de-colombia/quimica-organica/guia-no-7-fosforo-bray-ii/5790493>
- Universidad politécnica estatal del Carchi. (2018). *Procedimientos específicos de laboratorio.* https://upec.edu.ec/images/stories/r_anexos2018/Procedimientos%20espec%C3%ADficos%20de%20laboratorio%20-%20suelos.pdf
- Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., & Guaya, P. (1998). *Condiciones físicas de los suelos de la region sur del Ecuador.*
- Valarezo, L., Valarezo, & Mancino, M. (2020). *Producción agropecuaria sostenible en suelos arcillosos del Piso temperado andino del sur del Ecuador.pdf.* <https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/2021-01/Produccio%CC%81n%20Agropecuaria%20Sostenible%20en%20Suelos%20Arcillosos%20del%20Piso%20Temperado%20Andino%20del%20Sur%20del%20Ecuador.pdf>
- Valverde, F., & Alvarado Ochoa, S. P. (2009). *Manejo del suelo y la fertilización en el cultivo de papa: Experiencias del DMSA.* <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2496>
- Valle, G., Eduardo, L., Mario, B., Eduardo, M., & Raúl, L. (2002). MANUAL DE ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS. <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/2065/1/MANUAL%20DE%20AN%C3%81LISIS%20QU%C3%8DMICOS%20DE%20SUELOS.PDF>
- Vera, A. L. A. (2001). *El boro como nutriente esencial.* 11.
- Vignola, R., Watler, W., Poveda, K., & Vargas, A. (2018). *Prácticas Efectivas Para La Reducción De Impactos Por Eventos Climáticos En El Cultivo De Café En Costa Rica.* <Http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8206.pdf>
- Vistoso, E. (2022). *Importancia de la fertilidad del suelo en la producción agropecuaria.* <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68532/NR42842.pdf?sequenc>

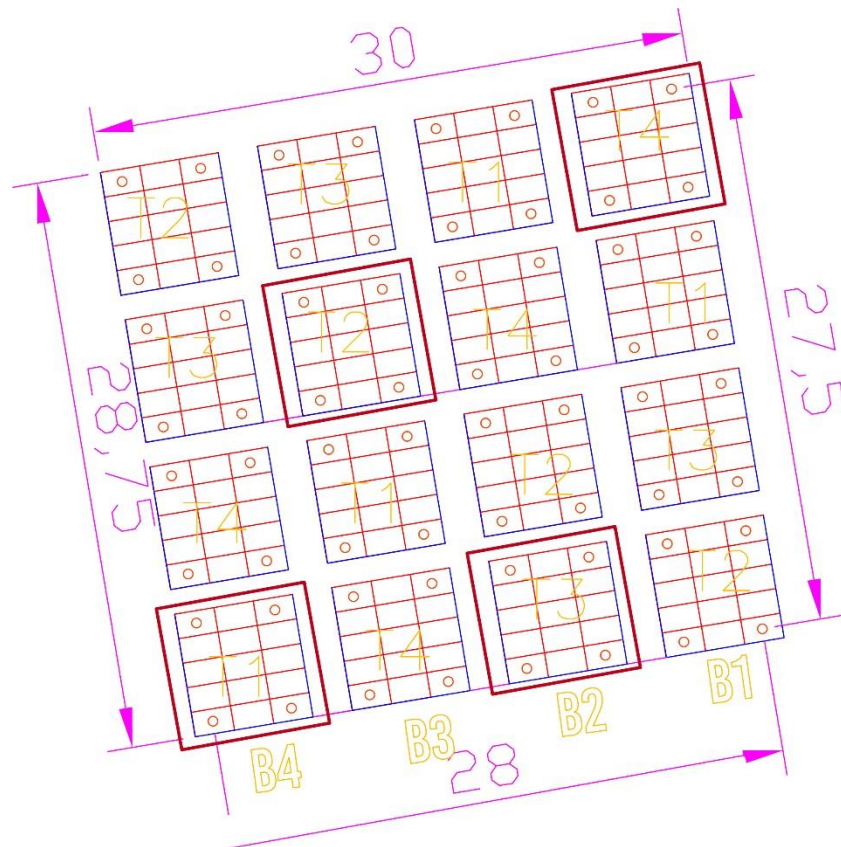
e=1&isAllowed=y

- Villamagua, M. A., Castillo, M. G. G., Sarango, R. Del C. R., Vásquez, E., Manosalvas, C. A. V., & Erraez, R. M. M. (2021). *Efecto del encalado sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del café (Coffea arabica L.) En Pueblo Nuevo, cantón Loja, Ecuador. Bosques Latitud Cero, 11(1), Article 1.*
- Villegas, O., Domínguez, M., Martínez, P., & Aguilar, M. (2015). *Cobre y Níquel, microelementos esenciales en la nutrición vegetal. 2(2), 11.*
- Wanke, D. J., Heichel, J., Zikeli, S., Müller, T., & Hartmann, T. E. (2023). Comparison of soil phosphorus extraction methods regarding their suitability for organic farming systems. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 186(5), 599-608.*
<https://doi.org/10.1002/jpln.202300129>
- YARA. (2018, febrero 7). *Resumen nutricional | Yara Ecuador.* Yara None.
<https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/cafe/resumen-nutricional/>
- 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>
- Zapata, R. (2012). *Análisis Químicos De Los Suelos Para Evaluar La Fertilidad.*
file:///F:/FABRICIO/manual-analisis-de-suelos-calspdf_compress.pdf
- Zhunaula, A. (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.

Esquema de extracción de muestras de suelo del diseño experimental perteneciente a “Efecto de los diferentes niveles de nitrógeno en el crecimiento del café en el cantón Loja”



Fuente: Macas (2021).

Anexo 2.

Resultados de los análisis químicos de los 4 bloques de la quinta experimental la Argelia.

MC-LASPA-2201-01

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

INFORME DE ENSAYO No: 22-0548

NOMBRE DEL CLIENTE: Hualpa Gordillo José Fabricio
PETICIONARIO: Hualpa Gordillo José Fabricio
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Hualpa Gordillo José Fabricio
DIRECCIÓN: Los Cocos, Manuel Zambrano

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 22/09/2022
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 15:30
FECHA DE ANÁLISIS: 26/09/2022
FECHA DE EMISIÓN: 30/09/2022
ANÁLISIS SOLICITADO: S3+CIC.+CE.-(AL+H)

| Análisis | pH | N | | P | | S | | B | | K | | Ca | | Mg | | Zn | | Cu | | Fe | | Mn | | Ca/Mg | Mg/K | Ca+Mg/K | Σ Bases | MO | CO.* | Textura (%)* | | | IDENTIFICACIÓN | | |
|----------|------|------|-----|-----|-------|-----|-------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|----------|------|---------|---------|------|---------|----------------|--|--|----------------|--|---------------|
| | | ppm | A | ppm | A | ppm | B | ppm | M | ppm | M | ppm | M | ppm | M | ppm | M | ppm | M | ppm | M | ppm | M | meq/100g | % | % | Arena | Limo | Arcilla | Clase Textural | | | | | |
| 22-2159 | 5,21 | Ac | 102 | A | 161,1 | A | 10,06 | B | 0,31 | B | 0,26 | M | 2,03 | M | 0,99 | A | 6,0 | M | 6,8 | A | 750 | A | 84,7 | A | 2,05 | 3,88 | 11,80 | 3,28 | 1,61 | M | | | | | Tratamiento 1 |
| 22-2160 | 4,98 | M Ac | 115 | A | 79,2 | A | 10,02 | B | 0,30 | B | 0,32 | M | 2,00 | M | 0,71 | A | 5,6 | M | 5,4 | A | 622 | A | 115,2 | A | 2,82 | 2,19 | 8,37 | 3,03 | 1,51 | M | | | | | Tratamiento 2 |
| 22-2161 | 4,65 | M Ac | 84 | A | 86,1 | A | 8,22 | B | 0,15 | B | 0,07 | B | 1,78 | M | 0,67 | A | 4,1 | M | 5,9 | A | 628 | A | 41,0 | A | 2,64 | 9,34 | 33,99 | 2,53 | 1,59 | M | | | | | Tratamiento 3 |
| 22-2162 | 4,76 | M Ac | 108 | A | 79,1 | A | 9,55 | B | 0,15 | B | 0,17 | B | 1,30 | M | 0,53 | M | 2,4 | B | 5,9 | A | 591 | A | 107,0 | A | 2,45 | 3,07 | 10,61 | 2,01 | 1,45 | M | | | | | Tratamiento 4 |

| Análisis | Al+H | Al* | Na* | C.E. | N. Total* | N-NO3* | K H2O* | P H2O* | Cl* | pH KCl* | IDENTIFICACION |
|----------|------|-----|----------|------|-----------|--------|----------|--------|-----|---------|----------------|
| | ppm | ppm | meq/100g | | % | ppm | meq/100g | ppm | ppm | | |
| 22-2159 | 1,49 | M | | 0,32 | NS | | | | | | Tratamiento 1 |
| 22-2160 | 1,51 | A | | 0,64 | NS | | | | | | Tratamiento 2 |
| 22-2161 | 2,18 | A | | 0,53 | NS | | | | | | Tratamiento 3 |
| 22-2162 | 2,04 | A | | 0,42 | NS | | | | | | Tratamiento 4 |

Anexo 3.

Equivalente químico de las sales.

| 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 4.

Concentración de los fertilizantes para preparar las soluciones nutritivas.

| 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 5.

Cantidad de nutrientes en las soluciones nutritivas.

Solución completa (SC)

Para el cálculo del requerimiento de N se utilizaron tres sales: nitrato de calcio $[(CaNO_3)_2 \cdot 4H_2O]$, nitrato de potasio $[KNO_3]$ y molibdato de amonio tetrahidratado $[(NH_4)_6(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O]$.

| Propiedades | $(CaNO_3)_2 \cdot 4H_2O$ | KNO_3 | $(NH_4)_6(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$ |
|-----------------------------|--------------------------|---------|------------------------------------|
| Peso molecular (g) | 236,15 | 101,11 | 1 235,3 |
| Equivalente químico | 118,08 | 101,11 | 1 235,3 |
| Concentración en la sal (%) | 15,5 | 13,5 | 7 |
| Cantidad (ml/L o meq/L) | 6 | 2 | 1 |

| $(CaNO_3)_2 \cdot 4H_2O$ | | | KNO_3 | | |
|---|---|--|---|---|-----------------------|
| Pasar los 6 meq/L de N a ppm | | | Pasar los 2 meq/L de N a ppm | | |
| N meq/L | | $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 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 $(CaNO_3)_2 \cdot 4H_2O$ | | | Cálculo del 13,5 % de N en KNO_3 | | |
| $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ppm | | N ppm | KNO_3 ppm | | N Ppm |
| 100 | → | 15,5 | 100 | → | 13,5 |
| 708,48 | → | X = | 202,22 | → | X = |
| $X = \frac{708,48 * 15,5}{100} = 109,81 \text{ ppm N}$ | | | $X = \frac{202,22 * 13,5}{100} = 27,30 \text{ ppm N}$ | | |
| $(NH_4)_6(Mo_7O)_{24} \cdot 4H_2O$ | | | | | |

| Pasar los g de N a ppm | | | Cálculo del 7 % de N en $(NH_4)_6 (Mg_7O)_{24} \cdot 4H_2O$ | | |
|---|---|--|--|---|----------|
| N g | | $(NH_4)_6$ $(Mg_7O)_{24} \cdot 4H_2O$ mg | $(NH_4)_6$ $(Mg_7O)_{24} \cdot 4H_2O$ ppm | | N Ppm |
| 14 | → | 1235,3 | 1,76 | → | 7 |
| 0,02 | → | X | $X = \frac{1,76 \times 7}{100} = 0,12 \text{ ppm N}$ | | |
| $X = \frac{0,02 * 1235,3}{14} = 1,76 \text{ ppm}$ | | | | | |
| Requerimiento total de N de la planta indicadora = 109,81+ 27,30+ 0,12= 137.23 \cong 137 ppm de N | | | | | |

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

| Propiedades | KH_2PO_4 |
|-----------------------------|------------|
| Peso molecular (g) | 136,09 |
| Equivalente químico | 136,09 |
| Concentración en la sal (%) | 22,36 |
| Cantidad (ml/L o meq/L) | 2 |

| Pasar los 2 meq/L de P a ppm | | | Cálculo del 22,36 % de P en KH_2PO_4 | | |
|--|---|--------------------------|---|---|----------|
| KH_2PO_4 meq/L | | KH_2PO_4 ppm o mg/L | KH_2PO_4 ppm | | P ppm |
| 1 | → | 136,09 | 100 | → | 22,36 |
| 2 | → | X = | 272,18 | → | X = |
| $X = \frac{2 * 136,09}{1} = 272,18 \text{ ppm}$ | | | $X = \frac{272,18 \times 22,36}{100} = 60,86 \text{ ppm P}$ | | |
| Requerimiento total de P de la planta indicadora = 60,86 \cong 61 ppm de P | | | | | |

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

| Propiedades | KH_2PO_4 | K_2SO_4 |
|-----------------------------|------------|-----------|
| Cantidad (ml/L o meq/L) | 2 | 2 y 1 |
| Peso molecular (g) | 136,09 | 174,27 |
| Equivalente químico | 136,09 | 174,27 |
| Concentración en la sal (%) | 28,22 | 41,5 |

| 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 ppm de K | | | | | |

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

| Propiedades | $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ | $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ | $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Cantidad (ml/L o meq/L) | 2 | 1 | 1 |
| Peso molecular (g) | 136,09 | 101,11 | 174,27 |
| Equivalente químico | 136,09 | 101,11 | 174,27 |
| Concentración en la sal (%) | 28,22 | 38,18 | 41,5 |

| $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ | | | $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ | | |
|---|---|------------------------------------|---|---|------------------------------------|
| Pasar los 2 meq/L de S a ppm | | | Pasar los 2 meq/L de S a ppm | | |
| $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ meq/L | | $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm o mg/L | $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ | | $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm o mg/L |
| 1 | → | 123,24 | 1 | → | 125 |
| 1,5 | → | X = | 1 | → | X = |
| $X = \frac{1,5 * 123,24}{1} = 184,86 \text{ ppm}$ | | | $X = \frac{1 * 125}{1} = 125 \text{ ppm}$ | | |
| Cálculo del 13 % de S en $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ | | | Cálculo del 13 % de S en $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ | | |

| | | | | | | | |
|---|--|--|-------|--|--|---|-----|
| <i>MgSO₄·7H₂O</i> | | | S | <i>CuSO₄·7H₂O</i> | | | S |
| Ppm | | | ppm | ppm | | | ppm |
| 100 | | → | 18 | 100 | | → | 12 |
| 184,86 | | → | X = | 125 | | → | X = |
| | | $X = \frac{184,86 \times 13}{100} = 24,03 \text{ ppm S}$ | | | | $X = \frac{125 \times 12}{100} = 15 \text{ ppm S}$ | |
| <i>ZnSO₄·7H₂O</i> | | | | | | | |
| Pasar 1 meq/L de S a ppm | | | | Cálculo del 13 % de S <i>ZnSO₄·7H₂O</i> | | | |
| <i>ZnSO₄·7H₂O</i> | | <i>ZnSO₄·7H₂O</i> | | <i>ZnSO₄·7H₂O</i> | | S | |
| Ppm | | ppm o mg/L | | ppm | | ppm | |
| 1 | | → | 143,5 | 100 | | → | 13 |
| 1 | | → | X = | 143,5 | | → | X = |
| | | $X = \frac{1 \times 143,5}{1} = 143,5 \text{ ppm}$ | | | | $X = \frac{143,5 \times 13}{100} = 18,65 \text{ ppm S}$ | |
| Requerimiento total de S de la planta indicadora | | | | | | | |
| = 24,03 + 15 + 18,65 = 57,69 ≈ 58 ppm de S | | | | | | | |

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

| Propiedades | <i>MgSO₄·7H₂O</i> | Tabla |
|--------------------------------|---|---------|
| Cantidad (ml/L o meq/L) | 1 | Anexo 3 |
| Peso molecular (g) | 246,48 | Anexo 3 |
| Equivalente químico | 123,24 | Anexo 4 |
| Concentración de en la sal (%) | 9,6 | 2 |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--------|--|--|--|-----|
| <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> | | <i>MgSO₄·7H₂O</i> | | <i>MgSO₄·7H₂O</i> | | Mg | |
| Ppm | | ppm o mg/L | | ppm | | ppm | |
| 1 | | → | 123,24 | 100 | | → | 9,6 |
| 1 | | → | X = | 17,75 | | → | X = |
| | | $X = \frac{1 \times 123,24}{1} = 123,24 \text{ ppm}$ | | | | $X = \frac{123,24 \times 9,6}{100} = 11,83 \text{ ppm Mg}$ | |
| Requerimiento total de Mg de la planta indicadora | | | | | | | |
| = 11,83 ≈ 12 ppm de Mg | | | | | | | |

Para el cálculo del requerimiento de Cu se utilizó la sal: sulfato de cobre [*CuSO₄·7H₂O*]

| Propiedades | $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ | Ver |
|--------------------------------|----------------------|---------|
| Cantidad (ml/L o meq/L) | 1 | Anexo 3 |
| Peso molecular (g) | 250 | Anexo 3 |
| Equivalente químico | 125 | Anexo 4 |
| Concentración de en la sal (%) | 25 | Tabla 2 |

| $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ | | |
|--|---|--|
| Pasar los g de Cu a ppm | | Cálculo del 13 % de Cu en $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ |
| Cu g | | $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ mg/L |
| 63,54 | → | 125 |
| 0,04 | → | X = |
| $X = \frac{0,04 \times 125}{63,54} = 0,078 \text{ ppm}$ | | |
| $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm | | Cu ppm |
| 0,078 | → | 25 |
| $X = \frac{0,078 \times 25}{100} = 0,19 \text{ ppm Cu}$ | | |
| Requerimiento total de Cu de la planta indicadora = 0,19 ppm de Cu | | |

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

| Propiedades | $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ |
|--------------------------------|----------------------|
| Cantidad (ml/L o meq/L) | 1 |
| Peso molecular (g) | 287,5 |
| Equivalente químico | 143,5 |
| Concentración de en la sal (%) | 23 |

| $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ | | |
|--|---|--|
| Pasar los g de Zn a ppm | | Cálculo del 13 % de S $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ |
| Zn G | | $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ mg/L |
| 65,38 | → | 143,5 |
| 0,05 | → | X = |
| $X = \frac{0,05 \times 143,5}{65,38} = 0,109 \text{ ppm}$ | | |
| $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm | | Zn ppm |
| 0,109 | → | 23 |
| $X = \frac{0,109 \times 23}{100} = 0,25 \text{ ppm Zn}$ | | |
| Requerimiento total de Zn de la planta indicadora = 0,25 ppm de Zn | | |

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

| Propiedades | H_3BO_3 |
|--------------------------------|-----------|
| Cantidad (ml/L o meq/L) | 1 |
| Peso molecular (g) | 62 |
| Equivalente químico | 62 |
| Concentración de en la sal (%) | 17,5 |

| H_3BO_3 | | | |
|--|---|---|----------|
| Pasar los g de B a ppm | | Cálculo del 13 % de B en H_3BO_3 | |
| B G | | H_3BO_3 ppm o mg/L | |
| 10,81 | → | 62 | |
| 0,5 | → | X = | |
| $X = \frac{0,5 \times 62}{10,81} = 2,86 \text{ ppm}$ | | | |
| | | H_3BO_3 ppm | B ppm |
| | | 2,86 | → 17,5 |
| | | $X = \frac{2,86 \times 17,5}{100} = 0,50 \text{ ppm B}$ | |
| Requerimiento total de B de la planta indicadora = 0,50 ppm de B | | | |

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

| Propiedades | $(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$ |
|--------------------------------|------------------------|
| Cantidad (ml/L o meq/L) | 1 |
| Peso molecular (g) | 197,9 |
| Equivalente químico | 98,95 |
| Concentración de en la sal (%) | 28 |

| $(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$ | | | |
|--|---|--|--|
| Pasar los g de Mn a ppm | | Cálculo del 13 % de Mn en $(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$ | |
| Mn g | | $(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$ mg/L | |
| 54,93 | → | 98,95 | |
| 0,5 | → | X = | |
| $X = \frac{0,5 \times 98,95}{54,93} = 0,90 \text{ ppm}$ | | | |
| $(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$ ppm | | Mn ppm | |
| 0,90 | → | 28 | |
| $X = \frac{0,90 \times 28}{100} = 0,25 \text{ ppm Mn}$ | | | |
| Requerimiento total de Mn de la planta indicadora = 0,25 ppm de Mn | | | |

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

| Propiedades | NaFe-EDTA |
|--------------------------------|-----------|
| Cantidad (ml/L o meq/L) | 1 |
| Peso molecular (g) | 430 |
| Equivalente químico | 430 |
| Concentración de en la sal (%) | 13 |

| NaFe-EDTA | | | |
|--|---|-------------------------------------|--|
| Pasar los 1 meq/L de Fe a ppm | | Cálculo del 13 % de Fe en NaFe-EDTA | |
| NaFe-EDTA ppm | | NaFe-EDTA ppm o mg/L | |
| 1 | → | 430 | |
| 1 | → | X = | |
| $X = \frac{1 \times 430}{1} = 430 \text{ ppm}$ | | | |
| NaFe-EDTA ppm | | Fe ppm | |
| 100 | → | 13 | |
| 430 | → | X = | |
| $X = \frac{430 \times 13}{100} = 30,1 \text{ ppm Fe}$ | | | |
| Requerimiento total de Fe de la planta indicadora = 30,10 \cong 30 ppm de Fe | | | |

Anexo 6.

Altura y biomasa de los bloques a implementarse en el Sector Quina Experimental la Argelia.

| Elemento | B1 | | B2 | | B3 | | B4 | |
|----------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | Altura | Biomasa | Altura | Biomasa | Altura | Biomasa | Altura | Biomasa |
| N | 157,6 | 62,8 | 0,1 | 0,1 | 87,3 | 44,0 | 221,7 | 84,2 |
| P | 106,6 | 50,2 | 0,1 | 0,1 | 31,2 | 3,3 | 14,8 | 2,0 |
| K | 501,4 | 315,6 | 763,4 | 584,9 | 444,2 | 314,9 | 546,1 | 300,5 |

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mg | 133,9 | 97,4 | 91,0 | 84,2 | 114,7 | 113,6 | 141,9 | 117,2 |
| S | 257,3 | 254,9 | 259,5 | 224,5 | 198,9 | 191,2 | 181,1 | 156,3 |
| Zn | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,3 |
| Mn | 2,6 | 1,3 | 2,8 | 2,4 | 3,1 | 2,6 | 3,9 | 3,2 |
| Cu | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,3 |
| Fe | 40,1 | 31,9 | 37,4 | 26,3 | 40,3 | 38,2 | 0,0 | 0,0 |
| B | 3,2 | 1,8 | 4,4 | 5,0 | 2,6 | 1,4 | 3,8 | 3,0 |

Anexo 7.*Correspondencia del bloque 1.*

| Correspondencia B1 | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| Elemento | Evaluación Biológica | Interpretación | AQ | Interpretación |
| N | 6,4 | B | 102,00 | A |
| P | 9,7 | B | 161,10 | A |
| K | 20,7 | B | 0,26 | M |
| Mg | 51,5 | M | 0,99 | A |
| S | 75,1 | A | 10,06 | B |
| Zn | 55,3 | M | 6,00 | M |
| Mn | 25,5 | B | 84,70 | A |
| Cu | 86,9 | A | 6,80 | A |
| Fe | 59,5 | M | 750,00 | A |
| B | 34,1 | B | 0,31 | B |

Anexo 8.*Correspondencia del bloque 2.*

| Correspondencia B2 | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|-----------------------|
| Elemento | Evaluación Biológica | Interpretación | A.Q | Interpretación |
| N | 2,0 | B | 115,00 | A |
| P | 1,8 | B | 79,20 | A |
| K | 36,7 | M | 0,32 | M |
| Mg | 45,2 | M | 0,71 | A |
| S | 66,6 | A | 10,02 | B |
| Zn | 47,0 | M | 5,60 | M |
| Mn | 46,1 | M | 115,20 | A |
| Cu | 73,8 | A | 5,40 | A |
| Fe | 49,8 | M | 622,00 | A |
| B | 91,6 | A | 0,30 | B |

Anexo 9.*Correspondencia del bloque 3.*

| Correspondencia B3 | | | | |
|---------------------------|----------------------|----------------|--------|----------------|
| Elemento | Evaluación Biológica | Interpretación | A.Q | Interpretación |
| N | 5,32 | B | 84,00 | A |
| P | 2,93 | B | 86,10 | A |
| K | 20,74 | B | 0,07 | B |
| Mg | 59,73 | M | 0,67 | A |
| S | 56,91 | M | 8,22 | B |
| Zn | 24,31 | B | 4,10 | M |
| Mn | 48,40 | M | 41,00 | A |
| Cu | 33,19 | M | 5,90 | A |
| Fe | 70,90 | A | 628,00 | A |
| B | 28,24 | B | 0,15 | B |

Anexo 10.*Correspondencia del bloque 4.*

| Correspondencia B4 | | | | |
|---------------------------|----------------------|----------------|--------|----------------|
| Elemento | Evaluación Biológica | Interpretación | A.Q | Interpretación |
| N | 8,1 | B | 108,00 | A |
| P | 2,9 | B | 79,10 | A |
| K | 20,0 | B | 0,17 | B |
| Mg | 61,7 | A | 0,53 | M |
| S | 47,1 | M | 9,55 | B |
| Zn | 54,8 | M | 3,40 | B |
| Mn | 59,4 | M | 107,00 | A |
| Cu | 66,3 | A | 5,90 | A |
| Fe | 50,1 | M | 591,00 | A |
| B | 57,1 | M | 0,15 | B |

Anexo 11.*Difusión de resultados*

| Elemento | B1 | | B2 | | B3 | | B4 | | Promedio | |
|----------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|-------|
| | Evaluación Biológica | % | Evaluación Biológica | % | Evaluación Biológica | % | Evaluación Biológica | % | Evaluación Biológica | % |
| SC | 6,99 | 100,00 | 5,61 | 100,00 | 5,61 | 100,00 | 6,81 | 100,00 | 6,42 | 100,0 |
| N | 0,45 | 6,44 | 0,11 | 2,02 | 0,11 | 2,02 | 0,55 | 8,08 | 0,36 | 5,6 |
| P | 0,68 | 9,73 | 0,10 | 1,78 | 0,10 | 1,78 | 0,20 | 2,89 | 0,29 | 4,5 |
| K | 1,45 | 20,70 | 2,06 | 36,74 | 2,06 | 36,74 | 1,36 | 20,03 | 1,54 | 24,0 |
| Mg | 3,60 | 51,55 | 2,53 | 45,18 | 2,53 | 45,18 | 4,20 | 61,66 | 3,52 | 54,8 |
| S | 5,25 | 75,06 | 3,73 | 66,59 | 3,73 | 66,59 | 3,20 | 47,06 | 3,94 | 61,4 |
| Zn | 3,86 | 55,27 | 2,64 | 47,03 | 2,64 | 47,03 | 3,73 | 54,75 | 2,94 | 45,8 |
| Mn | 1,78 | 25,51 | 2,59 | 46,14 | 2,59 | 46,14 | 4,04 | 59,40 | 2,86 | 44,6 |
| Cu | 6,07 | 86,89 | 4,14 | 73,84 | 4,14 | 73,84 | 4,51 | 66,31 | 4,20 | 65,5 |
| Fe | 4,16 | 59,51 | 2,79 | 49,82 | 2,79 | 49,82 | 3,41 | 50,15 | 3,70 | 57,7 |
| B | 2,38 | 34,10 | 5,14 | 91,62 | 5,14 | 91,62 | 3,89 | 57,10 | 3,29 | 51,3 |
| Testigo | 0,16 | 2,34 | 0,16 | 2,91 | 0,16 | 2,91 | 0,18 | 2,60 | 0,16 | 2,6 |

Anexo 12.

Difusión de resultados

Tipo de evento: Día de Campo Tema: “Evaluación Biológica de fertilidad del suelo en el sector Quinta experimental la Argelia”

Lugar: Ciudad de Loja

Fecha: 22 de julio del 2022

Participantes: director de Tesis, Tesista, Estudiantes de Carrera de Ingeniería Agrícola Ciclo 2



Anexo 13.

Evaluación biológica del B1 de la quinta experimental la Argelia.



Anexo 14.

Evaluación biológica del B2 de la quinta experimental la Argelia.

**Anexo 15.**

Evaluación biológica del B3 de la quinta experimental la Argelia.

**Anexo 16.**

Evaluación biológica del B4 de la quinta experimental la Argelia.



Anexo 17.

Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo

INTRODUCCIÓN

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

Con el transcurso del tiempo el suelo pierde su capacidad productiva y la disponibilidad de nutrientes causando una disminución en el rendimiento de los cultivos.

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

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

OBJETIVOS

Objetivos específicos

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

METODOLOGÍA

Ubicación del ensayo

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

Materiales

144 tarrinas de plástico de 600ml, 144 vasos de plásticos de 250 ml, semillas de tomate riñón de origen híbrido, recipientes de plástico de 6L, sales y balanza de precisión.

Metodología

Evaluación biológica:

Se tomaron muestras de suelo en el sector de estudio a una profundidad de 25 cm.

Instalación y seguimiento del ensayo:

- Preparación de soluciones madres y nutritivas;

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

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

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

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

- Colocación de soluciones nutritivas en los recipientes (600ml).
- Siembra de tomate riñón (Siembra 25 de mayo).
- Reposición de soluciones nutritivas de las 144 plantas fue: en el periodo de los 15 – 30 días fue de 0,3 L/día; 30 – 45 días 1,7 L/día; y de 45 - 60 días el consumo fue de 2,8 L/días.
- Medición de la altura a los 54 días.

Diseño experimental

Se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (4 x 12) y tres repeticiones; para cada sector de estudio.

Variables a evaluar

- Altura de la planta (cm)
- Biomasa seca (g)

RESULTADOS

Análisis de resultados tomando en cuenta la altura a los 55 días de haber iniciado el ensayo en la quinta experimental.

T1

T2

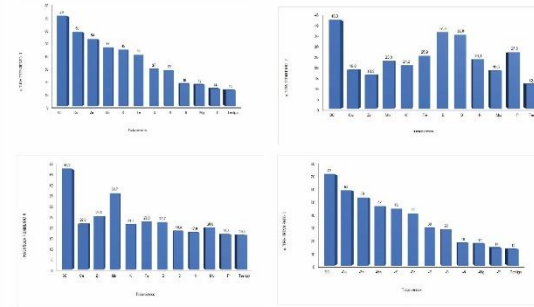


T3

T4




Análisis de resultados tomando en cuenta la altura y biomasa a los 60 días de haber iniciado el ensayo.



CONCLUSIONES

- La caracterización química de los suelos de la Quinta Experimental La Argelia reveló un pH ácido de 4,9, que se encuentra en concordancia con las características típicas de los suelos cafeteros de altura en la provincia de Loja.
- Los valores de la suma de bases obtenidos en el análisis químico resultaron bajos, lo que sugiere una pérdida significativa de bases por lixiviación en suelos ácidos.
- Durante el estudio, se observó deficiencias en varios nutrientes de la planta indicadora de tomate, aunque estas deficiencias fueron en menor intensidad comparadas con las de nitrógeno (N), Fósforo (P), azufre (S) y potasio (K).
- Los elementos con mayor deficiencia que presentó la planta indicadora de tomate, evaluada bajo condiciones de invernadero a los 60 días después de la siembra, fueron nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y potasio (K).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ (COFFEA ARÁBIGA L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

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

TESISTAS: Fabricio Hualpa
Paola Aguirre

DIRECTOR: Ing. M.Sc. Miguel Villamagua

LOJA - ECUADOR

Anexo 18.

Certificado de traducción.

Loja, 11 de enero de 2024

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Sandra Patricia Erazo Mogrovejo, con identificación 1103130165, Licenciada En Ciencias De La Educación En La Especialidad De Idioma Inglés.

CERTIFICO:

Que el texto traducido al idioma que componen el Resumen del trabajo de titulación: Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café (*Coffea arábica* L.) en la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional De Loja, de autoría del estudiante José Fabricio Hualpa Gordillo con cédula de identidad 1150105110, fue realizado, traducido y verificado bajo mi supervisión.



SANDRA PATRICIA ERAZO MOGROVEJO

Nro. Registro:1008-08-864383

Licenciada en Ciencias de la Educación en la Especialidad de Idioma Inglés.

