



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES

RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE FERTILIDAD DEL
SUELO EN EL SECTOR CUCANAMÁ ALTO
PERTENECIENTE A LA PARROQUIA VILCABAMBA**

*Tesis de Grado Previa a
la Obtención del Título
de Ingeniera Agrícola.*

Sofia Lizbeth Rogel Peñaloza

AUTORA:

M.Sc. Miguel Ángel Villamagua

DIRECTOR:

Loja – Ecuador

2021

CERTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TESIS

M.Sc. Miguel Ángel Villamagua
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICO:

Que el presente trabajo de investigación titulado **“EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE FERTILIDAD DEL SUELO EN EL SECTOR CUCANAMÁ ALTO PERTENECIENTE A LA PARROQUIA VILCABAMBA”** de autoría de la señorita egresada Sofia Lizbeth Rogel Peñaloza, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, el mismo ha sido dirigido y revisado desde su inicio hasta su culminación dentro del cronograma aprobado; por lo tanto, autorizo su presentación para su correspondiente calificación.

Loja, 10 de septiembre de 2020



Firmado electrónicamente por:
**MIGUEL
ANGEL**

.....
M.Sc. Miguel Ángel Villamagua

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Loja, 06 de diciembre de 2021

Ing. Omar Augusto Ojeda, Mg.Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS

En calidad de presidente del Tribunal de Calificación de la tesis titulada: **“EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE FERTILIDAD DEL SUELO EN EL SECTOR CUCANAMÁ ALTO PERTENECIENTE A LA PARROQUIA VILCABAMBA”**, de autoría de la señorita egresada de la Carrera de Ingeniería Agrícola **Sofía Lizbeth Rogel Peñaloza**, con cédula de identidad 1104805351, se informa que la misma ha sido revisada e incorporadas todas las observaciones realizadas por el Tribunal Calificador, y luego de su revisión se ha procedido a la respectiva calificación. Por lo tanto, autorizo la versión final de la tesis y la entrega oficial para la sustentación pública.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**OMAR AUGUSTO
OJEDA OCHOA**

.....
Mg.Sc. Omar Augusto Ojeda Ochoa
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**MARIA NARCISA
CHAMBA ONTANEDA**

.....
Mg.Sc. María Narcisa Chamba Ontaneda
VOCAL DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**LUIS FLORESMILO
SIVISACA
CARAGUAY**

.....
Mg.Sc. Luis Floresmiло Sivisaca Caraguay
VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo, **Sofia Lizbeth Rogel Peñaloza**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



.....
Autor: Sofia Lizbeth Rogel Peñaloza

Cédula: 1104805351

Fecha: Loja, 7 de diciembre del 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **Sofia Lizbeth Rogel Peñaloza**, declaro ser autor de la tesis titulada: **“EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE FERTILIDAD DEL SUELO EN EL SECTOR CUCANAMÁ ALTO PERTENECIENTE A LA PARROQUIA VILCABAMBA”**, como requisito para optar al grado de INGENIERÍA AGRÍCOLA, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI):

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, 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, al día siete del mes de diciembre del dos mil veintiuno.

Firma:



.....

Autor: Sofia Lizbeth Rogel Peñaloza.

Número de cédula: 1104805351

Dirección: Loja- Ecuador

Correo Electrónico: slrogelp@unl.edu.ec

Celular: 0997245393.

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Mg. Sc. Miguel Villamagua

Tribunal de grado: Mg.Sc. Omar Augusto Ojeda Ochoa Presidente

Mg.Sc María Narcisca Chamba Ontaneda Vocal

Mg.Sc. Luis Floresmilo Sivisaca Caraguay Vocal

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables y de forma especial a la Carrera de Ingeniería Agrícola con toda su planta docente por brindarme sus conocimientos y apoyo en la formación profesional para el servicio de la sociedad.

Mi agradecimiento al Ing. Miguel Ángel Villamagua Mg. Sc. director de la presente investigación por su valioso aporte y orientación.

A Karina Tandazo por su ayuda desinteresada, por compartir sus conocimientos en la presente investigación. A Fernando Torres por su apoyo y comprensión incondicional.

Quiero agradecer al Ing. Omar Ojeda por su ayuda dentro del proyecto de investigación y a todas las técnicas del Laboratorio de Suelos y de Bromatología por proporcionarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación. No hubiese podido arribar a estos resultados de no haber sido por su incondicional ayuda.

De manera especial a la Ingeniera María Chamba y al Ingeniero Luis Sivisaca, por ayudarme a corregir de manera técnica mi proyecto de titulación e instruirme con su conocimiento.

Sofia Lizbeth Rogel P.

DEDICATORIA

Principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mi madre, por ser el pilar más importante en mi vida y por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi hijo por su amor. A mis hermanos por su apoyo. En memoria de mi Tío Juan, que me alentó y me apoyo con sus hermosas palabras.

Sofia Lizbeth Rogel P.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TESIS	II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	III
AUTORÍA.....	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIV
TITULO.....	XV
RESUMEN... ..	XVI
SUMMARY.....	XVII
1. Introducción.....	1
2. Marco teórico.....	4
2.1. Nutrientes esenciales para las plantas cultivadas.....	4
2.2. Funciones de los elementos y síntomas de deficiencia.....	5
2.2.1. Nitrógeno.....	5
2.2.2. Fosforo	6
2.2.3. Potasio.....	7
2.2.4. Calcio	7
2.2.5. Magnesio.....	7

2.2.6. Azufre.....	8
2.2.7. Zinc	8
2.2.8. Cobre.....	9
2.2.9. Hierro	9
2.2.10. Manganeseo	9
2.2.11. Boro.....	10
2.3. La Fertilidad del suelo	10
2.4. Evaluación química de la fertilidad del suelo.....	12
2.5. Fertilidad actual y potencial.....	13
2.6. Métodos de análisis químico de la fertilidad de suelos.....	13
2.6.1. Solución extractora Olsen Modificada.....	13
2.6.2. El método de la curcumina.....	14
2.7. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo	14
2.7.1. Indicadores de fertilidad.....	14
2.7.2. Método del elemento faltante.....	15
2.8. Fertilización en cafetales.....	16
2.9. Requerimientos de nutrimentos	16
2.10. Relaciones entre cationes intercambiables.....	17
2.11. Trabajos relacionados	18
3. Materiales y métodos	21
3.1. Ubicación política, geográfica y características biofísicas del Sector Cucanamá	21
3.1.1 Ubicación del sector de estudio.....	22
3.2. Características biofísicas del sector de estudio.....	24
3.2.1 Relieve.....	24

3.2.2	Geología	24
3.2.3	Suelo.....	24
3.2.4	Clima.....	24
3.3.	Localización del ensayo de evaluación biológica	24
3.4.	Materiales y Equipos.....	25
3.5.	Metodología	25
3.5.1	Elaboración de calicatas del suelo del sector de estudio.....	25
3.6.	Evaluación biológica de la fertilidad del suelo	25
3.6.1	Diseño experimental.....	25
3.6.2	Preparación de soluciones nutritivas	26
3.6.3	Preparación de las muestras de suelo	28
3.6.4	Preparación de los recipientes	28
3.6.5	Instalación del experimento	29
3.6.6	Siembra y raleo de la planta indicadora	30
3.6.7	Reposición de la solución nutritiva	30
3.6.8	Registro del crecimiento y peso seco de la planta.....	31
3.6.9	Análisis de la fertilidad química en el laboratorio	31
3.7.	Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico.	31
3.8.	Difusión de los resultados.....	32
3.9.	Plan de fertilización	32
4	Resultados y discusión.....	33
4.1.	Características morfológicas, químicas y fertilidad del suelo del sector Cucanamá.	33
4.2.	Descripción de los resultados.....	33
4.3.	Características químicas.....	35

4.4. Fertilidad actual	36
4.5. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo	37
4.6. Altura de la planta.....	37
4.7. Biomasa seca.....	38
4.6.1 Solución nutritiva completa (SC).....	39
4.6.2 Solución – N	39
4.6.3 Solución – P.....	41
4.6.4 Solución - K	42
4.6.5 Solución – Mg.....	42
4.6.6 Solución – S	43
4.6.7 Solución – Zn	45
4.6.8 Solución – Cu.....	45
4.6.9 Solución – Mn.....	46
4.6.10 Solución – B.....	46
4.6.11 Solución – Fe.....	47
4.6.12 Testigo.....	47
4.8. Análisis de la correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica.	48
4.9. Fertilización para cafetales	50
4.7.1 Fertilización para el sector del sistema agroforestal con café de Cucanamá	50
6. Conclusiones	54
7. Recomendaciones	55
8. Bibliografía	56
9. Anexos.	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos de macro y micro nutrientes en cafetales en producción.....	17
Tabla 2. Relaciones entre cationes intercambiables adecuados para el café	18
Tabla 3. Descripción de factores y niveles de estudio dentro del diseño factorial.	26
Tabla 4. Tipos de sales y las cantidades para preparar las soluciones madres 1N de los macro elementos	26
Tabla 5. Concentración de la solución madre y cantidades de sales para la preparación de un litro de la solución madre de micronutrientes.	27
Tabla 6. Volúmenes de las soluciones madre que se necesita para 1 L de las soluciones nutritivas	28
Tabla 7. Interpretación de valores de altura y biomasa (%) de la planta indicadora	32
Tabla 8. Características Morfológicas del Sector de estudio.....	33
Tabla 9. Propiedades químicas de la capa superior del suelo (00-25 cm) de los sectores de estudio de Cucanamá.....	36
Tabla 10. Contenidos de elementos disponibles en la capa superior (00-25cm) de los sectores de estudio de Cucanamá.	36
Tabla 11. Requerimiento (Kg ha ⁻¹) de cafetales en producción para el suelo del sector de estudio Cucanamá.....	49
Tabla 12. Fertilizantes utilizados para suplir la fertilidad del suelo del sector.....	50
Tabla 13. Cálculo del CICE del sector Cucanamá.....	50
Tabla 14. Enmienda y relación de cationes para el suelo del sector Cucanamá.	51
Tabla 15. Nutrientes recomendados para el cultivo de cafetales en crecimiento.....	51
Tabla 16. Plan de fertilización para cafetales en crecimiento para el suelo del sector Cucanamá en 1ha.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del Sitio de estudio.	22
Figura 2. Mapa de sectorización de los suelos de Cucanamá.....	23
Figura 3. Ajuste de recipientes para instalación del ensayo	29
Figura 4. Instalación del experimento con sus respectivas repeticiones.....	29
Figura 5. Perfil de suelo del Sector Cucanamá.....	33
Figura 6. Promedio y prueba de Tukey al 5% de Altura de la planta indicadora (cm) a los 60 días de edad, del Sector Cucanamá.	37
Figura 7. Aspecto de la planta indicadora evidenciando las principales deficiencias de Nitrógeno, Fósforo Azufre y Potasio.	38
Figura 8. Promedio y prueba de Tukey al 5% de materia seca de la planta indicadora a los 60 días de edad, del sector Cucanamá.	39
Figura 9. Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico del suelo de Cucanamá.....	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Descripción del perfil del suelo en el sector Cucanamá (perfil 1)	64
Anexo 2: Descripción del perfil del suelo en el sector Cucanamá (perfil 2)	67
Anexo 3: Descripción del perfil del suelo en el sector Cucanamá (perfil 3)	70
Anexo 4: Resultados de análisis químicos de los tres sectores Cucanamá.....	73
Anexo 5: Porcentaje de Biomasa seca de la planta indicadora, de los tratamientos a implementarse en el Sector Cucanamá.....	73
Anexo 6: Porcentaje de altura de la planta indicadora de los tratamientos a implementarse en el sector Cucanamá.....	74
Anexo 7: Análisis químicos del suelo del Sector Cucanamá.....	74
Anexo 8: Composición química de los 11 utilizados para la realización del plan de fertilidad.....	75
Anexo 9: Difusión de resultados.....	75
Anexo 10: Evaluación Biológica del sector 1, Cucanamá.....	76
Anexo 11: Evaluación Biológica del sector 2, Cucanamá.....	76
Anexo 12: Evaluación Biológica del sector 3, Cucanamá.....	77

**“EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE FERTILIDAD DEL SUELO EN EL
SECTOR CUCANAMÁ ALTO PERTENECIENTE A LA PARROQUIA
VILCABAMBA”**

RESUMEN

En el sector Cucanamá alto ubicado en la parroquia Vilcabamba del Cantón Loja, la restitución y la aplicación de fertilizantes ha sido uno de los problemas que se ha presentado con el transcurso del tiempo, por lo que los agricultores han optado por realizar aplicaciones sin considerar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, estas limitantes han dado como resultado bajos rendimientos y una baja fertilidad de los suelos. Con estos precedentes en la presente investigación se planteó evaluar biológicamente la disponibilidad de nutrientes en el suelo para complementar el análisis químico a fin de generar un plan de fertilización para la implementación de un sistema agroforestal de café en el sector de estudio ubicado en Cucanamá alto de la Parroquia Vilcabamba. Se 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, lo que revela que los análisis químicos no son confiables; ya que no indican la disponibilidad real del nutriente en el suelo. Para la elaboración del plan de fertilidad se utilizó la correspondencia en el cual se identificó la deficiencia de cada elemento, y así realizar la restitución de los elementos más deficientes como el N, P, Zn, B, Cu, Mg, K.

Palabras clave: evaluación biológica, soluciones nutritivas, planta indicadora, correspondencia

SUMMARY

In the high Cucanamá sector located in the Vilcabamba parish of the Loja Canton, the restitution and application of fertilizers has been one of the problems that has arisen over time, so farmers have chosen to make applications without considering the availability of nutrients in the soil, these limitations have resulted in low yields and low soil fertility. With these precedents in the present research, we proposed to biologically evaluate the availability of nutrients in the soil to complement the chemical analysis in order to generate a fertilization plan for the implementation of a coffee agroforestry system in the study sector located in Cucanamá Alto of the Vilcabamba Parish. Information was collected on the available nutrients N, P, K, S, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn and B, analyzed chemically and the biological evaluation (missing element), where tomato indicator plants were used with their respective nutrient solution, in order to later make a comparison between the two methods. As a result, N, P, K, and S were the most deficient elements; and in the comparative analysis it was found that N, P, K, Mg, S, Cu, and B did not correspond between the biological evaluation and the concentration of the nutrient available from the chemical analysis, which reveals that chemical analyses are not reliable, since they do not indicate the real availability of the nutrient in the soil. For the elaboration of the fertility plan, the correspondence was used in which the deficiency of each element was identified, and thus the restitution of the most deficient elements such as N, P, Zn, B, Cu, Mg, K was carried out.

Keywords: biological evaluation, nutrient solutions, indicator plant, correspondence.

1. Introducción

La provincia de Loja se caracteriza por tener suelos en su mayoría franco-arcilloso, con una fertilidad ideal para actividades agrícolas, es decir, proporcionar hábitat a las plantas y producir rendimientos sostenidos y consistentes de muy alta calidad; pero dichas actividades se ven limitadas por la variación de pendientes presentes de forma regular comprendidas entre 40 y 70%, la presencia excesiva de dichas pendientes limita el desarrollo de actividades productivas, que en nuestro cantón no se da por la existente erosión del suelo que incrementa problemas como la baja fertilidad (PDOT Loja, 2014).

Vilcabamba siendo una de las parroquias que presenta características similares a las de la provincia de Loja, con una superficie cubierta por suelos de tipo entisol 53,05% e inceptisoles 27,37% es decir se tratan de suelos que poseen una fertilidad baja o media por lo que se requiere fertilización para mejorar su disponibilidad de nutrientes (PDOT Vilcabamba, 2019).

El Sector Cucanamá Alto de la Parroquia Vilcabamba, es un lugar próspero en cuanto a su potencial agrícola, donde la mayoría de familias está dedicada a la agricultura, principalmente a la producción de café, caña de azúcar, frejol y maíz duro; una de las principales limitantes de los productores es la baja fertilidad del suelo ya que son suelos poco fértiles, por ende, los bajos rendimientos en la producción, así mismo los productores con el fin de corregir dicho problema realizan fertilizaciones sin tomar en cuenta los elementos disponibles existentes en el suelo, requerimiento del cultivo, criterio técnico.

Con todos estos antecedentes el propósito de esta investigación es contribuir a la mejora de los problemas de fertilidad en el sector de estudio; al aplicar la fertilización al suelo de macro y micro nutrientes se compensará la deficiencia de estos elementos químicos, que permitirá la disponibilidad de nutrientes para la planta, lo que conllevará a una mejor producción y

productividad, incrementando así la rentabilidad de los cultivos, convirtiéndose en una opción factible para los productores.

Por todo ello se consideró pertinente evaluar la fertilidad actual del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes con la evaluación biológica, para lo cual se utilizó la metodología del elemento faltante y el análisis químico, las cuales nos permitirán realizar la correspondencia entre el análisis químico y el análisis biológico, que ayudara a realizar un análisis comparativo a fin de generar un plan de fertilización conveniente para el cultivo de café.

La evaluación biológica es una técnica rápida, eficiente que involucra el uso de ciertos procedimientos analíticos e interpretaciones para determinar el estado de distintos nutrientes a fin de corregirlo, y además para demostrar mediante procedimientos usados en el invernadero la efectividad de la interpretación de los resultados analíticos, obteniendo así resultados más reales.

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

Siendo así la fertilidad del suelo en la agricultura tiene gran relación e importancia con la producción, ya que al conseguir mantener la fertilidad en niveles óptimos es lo que dará buenos resultados, tanto a corto como a largo plazo. La presente investigación contribuye al sector agrícola especialmente a las personas que desean producir más alimentos y cultivos comerciales, y de mejor calidad. Con la fertilización se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobreexplotados, todo ello promoverá el bienestar de las comunidades y del país (FAO, 2002).

Por los motivos expuestos, en el presente trabajo de investigación se planteó el siguiente objetivo:

Objetivo General

Evaluar biológicamente la disponibilidad de nutrientes en el suelo para complementar la evaluación química a fin de generar un plan de fertilización para implementar un sistema agroforestal de café en el sector Cucanamá de la Parroquia Vilcabamba.

Objetivos Específicos

- Evaluar biológicamente el suelo seleccionado en el sector Cucanamá de la Parroquia Vilcabamba.
- Establecer la correspondencia entre la evaluación química y la biológica del suelo seleccionado.
- Proponer un plan de fertilidad para el cultivo de café en el sector seleccionado.

2. Marco teórico

2.1. Nutrientes esenciales para las plantas cultivadas

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

Actualmente se admite que las plantas pueden contener hasta 60 elementos, de los cuales 16 de ellos (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Mo, Cu, Zn y Cl) son considerados esenciales para su normal desarrollo, mientras que otros 4 (Na, Si, Co y V) son considerados solo esenciales para algunas de ellas. Todos estos elementos desempeñan funciones muy importantes en las plantas, los mismos que pueden estar deficientes, lo cual puede producir graves alteraciones y reducir notablemente el crecimiento de la misma. De los 16 elementos esenciales, los 3 primeros son suministrados mayoritariamente por el aire y el agua, mientras que los 13 restantes son aportados por el suelo. Estos elementos nutritivos suministrados por el suelo se pueden clasificar en macro- y micro elementos. Los macro elementos son el N, P, K, Ca, Mg y S y como micro elementos, elementos traza u oligoelementos se encuentran el Fe, Mn, B, Mo, Cu, Zn, y Cl (Fernández, 2015).

Según HILLEL, (2005) las concentraciones de nutrientes no son suficientes para las plantas aparecen síntomas distintos de deficiencia visual. Deficiencias extremas pueden provocar la muerte de la planta. Las concentraciones de nutrientes se consideran excesivo o tóxico y se puede identificar en el crecimiento de la planta y en el rendimiento, los mismos que son reducidos. La planta también absorbe muchos elementos no esenciales presentes en la solución del suelo. Por ejemplo, exceso de Al^{3+} produce un suelo ácido que puede reducir el rendimiento de la planta.

2.2. Funciones de los elementos y síntomas de deficiencia.

Las sales minerales son las suministradoras de los elementos nutritivos que las plantas requieren para el desarrollo de su ciclo vital, y son incorporadas a través de las raíces. Estas sales en su mayoría proceden de las rocas de la litosfera, las cuales y a través de muy diversos procesos de meteorización se degrada lentamente hasta convertirse en compuestos solubles. En el agua del suelo, estos compuestos se disocian en mayor o en menor grado en cationes y aniones, pudiendo mantenerse libres en la disolución o fijarse eléctricamente a las partículas coloidales. Es necesario indicar que, el nitrógeno, no es constituyente de las rocas. Su presencia en el suelo y en las aguas naturales se debe a la descomposición de diversos compuestos orgánicos nitrogenados, de origen animal o vegetal, y la fijación del nitrógeno atmosférico por determinados microorganismos o, en menor proporción, por descargas eléctricas y su posterior arrastre en el suelo (Navarro, 2014).

La disponibilidad de nutrientes, el crecimiento de las raíces y la absorción de nutrientes están influenciada por el balance agua-aire-temperatura del suelo y otros factores bióticos y abióticos. Los nutrientes de las proximidades de las raíces y más exactamente de los pelos absorbentes muy finos que llevan las raicillas, son absorbidos en forma indiscriminada por lo que en la planta se encuentra una lista extensa. Pero ello no quiere decir, que se constituyan en elementos metabólicos para su normal desarrollo (Iñiguez, 2010). Para identificar un desorden nutricional es describir el síntoma con términos seguros y claros. Cuando se observa un desorden, se deberá determinar que parte de la planta u órgano está afectado (Resh, 2001).

2.2.1. Nitrógeno

Es el componente principal de las sustancias básicas o elementales de las plantas como los aminoácidos, enzimas, hormonas y proteínas. Las plantas absorben activamente el nitrógeno a través de las raíces en forma de nitratos (NO_3) y amonio (NH_4). La absorción foliar del N es

maximizada como amoníaco (NH_3), NO_3 y aminoácidos, y en ciertas condiciones en forma de urea líquida. Generalmente el NH_4 es tomado por las raíces en pH neutro y la absorción decae con un pH bajo. Caso contrario al NO_3 que es absorbido rápidamente en pH ligeramente menor al neutro. La mayor parte del NH_4 absorbido por las plantas es asimilado rápidamente en aminoácidos constituyendo a las proteínas antes de ser transportados a las vacuolas de las hojas. En cambio, el NO_3 es reducido a NH_3 antes de ser utilizados por las plantas, este proceso se da principalmente en las hojas (Intagri, 2018).

2.2.2. Fosforo

es absorbido predominantemente como anión monovalente fosfato v (H_2PO_4) y en menor cantidad como anión divalente (HPO_4^{-2}). La presencia de una u otra forma iónica depende del pH. En un pH alcalino la disponibilidad del fósforo está limitada por la formación de fosfatos de calcio, no aprovechables por las plantas. Igualmente, en condiciones de pH bajo, la alta solubilidad del aluminio y del hierro precipitan el fósforo, limita la disponibilidad de este elemento para las plantas (Rodríguez y Floréz, 2004).

Este elemento procede solo de la descomposición de la roca madre durante el proceso de la meteorización, y presenta alrededor del 0,1% de la corteza terrestre. Su contenido, pequeño en las rocas primitivas o sedimentarias, es notable y más elevado en las rocas volcánicas las cuales constituyen la fuente original del fosforo. El fosforo puede incorporarse a los suelos mediante la fijación bioquímica por microorganismos, el fosforo tiene ayuda microbiana la cantidad expresada como P_2O_5 en el suelo en raras ocasiones sobrepasa el valor de 0,5% (Navarro & Navarro, 2013).

La deficiencia ocasiona un débil desarrollo de la planta, causa que las hojas presenten nervios pocos pronunciados y de una coloración azul, verdosa con tintes bronceados o purpuras,

se presentan con frecuencia en las hojas viejas, dado que el fósforo se mueve con rapidez de estas a las hojas jóvenes (Iñiguez, 2007).

2.2.3. Potasio

Para que un suelo no presente síntomas de deficiencia en la planta debe estar bien dotado de la presencia de K_2O para asegurar la disponibilidad de K^+ forma, en que es absorbido por las raíces. Desempeña una importante función en la fotosíntesis, en la economía hídrica, de la planta y muy especialmente como activador enzimático (Iñiguez, 2007).

El potasio se halla en la mayoría de los suelos en cantidades relativamente grandes, su contenido como K_2O , varía entre 0,5 a 3 % y depende de su textura (Navarro, 2013).

2.2.4. Calcio

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

2.2.5. Magnesio

El magnesio es absorbido por la planta como Mg^{+2} , sin este elemento no sería posible la vida en la tierra, ya que entra en la composición de pigmentos verdes, utilización de energía solar y la síntesis de los constituyentes orgánicos indispensable para la vida vegetal y animal. Este elemento es muy abundante en la corteza terrestre, su contenido medio puede situarse en un 2,3% (Navarro, 2013).

Según Herrera (2007) el magnesio es móvil en la planta y su carencia se manifiesta en las hojas viejas. Se produce clorosis intervenal típica de hoja vieja que muy raras ocasiones

manifiesta necrosis. El ápice y los márgenes de la hoja pueden curvarse hacia arriba, las hojas no se secan.

2.2.6. Azufre

El azufre es un elemento esencial para la formación de proteínas. Las plantas toman el azufre como anión sulfato SO_4^{2-} . La cantidad de azufre en forma asimilable depende, sobre todo, de la riqueza de humus y de la actividad biológica de los suelos (Guerrero, 2007).

La deficiencia de azufre produce según plantas pequeñas y enclenques, tallos delgados, hojas amarillentas, muy similares a la coloración que toman cuando carecen de nitrógeno, esta coloración comienza en las hojas superiores (Graetz, 2010).

2.2.7. Zinc

Es absorbido por la planta como Zn^{+2} o como quelado por vía foliar o radicular, este elemento participa en la formación y funcionamiento de diversos sistemas enzimáticos que intervienen en procesos vitales para la planta. En los suelos agrícolas, el contenido total puede oscilar normalmente entre 10 y 300 ppm, y de lo que se conoce el zinc asimilable o en el zinc en condiciones de ser asimilado por la planta está por debajo de 10 ppm (Navarro, 2013).

Según Herrera (2007) el zinc es bastante inmóvil en la planta, apareciendo su deficiencia en las hojas adultas. Se observan clorosis intervenal y manchas de crecimiento rápido que ocupan los entrenervios, invadiendo a veces los nervios. Debido a la disminución en la síntesis de auxinas, se produce acortamientos de entrenudos, microfilia y engrosamiento de la hoja. En los estados finales, las hojas pueden necrosarse en los bordes y en el ápice.

2.2.8. Cobre

El cobre es absorbido normalmente como Cu^{+2} , no es muy móvil, aunque puede desplazarse en cierta proporción de hojas viejas a hojas jóvenes, la cantidad de cobre es variable, oscila generalmente entre 5 y 50 ppm y normalmente se halla como Cu^{+2} (Navarro, 2013).

El cobre es inmóvil en la planta, por lo que su insuficiencia aparece en hojas jóvenes y brotes. Estos aparecen blanqueados de modo permanente (blanqueo apical), posteriormente pasan a un color ceniza y aparecen como secos y blandos. Las hojas situadas inmediatamente bajo el ápice frecuentemente no pueden permanecer erguidas (Herrera, 2007).

2.2.9. Hierro

El hierro, puede ser absorbido por la planta mediante su sistema radicular como Fe^{+2} es de menor importancia, debido a la pequeña solubilidad de los compuestos férricos en la mayor parte de los suelos. El hierro, o como quelatos de hierro. La forma de Fe^{+3} interviene en muchos procesos vitales para la planta, forma parte de diversos sistemas enzimáticos (Navarro y Navarro, 2013).

La deficiencia de hierro se caracteriza porque las plantas desarrollan una clorosis intervenal pronunciada. Debido a que este elemento es poco móvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas jóvenes de la parte superior de la misma (Rodríguez y Flórez, 2004).

2.2.10. Manganeseo

El manganeseo se absorbe sobre todo como catión manganeso (Mn^{2+}), aunque en el suelo también puede existir como Mn^{3+} o Mn^{4+} , óxidos insolubles y quelatos. El manganeseo es soluble a pH ácidos y en suelos encharcados. Su solubilidad se reduce en suelos alcalinos o ácidos con alto contenido de materia orgánica. El manganeseo es un elemento poco móvil en la planta, y por ello los síntomas de deficiencia suelen aparecer primero en las hojas jóvenes, su carencia produce hojas

viejas cloróticas con lesiones necróticas y mal formadas; en las hojas jóvenes se aprecia clorosis intervenal (PROMIX, 2018).

2.2.11. Boro

Este elemento ayuda a mejorar la calidad y cantidad de rendimiento de la planta, ya que interviene desde la formación de las frutas. Las formas absorbidas por la planta en formas de ácido bórico: $B_4O_3^{+3}$, H_2BO_3 , HBO_3 (Iñiguez, 2007).

En la mayor parte de los suelos, el boro se encuentra en cantidades extremadamente pequeñas, oscilan generalmente entre 2 y 100 ppm, la mayor parte no es utilizable por la planta, la forma asimilable solo alcanza entre 0,4 y 5 ppm y suministrada principalmente por la fracción orgánica (Navarro, 2013).

El boro es muy poco móvil en la planta, por lo que su deficiencia aparece en hojas jóvenes. Las hojas de la yema terminal se vuelven de color verde claro en su base, desprendiéndose finalmente por esta zona. El crecimiento ulterior origina hojas retorcidas, abarquilladas y frágiles; finalmente, se necrosan los puntos vegetativos, muriendo la yema terminal y la parte apical del tallo. Por otra parte, los órganos carnosos se pudren internamente (necrosis interna) (Herrera, 2007).

2.3. La Fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo es un concepto amplio que no necesariamente significa lo mismo para todas las personas. La versión moderna más aceptada incluye tres tipos de fertilidad: la química, la física y la biológica. Un enfoque adecuado del diagnóstico involucra a los tres tipos, aunque por lo general se privilegia el primero.

El diagnóstico de los aspectos químicos de la fertilidad se ocupa de recabar información del potencial que posee un suelo para abastecer en tiempo y en la forma química aprovechable de los nutrientes que requiere un cultivo.

De esta forma, el diagnóstico de la fertilidad del suelo permite identificar problemas de carácter nutricional, así como no nutricionales, que pudiesen estar afectando, o que pudiesen afectar en el futuro, el crecimiento y desarrollo de un cultivo. No debe olvidarse que los problemas nutricionales son sólo una parte del conjunto de factores que el técnico y el productor deben mantener bajo control, si se aspira a obtener rendimientos cercanos a los máximos probables de un cultivo de interés (Alcantar et al., 2008).

Sabemos que para crecer las plantas precisan agua y determinados minerales. Los absorben del suelo por medio de sus raíces. Un suelo es fértil tiene los nutrientes necesarios, es decir, las sustancias indispensables para que las plantas se desarrollen (FAO, 1996).

Las plantas consiguen del aire y del agua algunos elementos que necesitan, como el carbono, el hidrógeno y el oxígeno. Otros nutrientes esenciales están en el suelo: aquellos que los vegetales requieren en grandes cantidades se llaman nutrientes principales, son el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio y el magnesio que proceden de las rocas que dieron origen al suelo y de la materia orgánica descompuesta por los microorganismos. Los nutrientes deben estar siempre presentes en las cantidades y proporciones adecuadas (FAO, 1996).

El molibdeno, dentro de las características de los suelos y condiciones en que normalmente se hallan, la mayor parte del molibdeno se encuentra en un estado no disponible para la planta. Se ha comprobado que cuando se utiliza disoluciones extractoras corrientes, tales como acetato u oxalato amónico, solo un 10 % se encuentra en forma asimilable. En la mayor parte de los suelos,

por tanto, se suelen registrar valores inferiores a 0,2 ppm de molibdeno útil (Navarro & Navarro, 2013).

Las deficiencias están relacionadas con el metabolismo del nitrógeno, es corriente la necrosis ya sea parcialmente, en forma de manchas marginales o alcanzado la totalidad de la hoja (Togores, 2010).

2.4. Evaluación química de la fertilidad del suelo

En la agroindustria, una de las principales herramientas para mejorar la producción de los cultivos, es la fertilización, la misma que debe estar sustentada en los análisis del suelo, que permiten efectuar pronósticos sobre la disponibilidad de los nutrientes para las plantas. Un análisis de suelos con fines de fertilización es particular ya que no busca cuantificar el contenido total del elemento a analizar, sino determinar el contenido disponible para la planta; además, al existir una gran variedad de tipos de suelos con características físicas y químicas diferentes la planta absorbe de forma y en cantidades diferentes, por lo que para cuantificar el contenido disponible no se puede utilizar una misma solución extractante para los diferentes tipos de suelos.

Por tanto, la fertilización depende básicamente en determinar el extractante adecuado para el tipo de suelo, así como la calidad y fiabilidad del laboratorio en el que se realicen los análisis. La solución extractante busca extraer los elementos disponibles en el suelo y que la planta pueda asimilarlos, el ensayo en el laboratorio consiste por lo general en realizar una solución acuosa con uno o varios compuestos químicos que puedan emular lo que la planta extraería, como ejemplo se cita a los extractantes de Mehlich I, II y III; Bray I y II; Olsen, Olsen Modificado (Aucatoma, 2017).

2.5. Fertilidad actual y potencial.

La fertilidad potencial, depende del contenido en materia orgánica, y la fertilidad actual, se sujeta al contenido en nutrientes inmediatamente asimilables. Cuando no se aplican fertilizantes al suelo, la fertilidad actual depende de la fertilidad potencial, ya que la actual es una movilización de la potencial; pero la segunda también depende de la primera porque a medida que se aprovecha la fertilidad actual, la potencial repone las cantidades sustraídas y por lo tanto ésta decrece.

2.6. Métodos de análisis químico de la fertilidad de suelos

Los laboratorios de análisis de suelos utilizan soluciones de compuestos químicos conocidos como extractaste que tratan de emular la cuantía que la planta extrae del suelo de los elementos disponibles. La diversidad de tipos de suelos y sus diferentes características físicas y químicas ha hecho que se desarrolle diferentes soluciones extractantes, por lo general se encuentran constituidas por diferentes compuestos químicos en los que se incluye: sales, ácidos, bases, compuestos acomplejantes, etc., que se regulan a un pH específico (Aucatoma, 2017).

2.6.1. Solución extractora Olsen Modificada

La solución está compuesta de 0,5 N de NaHCO_3 , 0.01M EDTA con 0,5 g de superfloc 127 para preparar 10 litros de solución, ha sido utilizada para la determinación de (NH_4^+) , P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe y Mn.

La determinación de los elementos metálicos se los realiza haciendo las lecturas directamente del filtrado original en el espectrofotómetro de absorción atómica con la lámpara correspondiente al elemento.

Los patrones especiales para la espectrometría de absorción atómica pueden obtenerse directamente de las campañas proveedoras de reactivos químicos. La concentración de esos

patrones es generalmente de 1000 ug ml⁻¹ del elemento, y de estos se pueden preparar los patrones de trabajo (RELEASE, 2018).

En el Ecuador el extractante para suelos de uso generalizado en la Costa y Sierra ecuatoriana es Olsen Modificado con el que se extrae previo a su cuantificación el contenido disponible de los macro elementos P, K, Ca y Mg y micro elementos Zn, Cu, Fe y Mn, lo cual ha dado como resultado que no sea atractivo comercialmente preparar materiales de referencia certificados debido a que esta solución funciona correctamente para suelos de pH neutro a alcalino (Aucatoma, 2017).

2.6.2. El método de la curcumina

El método de la curcumina se aplica en el intervalo de 0,10 mg/L a 1,0 mg/L, mientras que el método de carmín es adecuado para la determinación de la concentración de boro en el intervalo de 1 mg/L a 10 mg/L. El intervalo de estos métodos se puede ampliar mediante dilución o concentración de la muestra (ICONTEC, 2020).

2.7. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo

2.7.1. Indicadores de fertilidad

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

No obstante, se puede conjuntar el uso de indicadores con análisis de suelos y planta para juzgar, el estado nutricional de la planta y la eficiencia con la que los elementos nutritivos son absorbidos (Teuscher & Adler, 1965).

2.7.2. Método del elemento faltante

Sánchez (1981), señala que la técnica del elemento faltante es un procedimiento para la detección de la carencia de nutrientes en el suelo, el cual incluye el uso de plantas indicadoras bajo condiciones de invernadero o en campo.

Esta técnica, se clasifica como un método biológico en el cual se usan plantas para la evaluación del comportamiento de las mismas a la variabilidad nutritiva de los suelos (Enríquez & Salas, 1995), (Briceño & Pacheco, 1984) sostienen que el objetivo principal de esta práctica es el de establecer la capacidad de un suelo de proveer los elementos nutritivos para un adecuado desarrollo.

La técnica se fundamenta en el hecho de eliminar de la fórmula nutritiva completa un elemento metódicamente de manera tal que permita el análisis de esta ausencia en la planta indicadora que se usa (Briceño y Pacheco 1984). Enríquez, et al. (1995) añaden que al hacer esto, se pueden comparar la respuesta de cada uno de los nutrimentos en relación con la fertilización completa e información sobre problemas nutricionales presentes en el suelo a estudiar.

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

El principio del método biológico consiste en que la planta indicadora que es el tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) crece en un suelo contenido en vasos de 250 ml que están en contacto con la solución nutritiva en una maceta 700 ml.

Cuando la provisión de uno o más nutrientes en el suelo es baja, las plantas testigo no sufrirán ninguna deficiencia en tanto en cuanto los nutrientes deficientes en el suelo se encuentren ampliamente presentes en la solución nutritiva (Guayllas, 1988).

2.8. Fertilización en cafetales

Implica la aplicación de abonos en forma racional, en diferentes etapas del cultivo, como: en viveros, al momento de plantar, en la etapa de crecimiento (hasta los 18 meses después del establecimiento) y en la etapa de producción.

Las recomendaciones de fertilización deben adaptarse a los objetivos de caficultor, si se trata de producción convencional se pueden usar los abonos orgánicos y químicos, si se trata de la producción orgánica hay que cumplir los estándares de los países consumidores y usar solo los abonos, enmiendas y sustancias permitidas por la agencia certificadora. Para fertilizar cafetales se deben tener en cuenta los siguientes aspectos: requerimientos el cultivo, grado de acidez del suelo, composición química de los fertilizantes y enmiendas, compatibilidad de los fertilizantes, topografías del terreno, época de aplicación, recomendaciones técnicas y otras formas de mejorar la fertilidad.

2.9. Requerimientos de nutrimentos

La cantidad de fertilizantes y las fuentes de macro y micronutrientes a ser aplicados en lo cafetales se determinan en función de los análisis del suelo, 13 en cafetales en crecimiento, hasta los 18 meses de edad el campo, se aplica la mitad de la dosis recomendada para cafetales en producción, a continuación, se indican los requerimientos de macro nutrientes y micro nutrientes,

de acuerdo a la interpretación del análisis químico del suelo alto, medio y bajo (Enríquez & Duicela, 2014).

Tabla 1

Requerimientos de macro y micro nutrientes en cafetales en producción

Autores	Nivel de fertilización	N	P	K	S	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B	
Enríquez y Duicela, 2014	Bajo	200	60	150	150	340	15	3	3	3	1,5	10	
COFENAC y Dublinsa, 2012		300	60	150	150	340	15	3	-	3	1,5	3	
Iñiguez, 2007		286	74	291	-	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		100	17	74,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		100	60	100	5	-	80	-	-	-	-	-	-
Enríquez y Duicela, 2014	Medio	100	40	50	50	150	10	1,5	1,5	1,5	0,75	5	
COFENAC y Dublinsa, 2012		200	40	220	50	150	10	1,5	-	1,5	0,8	1,5	
Iñiguez, 2007		208	57	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		50	9	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		50	30	50	3	-	60	-	-	-	-	-	-
Enríquez y Duicela, 2014	Alto	50	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	
COFENAC y Dublinsa, 2012		100	20	20	0	0	0	0	-	0	0	0	
Iñiguez, 2007		130	40	140	-	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		25	15	25	0	-	20	-	-	-	-	-	-

Fuente: Tandazo 2019

2.10. Relaciones entre cationes intercambiables

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

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

Relaciones entre cationes	Rangos óptimos (cmol kg⁻¹)	Nivel crítico (cmol kg⁻¹)	Recomendación
Ca Mg ⁻¹	2,6 – 8,0	Si <2,6 Si >8,0	Agregar calcio Agregar magnesio
Mg K ⁻¹	7,5 – 15,0	Si <7,5 Si >15,0	Agregar magnesio Agregar potasio
(Ca + Mg) K ⁻¹	27,5 – 55,0	Si <27,5 Si >55,0	Agregar calcio y magnesio Agregar potasio

Fuente: Enríquez y Duicela, 2014.

2.11. Trabajos relacionados

Zhunaula (2016), realizo la evaluación química y biológica de la fertilidad actual de un suelo, desarrollado sobre andesita en seis unidades productivas del Sistema de riego La Era, Cantón Catamayo. En el cual concluyo que no hay correspondencia entre la biomasa seca y el análisis químico suelo dando como resultados: alto para el -N y -S, media para los elementos -Cu y -Mg; y bajo para el -K, -Mn, -Zn, -P y -Fe.

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

Así mismo realizo la evaluación Biológica en el Sector Lozumbe obteniendo resultados similares al sector anterior en el cual el N, K, P y S resultaron ser los elementos más deficientes,

concluyendo que el N, P, S, Mg, S, y B no presento correspondencia entre la evaluación biológica con la concentración del nutriente en el análisis químico.

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

Restrepo (2015) las recomendaciones usadas para las investigaciones realizadas en las zonas cafetaleras de Colombia en cafetales a establecerse son las siguientes: N:152; P:134,4; K:48; Ca:6,78; Mg:320; S:4; en Kg/ha/año y Fe:0,03; Mn: 0,005; Cu: 0,001; Zn: 0,001; B:0,0002 g/ kg de suelo.

Monge (1999) en el tema de fertilidad indica que los suelos apropiados para el café deben ser de una fertilidad media a alta, dicha fertilidad se debe definir por los niveles críticos de los elementos que se hallen en el suelo, recalca que la relación de cationes tiene que estar en equilibrio con las siguientes características: Ca+Mg+K=5,0-10,0 meq/100g suelo; Mg/K= 2,5-15,0 meq/100g suelo; Ca/Mg= 2,0-5,0 meq/100g suelo; Ca+Mg/K=10,0-40,0 meq/100g suelo; Ca/K= 5,0- 25,0 meq/100g suelo. Según las investigaciones que se ha venido dando en el país de Costa Rica indican que el café requiere un sustrato con las siguientes características: P: 20 a 40 kg ha⁻¹; K: 0,2 meq/100 g de suelo; Ca: 4-20 meq/100 g de suelo; Mg: 1-10 meq/100 g de suelo; Al: 0,3 meq/100 g de suelo; Fe: 20 kg ha⁻¹; Cu: 2-40 kg ha⁻¹; Zn: 7 kg ha⁻¹; Mn: 10- 100 kg ha⁻¹.

Los resultados de Chaves (1999), indica que para cafetales en desarrollo en Costa Rica es recomendable realizar 3 abonamientos, el primero con un contenido alto en fosforo, tal como 4,5

g de N, 5,8 g de P, 3,7 g de K. El resto de enmiendas indica que debe fraccionarse equivalente de 100 a 150 Kg de Nitrógeno/ha/año.

Meléndez y Molina (2001) indica que los elementos más importantes en la nutrición del café en Costa Rica se destacan en orden de mayor a menor importancia los siguientes nutrientes: N > K > Mg > Ca > S > Zn=B > P utilizo: N: 150 a 300 kg ha⁻¹; P:30 a 50 kg ha⁻¹; K: 100 a 200 kg ha⁻¹; Mg: 40 a 80 kg ha⁻¹; S: 30 a 60 kg ha⁻¹; B: 3 a 6 kg ha⁻¹; Zn: 5 a 10 kg ha⁻¹; obteniendo en un 100% el rendimiento.

3. Materiales y métodos

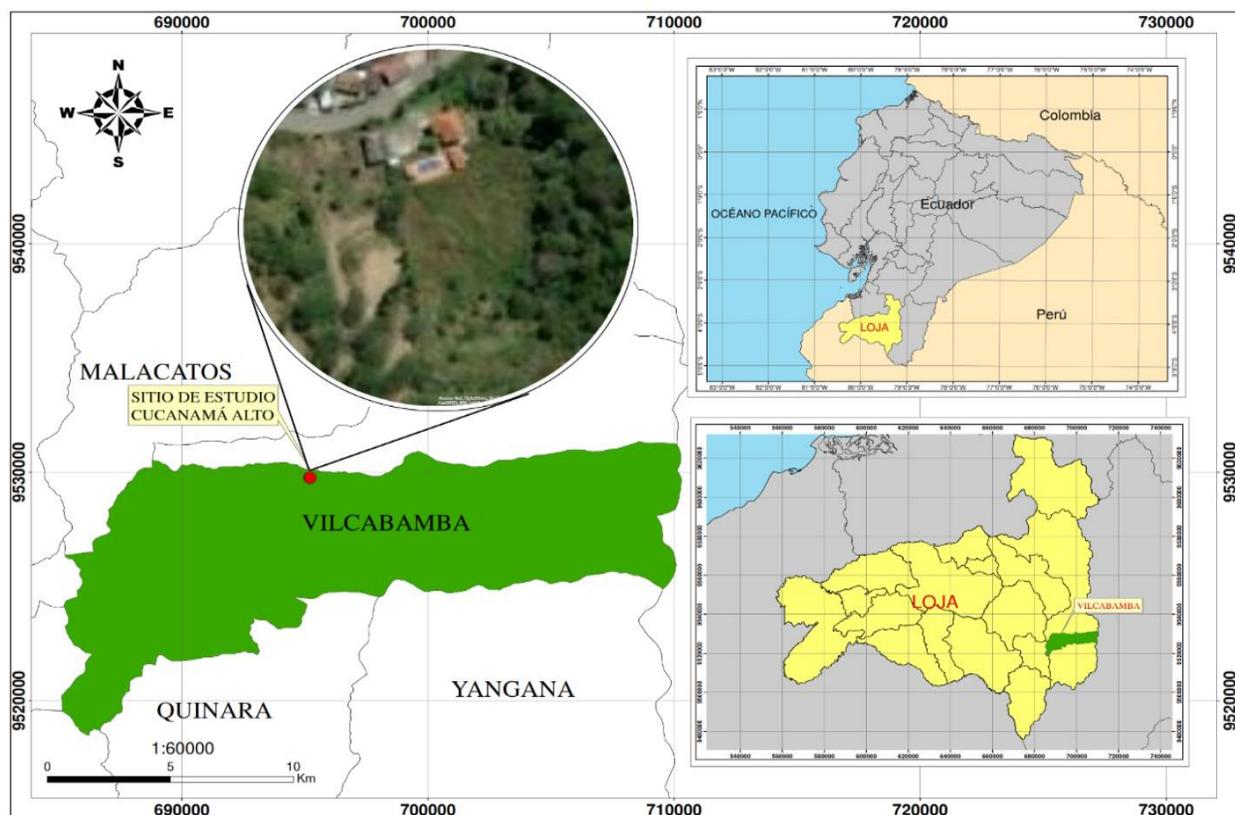
3.1. Ubicación política, geográfica y características biofísicas del Sector Cucanamá

Vilcabamba es una parroquia del cantón Loja ubicada en el valle del mismo nombre (también conocido como Valle Sagrado o Valle de la Longevidad), ubicado a 41 kilómetros al sur de la ciudad de Loja, en Ecuador. Se encuentra limitada al Norte: con la parroquia San Pedro de Vilcabamba; al sur: con la parroquia Yangana y Quinara; al Este con la Cordillera Oriental de los Andes y Valladolid y al Oeste: con las parroquias Purunuma, Fundochamba, San Antonio de las Aradas y el Cantón Quilanga (Figura 1). La ubicación geográfica en las coordenadas planas corresponde a $4^{\circ}15'21''\text{S}$ $79^{\circ}13'08''\text{O}$ a una altitud de 1700 m.s.n.m

El barrio Cucanamá es un sector con mayor congregación de población, el mismo que presenta mayor trascendencia en la parroquia Vilcabamba a misma, que se encuentra limitada al Norte: con la Parroquia San Pedro de Vilcabamba; al Sur: con el barrio Tumianuma, al Este: centro de Vilcabamba, y al Oeste: con el Barrio Moyococha, ubicada en las coordenadas de $4^{\circ}15'5.18''\text{S}$ y $79^{\circ}14'10.90''\text{O}$ a una altitud de 1532 m.s.n.m.

Figura 1

Ubicación geográfica del Sitio de estudio.



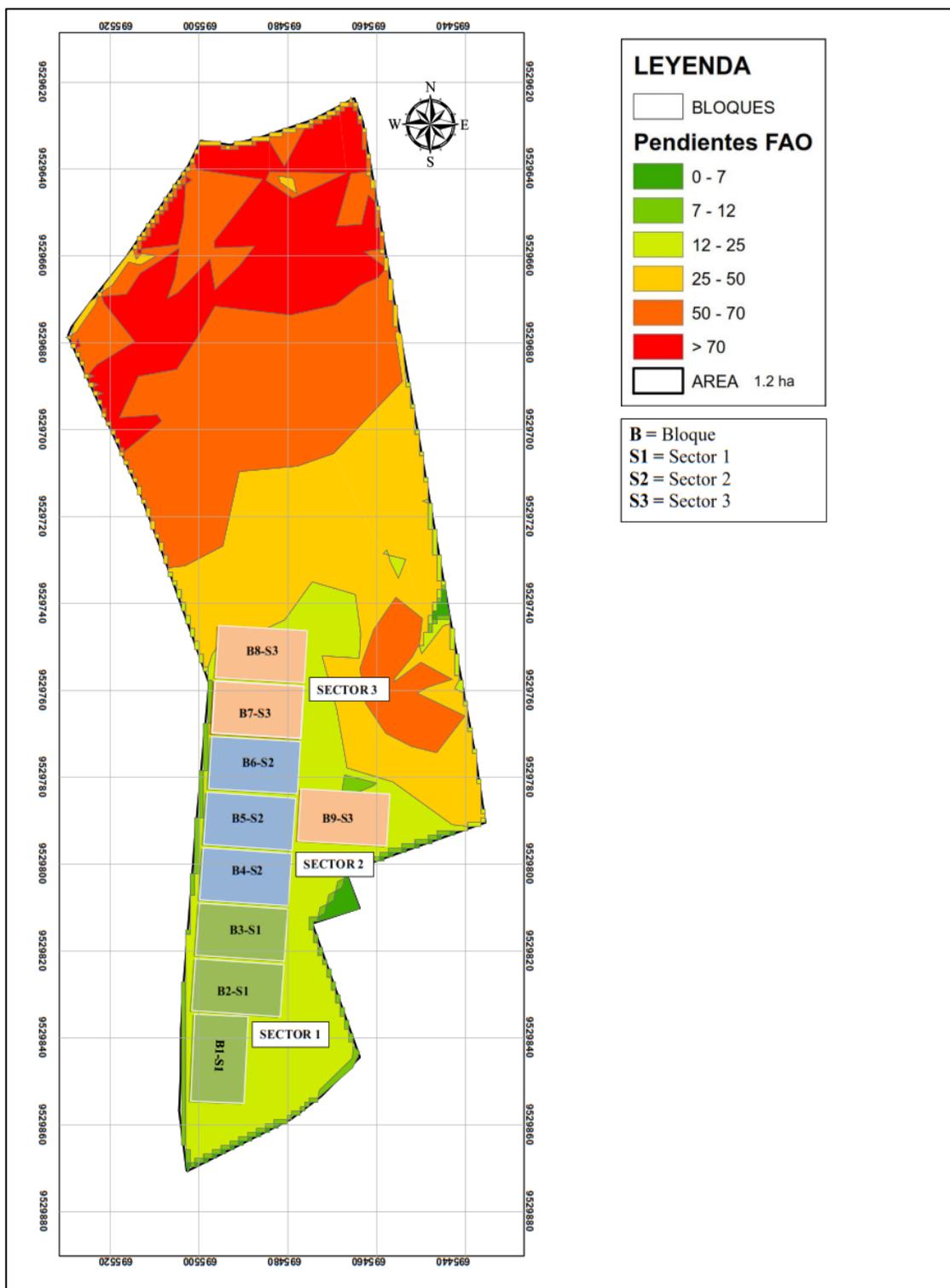
Fuente: IGM, El Autor

3.1.1 Ubicación del sector de estudio

En la figura 2 se puede apreciar el diseño experimental establecido del sector de estudio, el mismo que consta de 3 sectores; cada sector tiene 3 unidades experimentales con un área de 720 m² por cada sector, con un total de todo el experimento de 2160 m².

Figura 2

Mapa de sectorización de los suelos de Cucanamá



3.2. Características biofísicas del sector de estudio

3.2.1 Relieve

La parroquia Vilcabamba, se caracteriza por estar compuesta por un relieve irregular, las pendientes mayores a 70% (muy fuertes), ocupan un porcentaje del 41,32% de la superficie y en menor proporción las pendientes de 2 a 5% (muy suaves), ocupan el 0,07% de la superficie total de la parroquia (PDOT Vilcabamba, 2019).

3.2.2 Geología

Geológicamente el sector de estudio (Figura 4), se encuentra en la formación cerro Mandango caracterizada por conglomerados intercalados con estratos métricos de tobas de lapilli de color café grisáceo. La base de la formación está compuesta por estratos ortoconglomeráticos polimícticos de entre 10 y 20 cm de espesor intercalados por areniscas y limolitas con una incipiente gradación normal (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2016).

3.2.3 Suelo

El suelo que predomina en la zona de estudio es: Franco (Fo), en una clase agroecológica IV (INIGEMM, 2016).

3.2.4 Clima

Es un clima sub-tropical seco con una temperatura promedio de 16C°, existen precipitaciones durante todo el año con un promedio de 41 mm. Hay dos temporadas en la zona de estudio: la seca de junio a septiembre y la húmeda de octubre a mayo (Merkel, 2019).

3.3. Localización del ensayo de evaluación biológica

El ensayo se instaló con las muestras de suelo de los sectores de estudio, en el invernadero ubicado en la Ciudadela Julio Ordoñez la misma que está ubicado a 4 km al Sur de la Ciudad de Loja, en las coordenadas planas 4°02'23"S 79°12'22"W a una altitud de 2192 msnm.

3.4. Materiales y Equipos

324 tarrinas de plástico de 700 ml, 324 vasos de plásticos de 250 ml, semillas de tomate riñón (variedad Floradade), fundas de papel y plástico, tamices, recipientes de plástico de 20 l, baldes, media nylon, muestras de suelo, balanza de precisión 0,1 g, estufa.

3.5. Metodología

3.5.1 Elaboración de calicatas del suelo del sector de estudio

Para la realización de la Evaluación Biológica necesitamos previa información del suelo en el cual se realizó una calicata de 1,30 m de profundidad, se realizó la descripción de cada uno de los horizontes, en base a las normas contenidas en la “Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de Suelos” de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura 2009. La designación de los horizontes y capas se realizó siguiendo la nomenclatura contenida en el USDA Soil Taxonomy (2014).

Se recolectó muestras alteradas para el sector de estudio, hasta una profundidad de 25 cm, para el análisis químico, donde se determinó: pH_{H2O}, 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).

3.6. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo

3.6.1 Diseño experimental

Se utilizó un diseño bifactorial completamente al azar, con 36 tratamientos (3 * 12), con tres repeticiones. El cual tiene las siguientes especificaciones técnicas: número total de plantas 327 por los 3 sectores, cada sector consta de 3 unidades experimentales y cada unidad experimental consta de 109 plantas, cada muestra es extraída a una profundidad de 25 cm. Los tratamientos son las soluciones nutritivas (SC, -N, -P, -K, -Mg, -S, -Fe, -Mn, -Zn, B y - Cu, Testigo).

VARIABLES EVALUADAS: Altura de planta de tomate (cm) y peso de materia seca (g).

Tabla 3

Descripción de factores y niveles de estudio dentro del diseño factorial.

FACTOR	NIVELES	
A. Soluciones Nutritivas	Solución nutritiva completa	(SC)
	Solución nutritiva menos (-N)	(-N)
	Solución nutritiva menos (-P)	(-P)
	Solución nutritiva menos (-K)	(-K)
	Solución nutritiva menos (-Mg)	(-Mg)
	Solución nutritiva menos (-S)	(-S)
	Solución nutritiva menos (-Zn)	(-Zn)
	Solución nutritiva menos (-Cu)	(-Cu)
	Solución nutritiva menos (-Mn)	(-Mn)
	Solución nutritiva menos (-B)	(-B)
	Solución nutritiva menos (-Fe)	(-Fe)
	Testigo	
B. Uso del suelo	Sector 1	
	Sector 2	
	Sector 3	

3.6.2 Preparación de soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas se prepararon a partir de las soluciones madres, que fueron diluidas apropiadamente.

A continuación, se indican los tipos de sales y las cantidades expresadas en gramos que se prepararon para las soluciones madres (1N) en los macroelementos.

Tabla 4

Tipos de sales y las cantidades para preparar las soluciones madres 1N de los macro elementos

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

En la Tabla 5 se indican los tipos de sales y las cantidades para la preparación de un litro de las soluciones madres de los microelementos.

Tabla 5

Concentración de la solución madre y cantidades de sales para la preparación de un litro de la solución madre de micronutrientes.

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

Después de la preparación de las soluciones madre, en la Tabla 6, se presenta los volúmenes de soluciones madre en ml para preparar 1 L de soluciones nutritivas. Las soluciones nutritivas para cada tratamiento fueron preparadas en 10 litros de agua destilada.

Tabla 6

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

SOLUCIÓN STOCK	Mililitros de soluciones madre que se debe adicionar										
	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe
Ca (NO₃)₂. 4H₂O	6,0	-	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
KNO₃	2,0	-	2,0	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
KH₂PO₄	2,0	2,0	-	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
NaH₂PO₄	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-
K₂SO₄	-	2,0	2,0	-	1,0	-	-	-	-	-	-
MgSO₄. 7H₂O	1,5	1,5	1,5	1,5	-	-	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
MgCl₂. 6H₂O	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-
CaCl₂. 6H₂O	-	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	-
MnCl₂. 4H₂O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0
H₃BO₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0
ZnSO₄. 7H₂O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	1,0
CuSO₄. 5H₂O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0
(NH₄)₆Mo₇O₂₄. 4H₂O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

3.6.3 Preparación de las muestras de suelo

Las muestras recolectadas se secaron sin contacto al sol, bajo un ambiente de cubierta libre de impurezas.

3.6.4 Preparación de los recipientes

En los vasos plásticos de 250 ml, se recortó la base y se sustituyó por media nylon sujetado con cinta y liga delgada, con la finalidad de soportar los 200 g de suelo y para que las raíces de las plantas puedan atravesar hacia la solución nutritiva (figura 5). En las tapas de las tarrinas (700 ml),

se hizo un recorte en forma circular del tamaño del diámetro de los vasos que contienen el suelo, el fondo del vaso debe estar en contacto con la solución nutritiva de la tarrina.

Figura 3

Ajuste de recipientes para instalación del ensayo



3.6.5 Instalación del experimento

Figura 4

Instalación del experimento con sus respectivas repeticiones



Una vez realizada las diferentes soluciones nutritivas para cada tratamiento se procede a etiquetar las tarrinas y el vaso con sus respectivas repeticiones (Figura 6), siendo cada tarrina la unidad básica. En las tarrinas se añadió 600 ml de solución nutritiva como: solución nutritiva completa, la misma que contiene 5 macro (N, P, K, Mg, S) y 5 micro elementos (Fe, Mn, Zn, B,

Cu); solución nutritiva menos nitrógeno, solución nutritiva menos fósforo, solución nutritiva menos potasio, solución nutritiva menos magnesio, solución nutritiva menos azufre, solución nutritiva menos hierro, solución nutritiva menos manganeso, solución nutritiva menos zinc, solución nutritiva menos boro, solución nutritiva menos cobre, las mismas que contienen los macro y micro elementos menos el elemento señalado, luego se colocó su respectivo vaso que contiene 200 g de suelo, se llevó todos los materiales al invernadero y se colocó las tarrinas sobre los mesones separadas por cada tratamiento con sus respectivas repeticiones siguiendo el diseño experimental. Luego se colocó la tapa perforada y se introduce el vaso, hay que asegurar que el vaso este en contacto con la solución nutritiva a una profundidad de 1cm.

3.6.6 Siembra y raleo de la planta indicadora

En cada vaso se sembró tres semillas de tomate (variedad Floradade), previamente se dejó un tiempo de 24 horas para que la solución nutritiva por efecto de capilaridad ascienda y humedezca todo el suelo, esto sucederá siempre y cuando el nivel del agua de la tarrina este en contacto con el vaso pequeño, la siembra se realizó al siguiente día ya que el suelo este húmedo, el raleo se lo realizo luego de 15 días de la siembra, se deja una planta por vaso.

3.6.7 Reposición de la solución nutritiva

Se repuso la solución nutritiva de acuerdo a la evapotranspiración del cultivo donde se mantuvo un volumen de reposición de 25 ml cada cuatro días durante las primeras cuatro semanas y 50-80 ml en las últimas semanas, esto dado por el mayor desarrollo de las plantas y también con las características climáticas en las que se encontraba el ensayo.

3.6.8 Registro del crecimiento y peso seco de la planta

Se registró la altura de las plantas por cada tratamiento a los 49 y 60 días después de la germinación luego de la última medición se corta a nivel del cuello, luego se coloca en la estufa a 60°C durante cinco días para determinar la biomasa seca.

3.6.9 Análisis de la fertilidad química en el laboratorio

Se procedió a realizar el análisis químico de cada unidad experimental de los tres sectores donde se determinó: Nitrógeno (N), Fosforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), azufre (S), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B), hierro (Fe) se realizó mediante el extracto Olsen Modificado, Materia Orgánica, pH H₂O, CIC.

3.7. Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico.

- En la evaluación biológica uno de los indicadores es el peso de la biomasa en seco (%) y con su valor se determina su interpretación en base a la tabla 7.
- 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 son los tratamientos, y la variable dependiente son las interpretaciones de la evaluación biológica y la evaluación química.
- Para la realización del gráfico de la correspondencia en la hoja electrónica se asignó una escala de bajo, medio, alto; con valores de 10=bajo, 50=medio, 100=alto (Tandazo, 2019). Esto valores se asigna con el fin de ver la diferencia en el gráfico de la correspondencia, ya que únicamente se utilizó las interpretaciones.

Tabla 7*Interpretación de valores de altura y biomasa (%) de la planta indicadora*

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

Fuente: Miguel Villamagua, comunicación personal, 2020.

3.8. Difusión de los resultados

Luego de los 60 días después de la germinación de las plantas de tomate se realizó la difusión de resultados en presencia del director de tesis, alumnos del ciclo II de la Carrera de Ingeniería Agrícola, el día 3 de septiembre del 2020 por medio de la plataforma Zoom. Se realizó las respectivas diapositivas en el cual contenían los resultados estadísticos de altura de las plantas y la metodología utilizada para la evaluación biológica.

3.9. Plan de fertilización

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

4 Resultados y discusión

4.1. Características morfológicas, químicas y fertilidad del suelo del sector Cucanamá.

A continuación, se presenta el estudio de la descripción del perfil del suelo.

Tabla 8

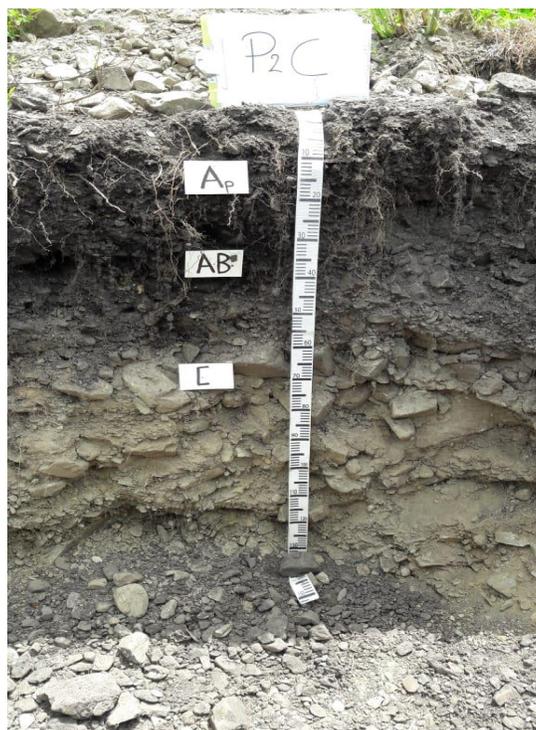
Características morfológicas del sector de estudio.

Clasificación Taxonómica:	Kanhaplic Haplustalfs
Ubicación del perfil:	649885 E y 9570496 N
Altitud:	1533 msnm
Fisiografía:	El área de estudio es de 1.2 ha, consta de una pendiente baja con un relieve tipo vertiente.
Material Parental:	Conglomerado (Cerro Mandango).
Drenaje interno:	Bueno
Sistema agroforestal	Vegetación secundaria, arbórea, arbustiva y herbácea

4.2. Descripción de los resultados

Figura 5

Perfil de suelo del Sector Cucanamá



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

El suelo formado a partir de conglomerado, constituido por tres horizontes: Ap. que va desde 00cm a 25cm de espesor, presenta un color oscuro y un 50% de piedras redondeadas de 5cm a 10cm de diámetro con abundantes raíces finas, medias y gruesas; horizonte AB, este muestra características muy similares al horizonte AP, presenta un espesor de 25cm a 50cm de con un 75% de pedregosidad de forma redondeada y de diámetro de 5cm a 15cm, este suelo es de color oscuro con presencia de pocas raíces finas, medias y gruesas, finalmente, el horizonte C de más de 50 cm de espesor dominado por el 80% de pedregosidad que van de un diámetro de 5cm hasta más de 30cm, se puede apreciar la presencia de muy pocas raíces finas y medianas que llegan hasta aproximadamente 120 cm de profundidad (figura 7).

Ap. 0 – 25cm, presenta un color pardo oscuro (7,5Y 3/2) en seco y en húmedo, estructura moderada tipo granular y de tamaño medio; consistencia ligeramente plástica, cohesión ligeramente adherente en condiciones húmedas y muy friable en seco, consta de un 50 % de pedregosidad de 5 cm a 10cm de diámetro, con abundancia de raíces finas, medias y gruesas.

AB 25-50 cm, presenta un color pardo oscuro (7,5YR 4/2) en seco y en húmedo, estructura moderada tipo subangulares y de tamaño medio; consistencia ligeramente plástica, cohesión ligeramente adherente en condiciones húmedas y muy friable en seco, consta de un 75% de pedregosidad en forma redondeada de un diámetro de 5 cm a 15 cm, con presencia de pocas raíces.

C 50 – 120 cm, presenta un color gris pardo claro (10 YR 6/2) en seco; no presenta estructura ni consistencia; exhibe frecuentes fragmentos rocosos de forma redondeada dominado por un 80% de un diámetro de 50 cm a 30 cm, con presencias de pocas raíces finas y medias que llegan aproximadamente a 129 cm de profundidad.

4.3. Características químicas

El valor de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ es de 6,6 por lo que la reacción del suelo es prácticamente neutra, esto puede darse por la génesis del suelo. El contenido de materia orgánica es alto en los tres sectores ($S_1=8,5\%$ $S_2= 3,6\%$ $S_3=5,4\%$). La suma de bases es alta en el sector 1 y media en el sector 2 y 3 ($S_1=20,6$. cmol kg^{-1} , $S_2=13,8$ cmol kg^{-1} , $S_3=14$ cmol kg^{-1}), según Enríquez y Duicela la suma de bases se debe encontrar en un rango óptimo de 15-30 cmol kg^{-1} ; en el caso del sector de estudio se encuentra por debajo del rango óptimo lo que sería conveniente agregar K, Ca y Mg. El calcio y el magnesio se encuentran en un rango alto en los tres sectores respectivamente (Tabla 9), por lo que solo es necesario agregar Mg; y, el potasio se encuentra en un rango alto en el sector 1 y 3; y en el sector 2 se encuentra en un rango bajo, el sodio cambiante no representa peligro para el suelo ni para los cultivos ya que se encuentra en el rango bajo lo que permite que exista disponibilidad de nutrientes, por ende, el buen desarrollo de la planta. La saturación de bases es alta (100%) en los tres sectores. En lo referente a la relación de cationes del suelo del sector de estudio se encuentra en el rango óptimo la relación $\text{Ca/Mg}=7,25$ y $\text{Mg/K}=8,42$; valores que coinciden para el cultivo de café según Enríquez y Duicela (2014), mientras que la relación $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K}= 69,5$ se realizó el ajuste con la aplicación de 0,08 meq de K, para poder coincidir con los rangos óptimos; las relaciones más importantes para realizar ajustes de fertilización según Enríquez y Duicela (2014) son: $\text{Mg/K}=7,5-15$; $(\text{Ca} +\text{Mg})/\text{K}= 27,5-55$; $\text{Ca/Mg}= 2,6-8$.

Sadeghian y Díaz (2020), señala que las propiedades químicas para mejores rendimientos tienen que constar de un pH 4,9-5,7; los cationes cambiables Ca: 5,1-11,2 cmol kg^{-1} ; Mg: 0,9-2,1 cmol kg^{-1} ; y, la saturación de bases de 21- 45%, con una relación de cationes $\text{Ca/Mg}=4,4 -7,4$; $\text{Ca/K} = 7-37$; $\text{Mg/K}= 1,4-4,8$.

Tabla 9

Propiedades químicas de la capa superior del suelo (00-25 cm) de los sectores de estudio de Cucanamá.

Sector	Prof. (cm)	M.O	pH	CIC	Cationes intercambiables				SB	Proporción de bases (%)				
					cmol kg ⁻¹					%				
					K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺			K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺
Sector 1	25	8,5	7,06	17,0	0,64	16	3,4	0,52	Sat.	3,1	77,7	16,5	2,52	
Sector 2	25	3,6	6,12	13,7	0,19	11,6	2,7	0,45	Sat.	1,4	84	19,6	3,3	
Sector 3	25	5,4	6,65	14,4	0,40	11,1	2,1	0,44	Sat.	2,9	79,3	15	3,1	

4.4. Fertilidad actual

En los resultados de análisis químicos, los contenidos de los elementos disponibles para las plantas en la capa superior (00-25 cm), extraídos con la solución Olsen Modificada (Tabla 10), indica que el N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu; se encuentran en el rango alto; Mn, pertenece al rango medio; y, el S, B, se encuentra en contenidos bajos. Estos resultados indican que la mayoría de los elementos se encuentran disponibles en el suelo lo que demuestra que existe una buena fertilidad del mismo.

Tabla 10

Contenidos de elementos disponibles en la capa superior (00-25cm) de los sectores de estudio de Cucanamá.

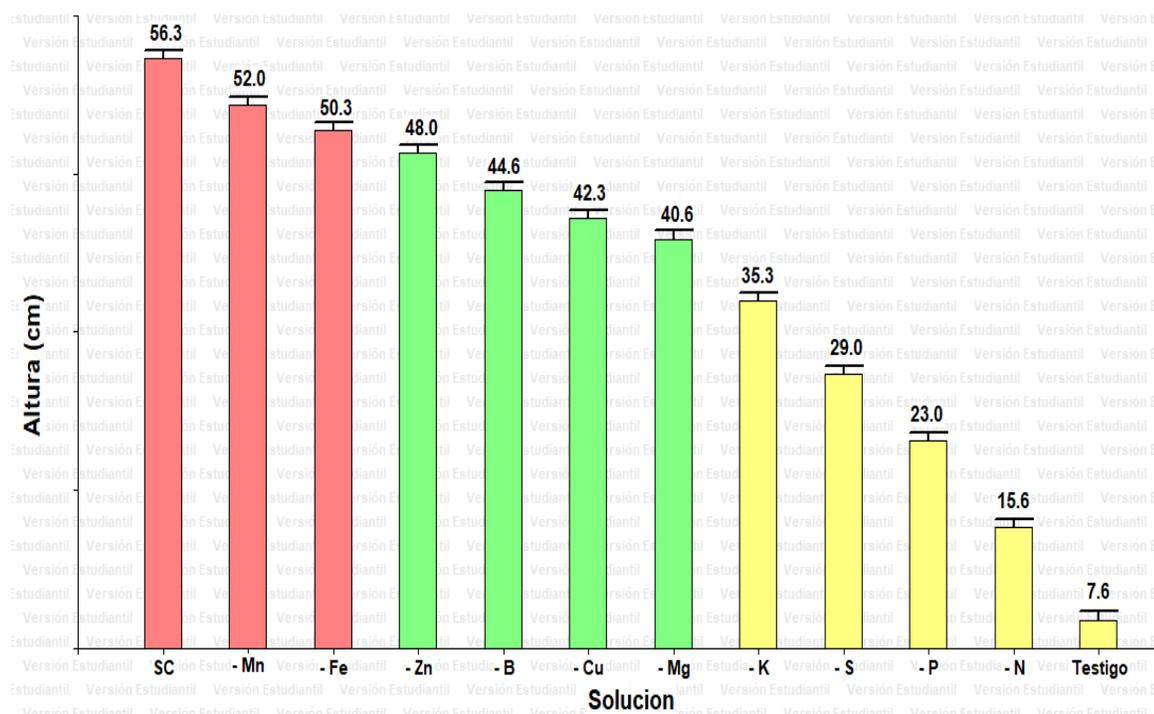
Elementos Disponibles	Sector 1	I	Sector 2	I	Sector 3	I	
N	mg/kg	141	A	201	A	153	A
P	mg/kg	94	A	33	A	23	A
S	mg/kg	5,8	B	3,7	B	2,5	B
B	mg/kg	0,6	B	0,2	B	0,3	B
K	meq/100g	1,3	A	0,4	A	0,4	A
Ca	meq/100g	25	A	15	A	14	A
Mg	meq/100g	2,8	A	2,9	A	2,6	A
Zn	mg/kg	6,3	A	3,0	A	2,2	A
Cu	mg/kg	4,6	A	5,6	A	4,2	A
Fe	mg/kg	143	A	246	A	188	A
Mn	mg/kg	8,4	M	7,3	M	6,7	M

4.5. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de altura y biomasa seca del análisis biológico.

Figura 6

Promedio y prueba de Tukey al 5% de Altura de la planta indicadora (cm) a los 60 días de edad, del Sector Cucanamá.



4.6. Altura de la planta.

En los tres sectores el promedio de la altura de la planta de tomate es de 7,6 cm para el testigo y 56,3 cm para la SC (Figura 8).

La altura en la planta indicadora de tomate fue similar en los tres sectores para cada tratamiento, probablemente sea por el tipo de cobertura vegetal y por la acumulación de sedimentos en las áreas de menor pendiente, lo que puede contribuir al aumento de nutrientes. Otra razón puede ser que la cobertura vegetal existente interviene como protección y retención de la erosión del suelo, además de tener una mayor disponibilidad de materia orgánica en la capa superficial del

suelo, además de tener una mayor disponibilidad de macro y micronutrientes por ende el desarrollo de la planta indicadora.

Aspecto de la planta indicadora. En la Figura 9 se evidencia las principales deficiencias de Nitrógeno, Fosforo, Azufre, Potasio.

Figura 7

Aspecto de la planta indicadora, deficiencia de Nutrientes.



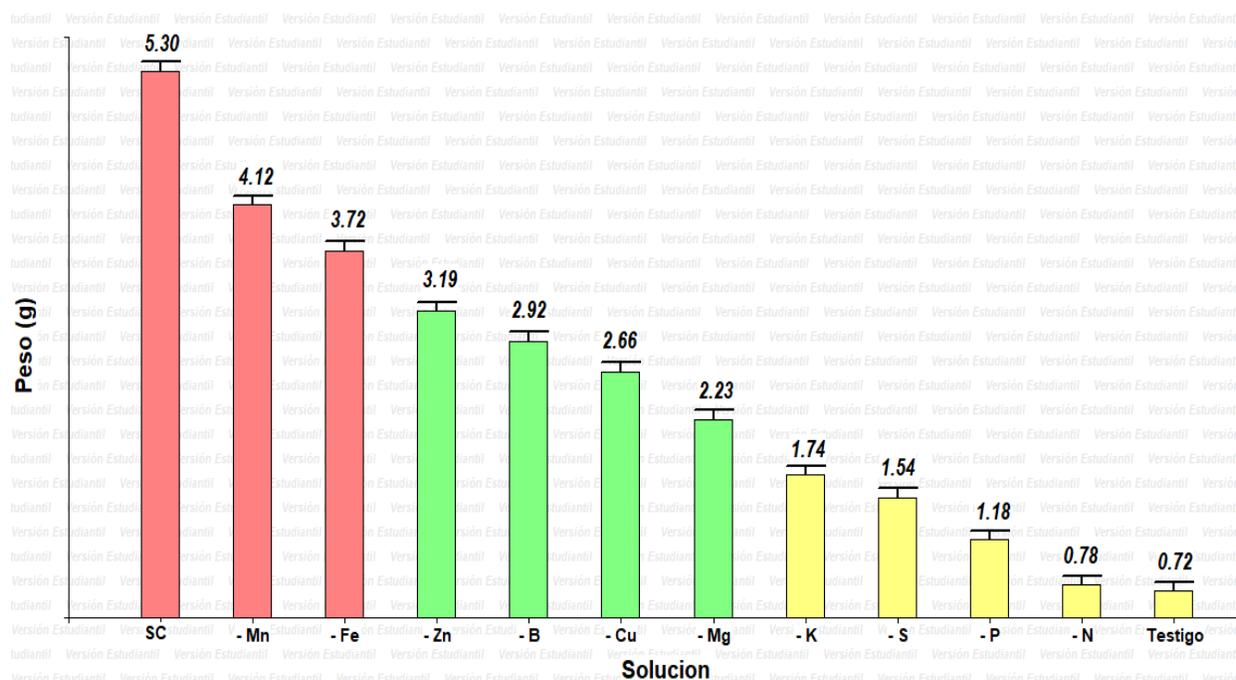
4.7. Biomasa seca.

En la Figura 10, el valor de biomasa seca de la planta de indicadora es de 0,7 g para el testigo en los tres sectores, 5,3 g para la SC.

Figura 8

Promedio y prueba de Tukey al 5% de materia seca de la planta indicadora a los 60 días de edad, del sector Cucanamá.

4.6.1 Solución nutritiva completa (SC)



El valor de biomasa seca es de 5,3 g (Figura 10), estadísticamente todos los tres sectores son iguales de acuerdo al resultado del análisis biológico.

Es importante recalcar que la solución nutritiva completa contiene macro y micronutrientes indispensables para el desarrollo de las plantas, razón por la que su desarrollo fue mayor tanto en altura como en peso, esto con respecto a los tratamientos carentes de un elemento; resultados que difieren con el análisis biológico de los suelos de Chaguarpamba que presentan valores 11,5 y 13,2 (Tandazo, 2019) y con Zhunaula (2017), en suelos de La Era con valores de la SC de 7,9; sin embargo la SC presenta los valores más altos frente a los tratamientos carentes de un elemento.

4.6.2 Solución – N

El promedio de la biomasa seca es de 0,78 g (Figura 10), todas las plantas de los tres sectores de estudio presentaron menor peso de biomasa seca en comparación a la solución

completa, que equivale porcentualmente a 14,7 % (Anexo 4), se evidencio en la evaluación biológica un contenido bajo de N, mientras que en el análisis químico se encuentra en un rango alto (Figura 11), lo que indica que el análisis químico no muestra la veracidad de disponibilidad del nutriente en el suelo. Nuestros resultados coinciden con Tandazo (2019); Zhunaula y Aguirre (2017); que obtienen resultados en el tratamiento menos N en rango bajo, así mismo los resultados del análisis biológico no tiene similitud con el análisis químico en el cual los resultados de dichas investigaciones son medio y alto, lo que demuestra que no existe correspondencia en este elemento; por este motivo y mediante los análisis que hemos realizado se puede corroborar lo antes mencionado.

En la evaluación biológica se observó un limitado crecimiento de la planta indicadora en la solución sin N, en relación con la solución completa, este elemento es altamente deficiente en el suelo, por lo que sus síntomas de deficiencia fueron visibles, tal como indica Infanta (2020), los síntomas se advierten en primer lugar en las hojas viejas y se extienden paulatinamente a las zonas de nuevo crecimiento, por lo que la planta tiene un aspecto delgado y erguido con sus tallos y venas la misma que presenta un aspecto violáceo. La baja disponibilidad de este elemento en el suelo puede ser por proceso de lixiviación ya que cuando el nitrógeno se encuentra en forma de nitrato (NO_3) su pérdida puede ser por un elevado movimiento descendente de agua en el perfil del suelo. Navarro (2003) indica que las condiciones climáticas influyen notablemente sobre el contenido de nitrógeno en el suelo, manifiesta que en un aumento de temperatura hace disminuir el contenido de nitrógeno, bajo condiciones análogas de humedad, ya que al aumentar la velocidad de mineralización de la materia orgánica presente en el suelo aparece una mayor proporción de compuestos nitrogenados simples solubles, los cuales, en parte, pueden perderse por lixiviación.

4.6.3 Solución – P.

El promedio de la biomasa seca es de 1,2 g para los tres sectores de estudio de acuerdo a la evaluación biológica (Figura 10), todos los tratamientos presentaron un menor peso de biomasa en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 22% (Anexo 4), se evidenció deficiencia de P, lo cual se lo interpreta en un rango bajo, mientras que en el análisis químico se encuentra en un rango alto (Figura 11). Tandazo (2019); Zhunaula y Aguirre (2017) obtienen resultados del tratamiento menos P en un rango bajo que coinciden con esta investigación, y así mismo los resultados del análisis químico no existe correspondencia ya que los resultados fueron de bajo a medio y de medio a alto, por este motivo y mediante los análisis que hemos realizado se puede corroborar lo antes mencionado.

En el análisis biológico se observó la deficiencia de este elemento en la planta indicadora de tomate el mismo que ocasiona un desarrollo débil de la planta, produce retrasos en su crecimiento, coloración purpura oscura de las hojas, escaso crecimiento de las raíces. Sanzano (2015), indica que las principales vías de pérdida de fósforo en el suelo son por la erosión de las partículas del suelo que son arrastradas, también indica que un motivo del por qué el fosforo no se fija en el suelo es la materia orgánica ya que los suelos ricos en materia orgánica tienen poca capacidad para fijar fuertemente los iones fosfato por ende sus niveles de fijación son bajos en todos los suelos por su alto contenido de materia orgánica.

El fósforo normalmente presente en el suelo no es aprovechable por las plantas, debido a su gran insolubilidad, y para que pueda ser asimilado por la planta es necesario que se encuentre como PO_4H_2^- o PO_4H^{-2} en la disolución del suelo (Navarro G., 2003).

4.6.4 Solución - K

El promedio de la biomasa seca es de 1,7g para los tres sectores de estudio (Figura 10), todos los tratamientos presentaron menor peso de biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 33% (Anexo 4), se evidencio en la evaluación biológica que existe deficiencia de K, que corresponde a un rango medio, mientras que el análisis químico está en un rango alto (Figura 11). Tandazo (2019) y Zhunaula (2017) en los resultados obtenidos coinciden con la presente investigación donde el tratamiento menos K se encuentra en un rango medio; en la investigación de Aguirre (2017) el tratamiento menos K se encuentra en un rango bajo, estos resultados difieren por las características morfológicas, químicas, y físicas y material geológico; por este motivo y mediante los análisis que hemos realizado se puede corroborar lo antes mencionado.

El desarrollo de la planta indicadora de la solución sin K fue menor en comparación a la solución completa la misma que indica síntomas de deficiencia en las hojas como un moteado de manchas de color amarillento. Agustín (2015), indica que el potasio en el suelo suele perderse por proceso de lixiviación, procesos de erosión en el cual la eliminación selectiva de partículas más finas durante este proceso agota también selectivamente la porción del suelo que más importancia tiene en el suministro de K para las plantas.

4.6.5 Solución – Mg

El promedio de la biomasa seca es de 2,2 g, para los tres sectores de estudio (Figura 10), todos los tratamientos presentaron un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 42 % (Anexo 4), se evidencio en la evaluación biológica que existe deficiencia de Mg, que corresponde a un rango medio, mientras que en el análisis químico se encuentra en un rango alto (Figura 11). Según Tandazo y Zhunaula (2019) en la

investigación realizada, los resultados del tratamiento menos Mg se encuentra en un rango medio y los resultados de los análisis químicos está en un rango de Medio-Alto, lo que indica que existe correspondencia de este elemento, esto se interpreta como un elemento disponible en el suelo, estos resultados tienen similitud con la presente investigación que se encuentra en los mismos rangos. Por otro lado, Aguirre (2017) en los suelos de la Parroquia Chuquiribamba, los resultados en el tratamiento menos Mg se encuentra en un rango alto demostrado por la evaluación biológica, mientras que en los análisis químicos se encuentra en un rango alto; se puede indicar que en este elemento si existe similitud, como se menciona anteriormente todo depende de las características del suelo.

Se observó en el análisis biológico que el desarrollo de la planta indicadora de la solución sin Mg indico síntomas de deficiencia en las hojas jóvenes y presentó un color amarillo en las mismas, según Crosara (2020), el Mg se encuentra en la solución del suelo y se absorbe en las superficies de las arcillas, por ende el Mg no es absorbido tan fuertemente por los coloides del suelo y puede perderse más fácilmente por lixiviación, los suelos del sector manifiestan procesos de lixiviación donde existe desplazamiento de sustancias solubles o dispersarles (arcilla, sales, humus) lo mismo que provoca que los horizontes superiores pierdan sus compuestos nutritivos, transportan los nutrientes a los horizontes inferiores del suelo, a donde no llegan las raíces de los cultivos, esto es muy común en climas húmedos, el cual es el caso del suelo del sector de estudio.

4.6.6 Solución – S

El promedio de la biomasa seca es de 1,5 g, para los tres sectores de estudio, (Figura 10), todos los tratamientos presentaron un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 29 %, (Anexo 4), se evidencio en la evaluación biológica que existe deficiencia de S que corresponde al rango bajo en el análisis biológico y en el

análisis químico alto (Figura 11). En la investigación realizada por Aguirre (2017) el resultado del tratamiento menos S existe correspondencia entre la evaluación biológica y los análisis químicos.

Zhunaula (2017) y Tandazo (2019) los resultados son similares ya que presentan el tratamiento menos S en un rango alto tanto en la evaluación biológica como los análisis químicos, lo que manifiesta que existe disponibilidad de este elemento en el suelo. Estos resultados no tienen similitud con la investigación realizada ya que el suelo de estudio tiene deficiencia de azufre.

Se pudo evidenciar en la evaluación biológica el desarrollo de la planta indicadora de la solución sin S indico síntomas de deficiencia en su totalidad, que manifiesta clorosis en las hojas jóvenes con un color verde pálido a amarillo, en su tamaño fueron muy pequeñas lo cual indica un crecimiento lento. Según Sanzano (2015), las principales fuentes naturales de azufre que pueden hacerse disponibles para las plantas son la materia orgánica, pero no por ello se puede relacionar que en un suelo con materia orgánica hay disponibilidad de azufre, ya que el azufre disponible en el suelo no es asimilado por la planta el mismo debe ser liberado en forma de sulfato (SO_4^{2-}) por la materia orgánica mediante el proceso de mineralización.

Es el caso de los sectores de estudio que obtuvo un alto contenido de azufre y materia orgánica mediante el análisis químico (Anexo 6), pero en el análisis biológico no se aprecia los mismos resultados, un motivo sería por la falta del proceso de mineralización impedido por dos factores; temperatura y humedad; Fassbender (1982), indica que la mineralización se inicia a 10°C y aumenta hasta alcanzar su máximo entre 30 y 40°C . De esto resulta que a temperaturas relativamente bajas se producen más residuos de los que se mineralizan, así el suelo de estudio que se encuentra a una temperatura de 20 a 21°C podemos deducir que no realiza por completo el proceso de mineralización impidiendo la disponibilidad de azufre para la planta, por ende, se obtiene como resultado la deficiencia de este elemento en el suelo.

4.6.7 Solución – Zn

El promedio de la biomasa seca es de 3,2 g para los tres sectores de estudio (Figura 10), todos los tratamientos presentaron un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 60 % (Anexo 4), se evidencio en la evaluación biológica que existe ausencia de Zn, en un rango medio, mientras que en el análisis químico se encuentra en un rango medio, lo cual demuestra que existe correspondencia de este elemento (Figura 11). En las investigaciones realizadas por Tandazo (2019), Zhunaula (2017); el tratamiento menos Zn se encuentra en un rango alto según la evaluación química y en un rango bajo en los análisis químicos lo cual demuestra que no existe correspondencia de este elemento; por otro lado, Aguirre (2017), en sus resultados de la evaluación biológica tiene similitud con la presente investigación ya que indica que el tratamiento menos Zn se encuentra en un rango medio tanto en el análisis químico como en la evaluación biológica lo que demuestra que existe disponibilidad de este elemento en el suelo, en un rango que favorece el desarrollo de la planta.

4.6.8 Solución – Cu.

El promedio de la biomasa seca es de 2,6 g para los tres sectores de estudio (Figura 10), todos los tratamientos presentaron un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 50,2 % (Anexo 4), se evidencio en la evaluación biológica, que existe ausencia de Cu, en un rango medio, mientras que en el análisis químico se encuentra en un rango alto, (Figura 11). En la investigación realizada por Zhunaula (2017), el resultado de la evaluación biológica se encuentra en un rango de bajo a alto según la evaluación biológica, mientras que el análisis químico está en un rango medio lo que demuestra que no existe correspondencia entre este elemento. Según Aguirre (2017) en este tratamiento existe correspondencia de este elemento lo que significa que en el suelo estudiado hay disponibilidad del

mismo. Esta investigación tiene similitud con la investigación realizada por Tandazo (2019), donde indica resultados similares en el cual existe disponibilidad de cobre, esto puede ser por que el cobre está principalmente absorbido a la materia orgánica, el cual es el caso de las investigaciones.

4.6.9 Solución – Mn

El promedio de la biomasa seca es de 4,1g, para los tres sectores de estudio (Figura 10), todos los tratamientos presentaron un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 77,9 % (Anexo 4), se evidencio en la evaluación biológica, que existe disponibilidad de Mn, el cual se encuentra en un rango alto, e igualmente en el análisis químico, (Figura 11). En la investigación realizada por Tandazo (2019), tienes similitud con la presente investigación ya que los resultados indican que el suelo estudiado tiene disponibilidad de Mn en un rango alto. Por otro lado, Zhunaula y Aguirre (2017), los resultados obtenidos varían entre bajo, medio y alto lo que indica que no tuvieron disponibilidad de este elemento en los suelos estudiados.

4.6.10 Solución – B

El promedio de la biomasa seca es de 2,6 g para los tres sectores de estudio (Figura 10), todos los tratamientos presentaron un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 55,3 % (Anexo 4) se evidencio en la evaluación biológica, que existe deficiencia de B, en un rango medio, mientras que en el análisis químico se encuentra en un rango bajo, (Figura 11). Las investigaciones realizadas por Tandazo (2019) y Aguirre (2017) tiene similitud con la presente investigación donde los resultados obtenidos se encuentran en un rango medio en la evaluación biológica y bajo en el análisis químico. Por otra

parte, en la investigación realizada por Zhunaula (2017), los rangos de este elemento varían entre bajo a alto en la evaluación biológica y medio a bajo en los análisis químicos.

4.6.11 Solución – Fe

El promedio de la biomasa seca es de 3,7 g para los sectores (Figura 10), todos los tratamientos presentaron un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 70,3 % (Anexo 4), se evidencio en el análisis biológico, que no existe deficiencia de Fe, ya que tanto en el análisis biológico como el análisis químico se encuentran en un rango alto (Figura 11). Investigaciones realizadas por Tandazo (2019); Zhunaula y Aguirre (2017); en los suelos estudiados los resultados de las tres investigaciones son similares las mismas que se encuentran en un rango de medio en la evaluación biológica y alto en los análisis químicos, lo que indica que existe disponibilidad de este elemento en un rango donde la planta pueda desarrollarse.

4.6.12 Testigo

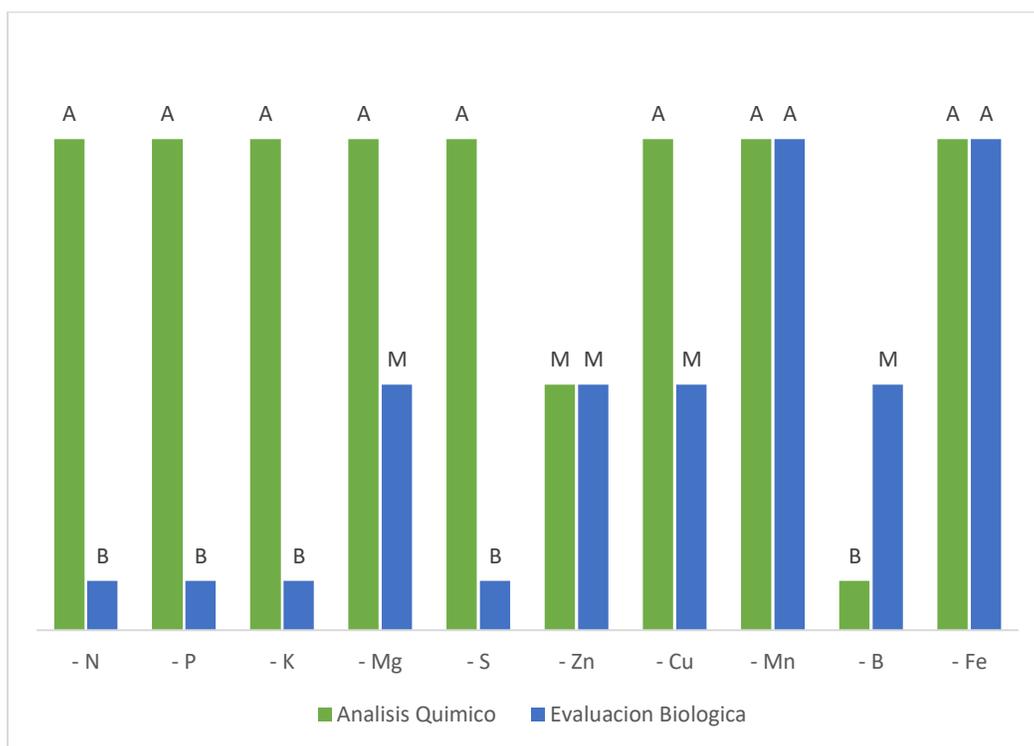
El promedio de la biomasa seca es de 0,7 g para los sectores (Figura 10), todos los tratamientos presentaron un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa, que equivale porcentualmente a 13,4 % (Anexo 4), cabe recalcar que la solución testigo se realizó la aplicación de agua de lluvia, la misma que no contiene minerales, para así realizar una comparativa entre la solución completa, en el que se evidencio que todas las plantas de la solución completa tienen mayor peso de biomasa en comparación al peso del testigo (Figura 11).

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

En la Figura 11 se establece la correspondencia entre la interpretación de los resultados de la evaluación biológica, se consideró como indicador la biomasa en estado seco y la interpretación obtenida con el contenido de cada elemento químico analizado.

Figura 9

Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico del suelo de Cucanamá.



En los tres sectores de estudio la correspondencia entre los elementos Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Magnesio, Azufre, Cobre, y Boro no presento similitud entre sus interpretaciones de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible en el análisis químico evaluación química

El Zinc, Manganeso y Hierro fueron los elementos que si presentaron correspondencia entre las interpretaciones de la evaluación biológica y los análisis químicos.

En la tabla 11 se presenta los requerimientos del cultivo de café en producción para el Sector de Cucanamá, en base a la correspondencia entre la evaluación Biológica y el análisis químico (Figura 11); y los requerimientos de macro y micronutrientes de cafetales en producción propuesto por varios autores (tabla 1), Enríquez y Duicela (2014) indica que para cafetales en crecimiento, hasta los 18 meses después de establecidos en el campo, se recomienda aplicar la mitad, para el fósforo se recomendó en las dos etapas la misma cantidad ya que es un elemento altamente deficiente según la evaluación biológica, para el zinc se recomendó la dosis de bajo (3 kg ha⁻¹), según Rodríguez (2019) indica que con la aplicación de Zn de 3 kg ha⁻¹ el cultivo del café tiende a un buen desarrollo en cafetales en crecimiento.

Tabla 11

Requerimiento (Kg ha⁻¹) de cafetales en producción para el suelo del sector de estudio Cucanamá.

Suelo del sector Cucanamá		
Elemento	Análisis Químico	Evaluación Biológica
-N	50	200
-P	20	60
-K	20	150
-Mg	0	10
-S	0,0	150
-Zn	1,5	1,5
-Cu	0,0	1,5
-Mn	0,0	0,0
-B	10	5,0
-Fe	0,0	0,0

4.9. Fertilización para cafetales

Si el contenido de nutrientes requerido por la planta es bajo, indica que las dosis de fertilización de macro y micronutrientes se deben programar anualmente. Los nutrimentos pueden proporcionarse al aplicar diferentes fertilizantes, para este caso se realizó el cálculo en base a los fertilizantes disponibles en el mercado y a costos más accesibles, estos fertilizantes fueron:

Tabla 12

Fertilizantes utilizados para suplir la fertilidad del suelo del sector

Fertilizante	Formula
10-46-0 (DAP), Nitrato de Amonio	(NH ₄) ₂ HPO ₄ NH ₄ NO ₃
Sulfato de Potasio Kieserita	K ₂ SO ₄ MgSO ₄ ·H ₂ O
Sulfato de zinc Bórax	ZnSO ₄ Na ₂ [B ₄ O ₅ (OH) ₄]·8.O
Sulfato de Cobre	CuSO ₄

Para suplir los requerimientos del cultivo de café en etapa de desarrollo 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, para el sector de estudio.

4.7.1 Fertilización para el sector del sistema agroforestal con café de Cucanamá

Tabla 13

Cálculo del CICE del sector Cucanamá.

B. Intercambiables	Inicio cmol kg ⁻¹	Adición cmol kg ⁻¹	Total
Ca ⁺⁺	11,6	-	11,6
Mg ⁺⁺	1,6	0,12	1,72
K ⁺	0.19	0,08	0,27
Na ⁺	0,45	-	0,45
Al ⁺⁺⁺ +H ⁺	-	-	-
Al ⁺⁺⁺	-	-	-
CICE 1	13,84	CICE 2	14,04

El pH del suelo del sector Cucanamá es de 6,6; es decir; se encuentra en el rango óptimo para el cultivo de café. Cuando está en el rango adecuado para el café, no se necesita encalar, sin embargo, se debe tomar en cuenta que la relación de cationes se encuentre en equilibrio.

Tabla 14

Enmienda y relación de cationes para el suelo del sector Cucanamá.

Enmienda				Relación de cationes				
SB	Antes (%)	Después (%)	R. óptimo (%)		Antes cmol kg ⁻¹	Agregar	Después cmol kg ⁻¹	R. óptimo cmol kg ⁻¹
Ca	84	83	60-70	Ca Mg ⁻¹	7,25		6,8	2,6 -8
Mg	12	12	15-25	Mg K ⁻¹	8,42	Mg	6,3	7,5-15,
K	1	2	5-10	(Ca+Mg) K ⁻¹	69,5		49,2	27,5-55

Al realizar la relación de cationes Mg K⁻¹ no está en el rango adecuado, basándose en la tabla 2, si la relación es < a 7,5 se debe agregar Mg, para suplir este elemento se agregó kieserita, en el Anexo 7, indica el porcentaje de Mg que presenta este fertilizante.

Tabla 15

Nutrientes recomendados para el cultivo de cafetales en crecimiento.

Elemento	kg/ha	g/planta	Fuente	Formula
N	100	25,0	DAP 10-46-0 Nitrato de Amonio	(NH ₄) ₂ HPO ₄ NH ₄ NO ₃
P	60	15,0	DAP 10-46-0	(NH ₄) ₂ HPO ₄
K	100	25,0	Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄
Mg	30	7,5	Kieserita	MgSO ₄ ·H ₂ O
Zn	3	0,8	Sulfato de Zinc	ZnSO ₄
B	5	1,3	Bórax	Na ₂ [B ₄ O ₅ (OH) ₄]·8.O
S	75	18,8	Sulfatos	SO ₄
Cu	1,5	0,4	Sulfato de Cobre	CuSO ₄

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 debe recalcar que la implementación se va a realizar de 3 sectores las cuales el área total sería de 2160 m², esto con una densidad de siembra de 1,5 m entre hilera y 2,0 m entre planta.

Tabla 16

Plan de fertilización para cafetales en crecimiento para el suelo del sector Cucanamá en 1ha.

Fertilizantes	2021							Total (Kg/ha)
	Febrero		Marzo	Abril	Mayo	Octubre	Noviembre	
	S1	S2	S4	S4	S4	S4	S4	
DAP 10-46-0 (50 Kg)			49,8	49,8	49,8	49,8	49,8	298,7
nitrate de amonio (50Kg)	68,0						68,0	136,0
ZnSO4 (25 Kg)	8,5			8,5				17,0
Bórax (50 Kg)	22,7			22,7				45,5
Sulfato de Cobre (25 Kg)		6						6
Kieserita (50 Kg)	33,3		33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	200,0
S. de potasio (25 Kg)	40		40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	240

S1 = Semana 1

S2= Semana 2

S4= Semana 4

El plan de fertilización se lo realizo de acuerdo a la época de invierno del Sector de Cucanamá, de febrero a mayo el mismo que se retoma en el mes de octubre y noviembre que continua la época de invierno. La aplicación de los fertilizantes se debe realizar en los 4 puntos cardinales de cada planta cada 30 días, en el caso del sulfato de potasio se propone realizar la enmienda en la primera semana de febrero, en el caso del sulfato de Cobre ya que es un micronutriente se lo aplicara la segunda semana de febrero para evitar la precipitación del mismo.

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

Tabla 17

Plan de fertilización para cafetales en crecimiento para 2160 m² área del experimento

Fertilizantes	2021							Total (Kg/2160m ²)	
	Febrero			Marzo	Abril	Mayo	Octubre		Noviembre
	S1	S2	S4	S4	S4	S4	S4		S4
DAP 10-46-0 (50 Kg)			10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	64.5
nitrate de amonio (50Kg)	14.7							14.7	29.4
ZnSO ₄ (25 Kg)	1.8				1.8				3.7
Bórax (50 Kg)	4.9				4.9				9.8
Sulfato de Cobre (25 Kg)		1.3							1.3
Kieserita (50 Kg)	7.2			7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	43.2
S. de potasio (25 Kg)	8.6			8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	51.8

En la tabla 17 se observa las cantidades de fertilizantes para el área del experimento a instalarse el sector de Cucanamá.

6 Conclusiones

- Las deficiencias de Mg, Cu, B, Zn en la planta indicadora fueron evidentes, aunque en menor intensidad comparadas con las de N, P, S, K.
- Los tratamientos -Fe y -Mn no presentaron síntomas de deficiencia nutricionales en la planta indicadora probablemente sea porque exista disponibilidad de estos elementos en el suelo.
- Los elementos con mayor deficiencia que presentó la planta indicadora de tomate evaluado bajo invernadero a los 60 días después de la siembra fueron N, P, S, K; ya que las variables evaluadas presentaron diferencias altamente significativas en los tratamientos donde existió la omisión de estos nutrientes; además la planta indicadora de tomate presentó cambios notorios en la morfología y en el color.
- En la correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico el N, P, K, Mg, S, Cu, y B, no presentó correspondencia entre sus interpretaciones, mientras que el Zn, Mn y Fe sí presentó similitud entre las interpretaciones de los dos métodos.
- Para la realización del plan de fertilidad se realizó primeramente la relación de cationes óptima para el cultivo de café donde se aplicará Kieserita y Sulfato de Magnesio, obteniendo con ellos una relación de cationes CaMg-1:6,8; Mg K-1:6,3; (Ca+Mg) K-1:49,2.
- La propuesta para la aplicación de nutrientes en cafetales de crecimiento se realizará de acuerdo a los siguientes valores: N:100; P:60; K:100; S:75; Zn:3; B:5; Cu:1.5; Mg:30; kg ha-1.

7 Recomendaciones

- 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.
- Se recomienda tener conocimiento de la capacidad de retención de agua del suelo.
- En el transcurso del ensayo de la evaluación biológica se recomienda airear el agua dos veces a la semana, con el fin de evitar residuos en la superficie de la solución nutritiva.
- Después de concluir el periodo de experimento se debería realizar un análisis químico al suelo con los tratamientos a los que fueron sometidos para observar el aporte por parte de los macro y micronutrientes al suelo.
- En la realización del plan de fertilidad se recomienda tomar en cuenta los fertilizantes más disponibles y económicos en el mercado.
- Como recomendación final, en vista que no existe correspondencia se recomienda hacer una evaluación en el campo con parcelas.

8 Bibliografía

- Alcantar, g., libia, i., trejo, t. 2008. *Nutrición de cultivos*. Madrid, España: Mundiprensa. pp.33.
- Aguirre, V. (2017). *Evaluación química y biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre andesita en el sector San Vicente de la parroquia Chuquiribamba, cantón Loja*. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador.
- Agustín, S. (2015) *Química del Suelo - El potasio en el Suelo*. Obtenido de https://es.slideshare.net/MyF_IPA/el-potasio-del-suelo
- Aucatoma, B. (2017). *Elaboración y caracterización de un material de referencia intercambio de suelos para los macro elementos P, K Ca y Mg extraídos con Olsen Modificado para análisis en suelos cañeros del orden inceptisol, entisol y vertisol de la cuenca baja del Ríos Guaya*. [Tesis de maestría, escuela superior politécnica del litoral]. Obtenido de repertorio institucional. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/102821/D-CD102872.pdf>
- D. Bouma. (1965). *Growth changes of plants following the removal of nutritional stress, Ph. D. Thesis, Wageningen*.
- Briceño, P., & Pacheco, G. (1984). *Muestreo de suelos*. Instituto nacional de Investigaciones agrícolas. México.
- Crosara, A. (2020). Facultad de Ciencias. *Nutrientes en el suelo*. Obtenido de UNCIEP: <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Nutrientes%20del%20suelo.pdf>
- Chaves V. (1999). *Manejo de la Fertilización en café*. Coordinador Nutricional Mineral. CICAFFE. ICAFFE Congreso Nacional de suelos, Conferencia 77.

CALLE, R. 2008. *Hidroponía en el suelo*. Loja. Abya-Yala.p.24.

DE NONI, G., & TRUJILLO, G. (2008). *Estudio cuantitativo de la erosión con fines de protección de los suelos: las parcelas de alangasi e Ilalo* "Documentos de investigación". Obtenido de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cc-2010/26531.pdf

Enríquez, G., Berstsch, F., & Salas, R. (1995). *Fertilidad de los suelos manual de laboratorio. Asociación costarricense de la ciencia del suelo.*

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

FAO. (1996). *Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s00.htm#TopOfPage>

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

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

Fernández, A. (18 de 03 de 2015). *Abonos y elementos esenciales para las plantas*. Infoagro (en línea). Obtenido de http://www.infoagro.com/abonos/elementos_suelo_esenciales_plantas.htm

García, G., & García, S. (2013). *Química Agrícola* (Vol. 3). España: Mundi Prensa.

Gobierno Autónomo Descentralizado San Pedro de Vilcabamba. (2018). *Componente biofísico, sociocultural, asentamientos humanos, movilidad, energía, conectividad y político institucional del San Pedro de Vilcabamba.*

Graetz. (2010). *Suelos y fertilidad* (3a ed.). México: Sep. Trillas. pp. 29.60.

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

Guerrero. (2007). *El suelo, Los abonos y la fertilización de los cultivos* (Vol. 1). Mundi Prensa.

Guerrero, M. (2017). *Rendimientos de café de grano seco en el Ecuador*. Coordinación General del Sistema de Información Nacional de Agricultura y Ganadería.

Herrera. (2007). *Biblioteca de la Agricultura*. Barcelona: Lexus.

HILLEL, D. (2005). *Encyclopedia of soils in the environment*. Obtenido de pp.11.16

ICONTEC. (2020). *CALIDAD DE AGUA. DETERMINACIÓN DE BORO. MÉTODO DE LA CURCUMINA Y DEL CARMÍN*. Obtenido de <https://www.icontec.org/rules/calidad-de-agua-determinacion-de-boro-metodo-de-la-curcumina-y-del-carmin/>

Infanta, M. (2020). Yara. *Deficiencias de nutrientes*. Obtenido de <https://www.yara.es/nutricion-vegetal/tomate/deficiencias/nitrogeno-vs-azufre-tomate/>

Iñiguez. M. (2007). Fertilidad. *Fertilizantes y fertilización del suelo*. Loja: Universidad Nacional de Loja.

Iñiguez. (2010). Fertilidad, *Fertilizantes y fertilización del suelo*. Loja. pp.22.61-64.151-154.184. 272. 267-270.

- Intagri. (25 de agosto de 2018). *La función de los nutrientes esenciales*. Parte I. Obtenido de Intagri S.C: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/nutricion-vegetal-funcion-de-nutrientes-esenciales>
- IMIGEMM. (16 de 02 de 2016) Investigación geológico minero metalúrgico. *Formación Cerro Mandango*, Vilcabamba.
- Lema, V. (2019). *Rendimientos de café*. Dirección de la información Agropecuaria. Sistema de Información Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Ministerio de agricultura y Ganadería, (2019). *Sistema de información pública agropecuaria. Geoportal del Agro Ecuatoriano*.
- MINTUR (2018) Ministerio de Turismo. Ecuador. *Loja destino cafetalero por excelencia*. Ver en línea: <https://www.turismo.gob.ec/loja-un-destino-cafetalero-por-excelencia/>
- McBride, M. (1994). *Trace and toxic elements in soils*. In: Environmental chemistry of soils.. Oxford University Press: Oxford, p. 308-341.
- Medina, A. (1999). *Manejo de la nutrición en el rosal después de la cosecha de San Valentín en: Mantenimiento de plantas de Rosa, curso de actualización profesional*. Bogotá: Centro de Investigaciones y asesorías agroindustriales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Meléndez G. y Molina E (2001) *Fertilidad de sueños y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica*. Universidad de costa rica. Centro de investigaciones agronómicas. Laboratorio de suelos y foliares.

Monge.L.F. (1999) *Manejo de la nutrición y fertilización del cultivo del café orgánico en Costa Rica*. Grupo café britt. Congreso Nacional de suelos, Conferencia 77.

Merkel Alexander, 2019 *Climate Data Ecuador-provincia de Loja-Vilcabamba* de Climate-Data.org.AM Online Projects.

Navarro. (2013). *Química Agrícola*. Barcelona: Mundi prensa. Barcelona: Mundi Prensa.

Navarro. (2014). *Fertilizantes, química y acción*. España: Mundi-Prensa.

Navarro, G., & Navarro, D. (2013). *Química Agrícola* (tercera). España: Mundi Prensa.

Navarro, G. (2003). *Química Agrícola*. Madrid- México-Barcelona: Mundi-Prensa Madrid.

P.A, S. (1981). *Suelos del trópico, Características y manejo*, Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. Costa Rica: San José.

PDOT (2019), *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Vilcabamba*, 2015-2019; secretaria nacional de planificación y desarrollo.

PDOT (2014), *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la Provincia de Loja*, 2014-2022; secretaria nacional de planificación y desarrollo

PROMIX. (2018). *La función del manganeso en el cultivo de plantas*. Recuperado de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-manganeso-en-el-cultivo-de-plantas/>

RELASE. (2018). *Informe de gestión correspondiente al año 2015*. Obtenido de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos->

foliaresaguas/INFORME%20DE%20LA%20RED%20NACIONAL%20DE%20LABOR
 ATORIOS%20DE%20SUELOS%20(RELASE)%20INFORME%20GESTI%C3%93N%
 202015.pdf

RESTREPO, F.E., SUAREZ J.D. (2005) *Tendencias modernas en la fertilización eficiente del café para la producción del café especiales*. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo.

Resh, H. (2001). *Cultivos Hidropónicos* (5 ed.). Madrid: Mundi Prensa. p. 55.56.64.

Rodríguez, H., & Rodríguez, J. (2011). *Métodos de análisis de suelos y plantas*. Criterios de interpretación. México: Trillas. pp. 28. 68. 37. 38. 193.

Rodríguez y Floréz (2004). *Fertirriego - Elementos esenciales y Beneficiosos*.

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 arábica l.), en Pueblo Nuevo del Cantón Loja*.

[Tesis pregrado, Universidad nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22566/1/Rosa%20del%20Cisne%20%20Rodriguez%20Sarango.pdf>

Sadeghian-Khalajabadi, S., & Díaz-Marín, C. (2020). *Corrección de la acidez del suelo: Alteraciones químicas del suelo*. Revista Cenicafé, 71(1), 7-20.
<https://doi.org/10.38141/10778/1116>

Salisbury. F. B. y C. W. Ross.(1992). *Plant physiology*. (4th. ed.), Wadsworth Publishing, Belmont, 662p.

- Sánchez, P. A. (1981). *Suelos del trópico, características y manejo*. Institución Interamericano de Cooperación para la agricultura. San José Costa rica. 633p
- Sánchez et al., (2018) *La realidad ecuatoriana en la producción de café*. Revista Científica de Investigación actualización del mundo de las Ciencias. Vol. 2 núm., 2, mayo, ISSN: 2588-073X, 2018, pp. 72-91
- Sanzano, A. (2015). *Química del suelo - El Fosforo en el Suelo*. Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/El%20Fosforo%20del%20suelo.pdf
- Tandazo, K. (2019). *Evaluación Química y Biológica de la fertilidad actual de un suelo, desarrollado en el Cantón Chaguarpamba y Lozumbe en Sistemas agroforestales de Café*. [Tesis pregrado, Universidad nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22567/1/Karina%20Fabiola%20Tandazo%20Tandazo.pdf>
- Teuscher, & Adler. (1965). *El suelo y su fertilidad*. USA: Reinhid publishing corporation primera en español.
- Togores, J. H. (2010). *Tratado de Enología*. Mundi rensa.
- Villamagua, M.Á. (2019). *Efecto de la fertilización y tensiones de humedad en el cultivo del café en zonas representativas de la Provincia de Loja*. Manuscrito no publicado. Facultad Agropecuaria y de recursos Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Zambrano, P. (2019). *Evaluación química y biológica de la fertilidad actual de un sueño desarrollado sobre un Sistema Agroforestal en Consapamba y Pueblo Nuevo*. Loja-

Ecuador. [Tesis pregrado, Universidad nacional de Loja].

[https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22576/1/PAOLA%20LOURDES%2](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22576/1/PAOLA%20LOURDES%20ZAMBRANO%20SARANGO.pdf)

[0ZAMBRANO%20SARANGO.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22576/1/PAOLA%20LOURDES%20ZAMBRANO%20SARANGO.pdf)

Zhunaula, G. (2016). *Evaluación química y biológica de la fertilidad actual de un suelo desarrollado sobre andesita en el sistema de riego la Era, cantón Catamayo. Loja-*

Ecuador. [Tesis pregrado, Universidad nacional de Loja].

[https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10313/1/tesis%20Wilmer%20Geova](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10313/1/tesis%20Wilmer%20Geovanny%20Zhunaula%20Angamarca.pdf)

[nny%20Zhunaula%20Angamarca.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10313/1/tesis%20Wilmer%20Geovanny%20Zhunaula%20Angamarca.pdf)

9 Anexos

Anexo 1: *Descripción del perfil del suelo en el sector Cucanamá (perfil 1)*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES

RENOVABLES

“Curvas de Absorción de Nitrógeno en el cultivo de café en la Provincia de Loja”

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELO

Código: P1 Ch

Fecha: 22/11/2018.

Autores: Carlos Valarezo, Miguel Villamagua, Sofia Rogel, Gabriela Fernández.

Sitio: Cucanamá.

Altitud (msnm): 1533

Coordenadas: 649885 E y 9570496 N

Pendiente: 3 %

Paisaje: montaña

Tipo de relieve: vertiente

Forma del terreno: pendiente baja

Uso actual o cobertura vegetal: Vegetación secundaria, arbórea, arbustiva y herbácea

Condiciones de humedad: húmedo

Pedregosidad superficial: 20%

Tamaño: 5-15cm **Afloramientos rocosos:** No

Tipo: No

Material parental: conglomerado (cerro mandango)

Profundidad de la capa freática: -

Fluctuación N°: -

cm: -

Presencia de Sales o Alcalis: no

Drenaje: bueno

Clasificación taxonómica preliminar USDA (2014): *Kanhaplic Haplustalfs*

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

El suelo formado a partir de conglomerado, constituido por tres horizontes: Ap. que va desde 00cm a 25cm de espesor, presenta un color oscuro y un 50% de piedras redondeadas de

5cm a 10cm de diámetro con abundantes raíces finas, medias y gruesas; horizonte AB, este muestra características muy similares al horizonte AP, presenta un espesor de 25cm a 50cm de con un 75% de pedregosidad de forma redondeada y de diámetro de 5cm a 15cm, este suelo es de color oscuro con presencia de pocas raíces finas, medias y gruesas, finalmente, el horizonte C de más de 50 cm de espesor dominado por el 80% de pedregosidad que van de un diámetro de 5cm hasta más de 30cm, se puede apreciar la presencia de muy pocas raíces finas y medianas que llegan hasta aproximadamente 120 cm de profundidad.



Descripción individual de los horizontes o capas

Ap. 0-25 cm. Franco limos; color pardo oscuro 7.5Y 3/2 en seco y en húmedo; estructura moderada tipo granular y de tamaño medio; consistencia ligeramente plástica, una cohesión ligeramente adherente en condiciones húmedas y muy friable en seco; exhibe frecuentes fragmentos rocosos de forma redondeada.

AB 25-50 cm. Franco-arcillo-limoso de color pardo oscuro 7.5YR 4/2 en seco y en húmedo; estructura moderada tipo subangulares y de tamaño medio; consistencia ligeramente plástica, una cohesión ligeramente adherente en condiciones húmedas y muy friable en seco; exhibe frecuentes fragmentos rocosos de forma redondeada.

C >50 cm. Franco arenoso; color gris pardo claro 10 YR 6/2 en seco; no presenta estructura ni consistencia; exhibe frecuentes fragmentos rocosos de forma redondeada.

Anexo 2: Descripción del perfil del suelo en el sector Cucanamá (perfil 2)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES

RENOVABLES

“Curvas de Absorción de Nitrógeno en el cultivo de café en la Provincia de Loja”

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELO

Código: P₂ Ch

Fecha: 22/11/2018.

Autores: Carlos Valarezo, Miguel Villamagua, Sofia Rogel, Gabriela Fernández.

Sitio: Cucanamá.

Altitud (msnm): 1533

Coordenadas: 649885 E y 9570496 N

Pendiente: 3 %

Paisaje: montaña

Tipo de relieve: vertiente

Forma del terreno: pendiente baja

Uso actual o cobertura vegetal: Vegetación secundaria, arbórea, arbustiva y herbácea

Condiciones de humedad: húmedo

Pedregosidad superficial: 20%

Tamaño: 5-15cm **Afloramientos rocosos:** No

Tipo: No

Material parental: conglomerado (cerro mandango)

Profundidad de la capa freática: -

Fluctuación N°: -

cm: -

Presencia de Sales o Alcalis: no

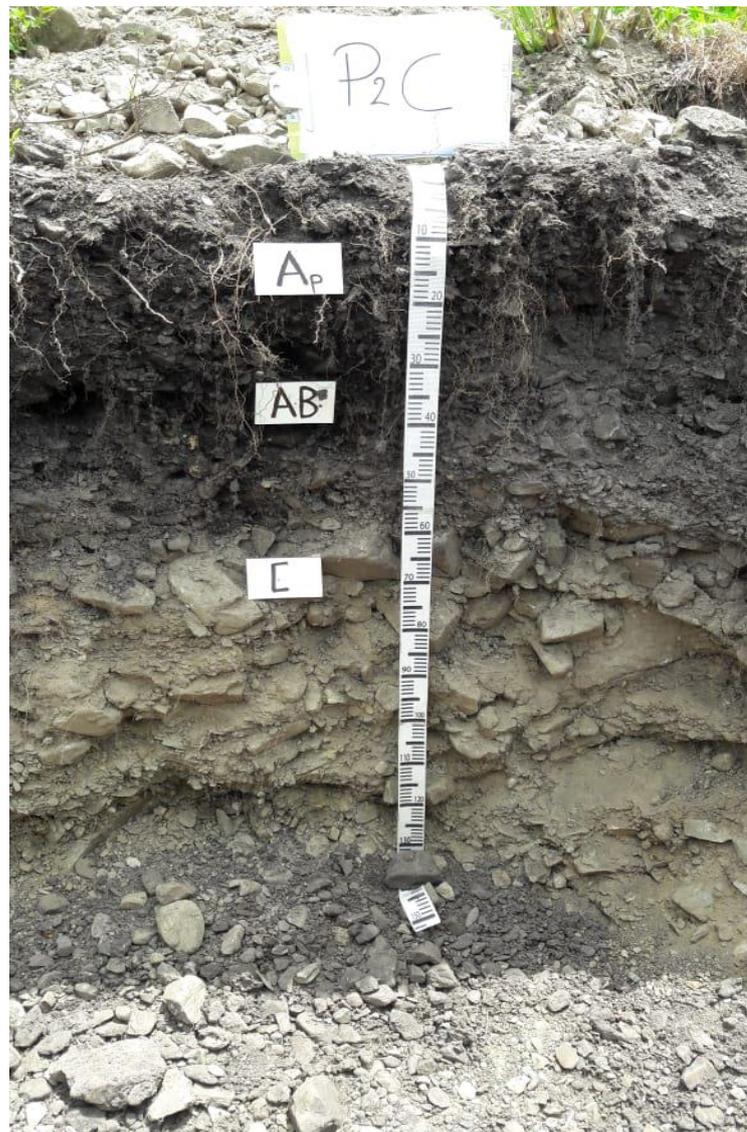
Drenaje: bueno

Clasificación taxonómica preliminar USDA (2014): *Kanhaplic Haplustalfs*

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

El suelo formado a partir de conglomerado, constituido por tres horizontes: Ap que va desde 00cm a 25cm de espesor, presenta un color oscuro y un 50% de piedras redondeadas de

5cm a 10cm de diámetro con abundantes raíces finas, medias y gruesas; horizonte AB, este muestra características muy similares al horizonte AP, presenta un espesor de 25cm a 50cm de con un 75% de pedregosidad de forma redondeada y de diámetro de 5cm a 15cm, este suelo es de color oscuro con presencia de pocas raíces finas, medias y gruesas, finalmente, el horizonte C de más de 50 cm de espesor dominado por el 80% de pedregosidad que van de un diámetro de 5cm hasta más de 30cm, se puede apreciar la presencia de muy pocas raíces finas y medianas que llegan hasta aproximadamente 120 cm de profundidad.



Descripción individual de los horizontes o capas

Ap. 0-25 cm. Franco limos; color pardo oscuro 7.5Y 3/2 en seco y en húmedo; estructura moderada tipo granular y de tamaño medio; consistencia ligeramente plástica, una cohesión ligeramente adherente en condiciones húmedas y muy friable en seco; exhibe frecuentes fragmentos rocosos de forma redondeada.

AB 25-50 cm. Franco-arcillo-limoso de color pardo oscuro 7.5YR 4/2 en seco y en húmedo; estructura moderada tipo subangulares y de tamaño medio; consistencia ligeramente plástica, una cohesión ligeramente adherente en condiciones húmedas y muy friable en seco; exhibe frecuentes fragmentos rocosos de forma redondeada.

C >50 cm. Franco arenoso; color gris pardo claro 10 YR 6/2 en seco; no presenta estructura ni consistencia; exhibe frecuentes fragmentos rocosos de forma redondeada.

Anexo 3: Descripción del perfil del suelo en el sector Cucanamá (perfil 3)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES

RENOVABLES

“Curvas de Absorción de Nitrógeno en el cultivo de café en la Provincia de Loja”

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELO

Código: P₃ Ch

Fecha: 22/11/2018.

Autores: Carlos Valarezo, Miguel Villamagua, Sofia Rogel, Gabriela Fernández.

Sitio: Cucanamá.

Altitud (msnm): 1533

Coordenadas: 649885 E y 9570496 N

Pendiente: 3 %

Paisaje: montaña

Tipo de relieve: vertiente

Forma del terreno: pendiente baja

Uso actual o cobertura vegetal: Vegetación secundaria, arbórea, arbustiva y herbácea

Condiciones de humedad: húmedo

Pedregosidad superficial: 20%

Tamaño: 5-15cm **Afloramientos rocosos:** No

Tipo: No

Material parental: conglomerado (cerro mandango)

Profundidad de la capa freática: -

Fluctuación N°: -

cm: -

Presencia de Sales o Alcalis: no

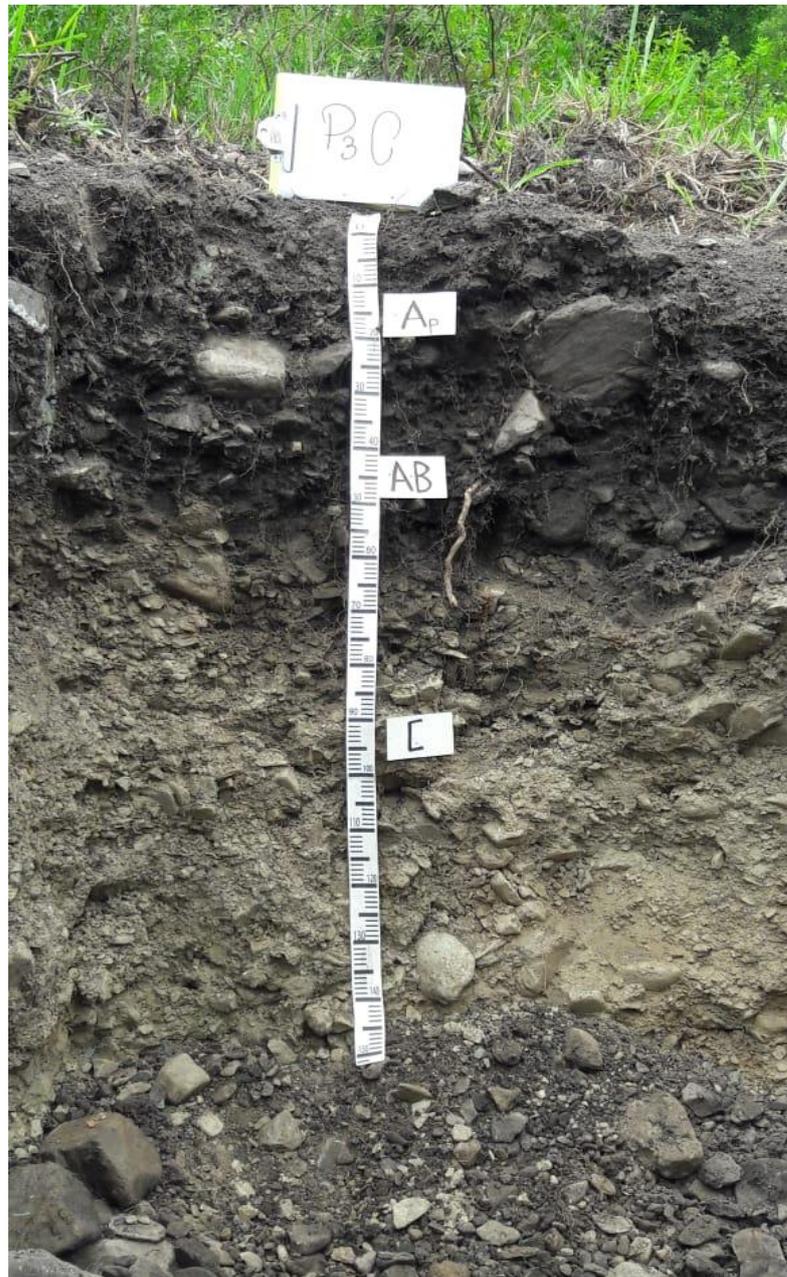
Drenaje: bueno

Clasificación taxonómica preliminar USDA (2014): *Kanhaplic Haplustalfs*

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

El suelo formado a partir de conglomerado, constituido por tres horizontes: Ap que va desde 00cm a 25cm de espesor, presenta un color oscuro y un 50% de piedras redondeadas de 5cm a 10cm de diámetro con abundantes raíces finas, medias y gruesas; horizonte AB, este

muestra características muy similares al horizonte AP, presenta un espesor de 25cm a 50cm de con un 75% de pedregosidad de forma redondeada y de diámetro de 5cm a 15cm, este suelo es de color oscuro con presencia de pocas raíces finas, medias y gruesas, finalmente, el horizonte C de más de 50 cm de espesor dominado por el 80% de pedregosidad que van de un diámetro de 5cm hasta más de 30cm, se puede apreciar la presencia de muy pocas raíces finas y medianas que llegan hasta aproximadamente 120 cm de profundidad.



Descripción individual de los horizontes o capas

Ap 0-25 cm. Franco limos; color pardo oscuro 7.5Y 3/2 en seco y en húmedo; estructura moderada tipo granular y de tamaño medio; consistencia ligeramente plástica, una cohesión ligeramente adherente en condiciones húmedas y muy friable en seco; exhibe frecuentes fragmentos rocosos de forma redondeada.

AB 25-50 cm. Franco-arcillo-limoso de color pardo oscuro 7.5YR 4/2 en seco y en húmedo; estructura moderada tipo subangulares y de tamaño medio; consistencia ligeramente plástica, una cohesión ligeramente adherente en condiciones húmedas y muy friable en seco; exhibe frecuentes fragmentos rocosos de forma redondeada.

C >50 cm. Franco arenoso; color gris pardo claro 10 YR 6/2 en seco; no presenta estructura ni consistencia; exhibe frecuentes fragmentos rocosos de forma redondeada.

Anexo 4 Resultados de análisis químicos de los tres sectores Cucanamá.

	Sector 1				Sector 2				Sector 2	
	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5	Bloque 6	Bloque 7	Bloque 8	Bloque 9	
Profundidad (cm)	00-25	00-25	00-25	00-25	00-25	00-25	00-25	00-25	00-25	
M.O	8,9	9,9	6,8	6,4	3,2	1,4	4,7	6,1	5,4	
pH	6,84	6,86	7,06	6,53	6,12	6,91	6,32	6,67	6,41	
Ca/Mg	14,82	9,52	4,67	5,03	7,13	4,01	5,19	4,75	6,13	
Mg/K	1,10	2,26	5,59	7,06	13,05	6,76	5,87	11,72	5,58	
Ca+Mg/K	17,48	23,79	31,65	42,52	106,06	33,83	36,36	67,46	39,82	
N	135 A	148 A	140 A	186 A	249 A	170 A	172 A	122 A	164 A	
P	172 A	76 A	33 A	36 A	24 A	38 A	23 A	25 A	22 A	
S	8,8 B	4,9 B	3,7 B	2,4 B	3,4 B	5,3 B	0,9 B	4,4 B	2,3 B	
B	0,8 B	0,6 B	0,4 B	0,3 B	0,1 B	0,3 B	0,3 B	0,3 B	0,3 B	
K	1,82 A	1,37 A	0,61 A	0,47 A	0,12 B	0,57 A	0,36 M	0,27 M	0,44 A	
Ca	29,8 A	29,5 A	15,9 A	16,6 A	11,5 A	15,4 A	10,9 A	15,2 A	15,1 A	
Mg	2,01 A	3,10 A	3,41 A	3,30 A	1,61 A	3,84 A	2,10 A	3,20 A	2,46 A	
Zn	9,6 A	3,4 M	3,0 M	4,0 M	0,9 B	4,0 M	1,9 B	2,9 B	1,9 B	
Cu	5,6 A	3,9 M	4,4 A	6,8 A	4,0 A	5,9 A	4,4 A	5,2 A	2,9 M	
Fe	202 A	95 A	132 A	212 A	304 A	222 A	291 A	285 A	287 A	
Mn	8,0 M	11,7 M	5,5 M	10,5 M	5,4 M	5,9 M	6,5 M	7,2 M	6,4 M	

Anexo 5: Porcentaje de Biomasa seca de la planta indicadora, de los tratamientos a implementarse en el Sector Cucanamá.

Solución	Implementación del Sistema agroforestal						
	%	Sector 1 Interpretación		Sector 2 Interpretación		Sector 3 Interpretación Promedio	
Sc	100	Alto	100	Alto	100	Alto	100
-N	15.6	Bajo	15.3	Bajo	13.2	Bajo	14.7
-P	24.3	Bajo	23.9	Bajo	18	Bajo	22.0
-K	34.6	Medio	34.8	Medio	29.4	Bajo	33.0
-Mg	43.6	Medio	43.1	Medio	39.8	Medio	42.2
-S	32.5	Bajo	31.1	Bajo	23.4	Bajo	29.0
-Zn	61.6	Medio	61.1	Medio	58.2	Medio	60.0
-Cu	50	Medio	49.5	Medio	51.1	Medio	50.2
-Mn	81.4	Alto	75.9	Alto	76.6	Alto	77.9
-B	58.1	Medio	55.6	Medio	52.2	Medio	55.3
-Fe	74.1	Alto	69.7	Alto	67.1	Medio	70.3
Testigo	13.8	Bajo	14.1	Bajo	12.3	Bajo	13.4

Anexo 6: Porcentaje de altura de la planta indicadora de los tratamientos a implementarse en el sector Cucanamá

Solución	Implementación del Sistema agroforestal						Promedio
	Sector 1		Sector 2		Sector 3		
	%	Interpretación	%	Interpretación	%	Interpretación	
Sc	100	Alto	100	Alto	100	Alto	100
-N	31	Medio	27	Medio	25	Medio	83
-P	47	Medio	46	Medio	29	Medio	12.2
-K	65	Medio	65	Medio	59	Medio	63
-Mg	76	Alto	73	Alto	67	Alto	72
-S	58	Medio	52	Medio	44	Medio	51.3
-Zn	87	Alto	86	Alto	83	Alto	85.3
-Cu	79	Alto	76	Alto	71	Alto	75.3
-Mn	91	Alto	93	Alto	93	Alto	92.3
-B	82	Alto	82	Alto	76	Alto	80
-Fe	87	Alto	91	Alto	87	Alto	88.3
Testigo	14	Bajo	12	Bajo	15	Bajo	13.6

Anexo 7: Análisis químicos del suelo del Sector Cucanamá.

Elemento	U	Sector 1		Sector 2		Sector 3	
		Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
N	ppm	158.0	A	168.7	A	168.7	A
P	ppm	31.0	A	73.7	A	45.0	A
S	ppm	3.8	B	5.5	B	2.7	B
B	ppm	0.3	B	0.4	B	0.5	B
K	meq/100g	0.5	A	0.7	M	0.7	A
Mg	meq/100g	3.2	A	2.3	A	2.8	A
Zn	ppm	3.0	M	4.5	B	3.1	M
Cu	ppm	4.4	A	4.9	A	5.0	A
Fe	ppm	213.7	A	263.7	A	199.3	A
Mn	ppm	5.9	M	6.9	M	9.6	M

Anexo 8: *Composición química de los fertilizantes utilizados para la realización del plan de fertilidad*

Fertilizante	Contenidos de Nutrientes (%)							
	N	P2O5	K2O	Mg	S	Zn	B	Cu
DAP (18-46) (50 kg)	18	46	-	-	-	-	-	-
Nitrato de Amonio (50 Kg)	34	-	-	-	-	-	-	-
ZnSO4 (25 kg)	-	-	-	-	11	22	-	-
Bórax (25 kg)	-	-	-	-	-	-	11	-
Cu SO4 (25 kg)	-	-	-	-	12.6	-	-	25
Kieserita (50 kg)	-	-	-	25	20	-	-	-
S. de potasio (25 kg)	-	-	51	-	18	-	-	-

Anexo 9: *Difusión de resultados*

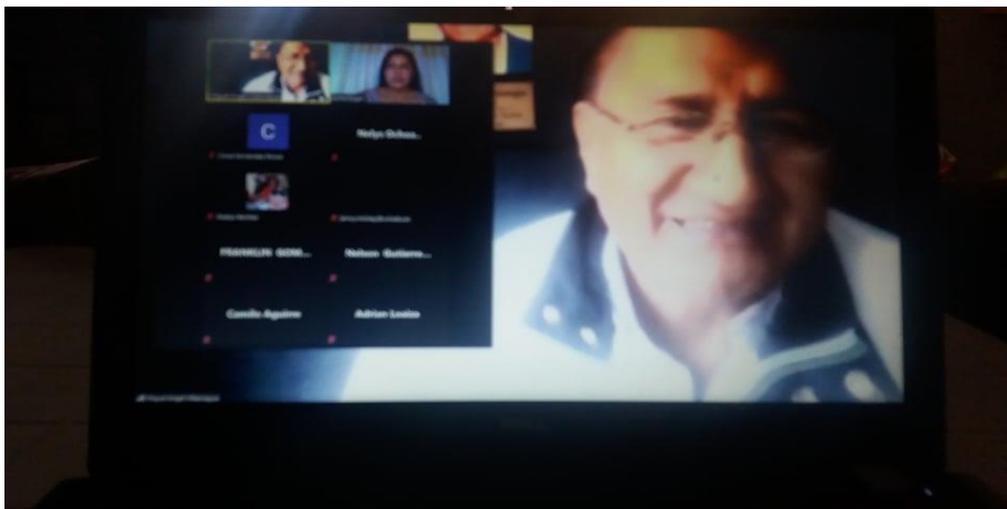
Tipo de evento: Día de Campo

Tema: “Evaluación Biológica de fertilidad del suelo en el sector Cucanamá alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba”

Lugar: Ciudad de Loja

Fecha: 3 de septiembre del 2020

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



Anexo 4: *Evaluación Biológica del sector 1, Cucanamá.*



Anexo 5: *Evaluación Biológica del sector 2, Cucanamá*



Anexo 6: *Evaluación Biológica del sector 3, Cucanamá*

