



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

“Caracterización físico química del suelo en dos pisos altitudinales, dedicados a la producción orgánica de café (*Coffea arabica* L.), en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe”

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

AUTOR:

Pablo Andrés Abad Cordero

DIRECTOR:

Ing. Miguel Ángel Villamagua Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Educamos para Transformar

Certificación

Loja, 13 de septiembre de 2022

Miguel Ángel Villamagua, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“Caracterización físico química del suelo en dos pisos altitudinales, dedicados a la producción orgánica de café (*Coffea arabica* L.), en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de autoría del egresado **Pablo Andrés Abad Cordero**, con **cédula de identidad Nro. 1150074746**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para la respectiva sustentación y defensa.



Miguel Ángel Villamagua, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Pablo Andrés Abad Cordero**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de identidad: 1150074746

Fecha: 11 de julio de 2023

Correo electrónico: pablo.a.abad@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0991620295

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

Yo, **Pablo Andrés Abad Cordero** declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **“Caracterización físico química del suelo en dos pisos altitudinales, dedicados a la producción orgánica de café (*Coffea arabica* L.), en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe”**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los once días del mes Julio de dos mil veinte y tres.

Firma:



Autor: Pablo Andrés Abad Cordero

Cédula de identidad: 1150074746

Dirección: Las Peñas, Loja Ecuador

Correo electrónico: pablo.a.abad@unl.edu.ec

Teléfono: 0991620295

DATOS COPLEMENTARIOS

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

Dedicatoria

De manera muy especial e infinitamente a mis Padres Luis y Bertila quienes me formaron con buenos valores como la honradez, el respeto y la responsabilidad, por brindarme sus consejos de lucha y perseverancia, durante todos estos años, por su apoyo incondicional sin importar las circunstancias para alcanzar mi meta y todo lo que he logrado hasta hoy en día se los debo a ustedes.

A mis hermanos Miguel, Rosa, José, Francisco, Manuel, Livia, Gloria, Daniel, Donatila y a mis sobrinos, por estar siempre a mi lado y darme su apoyo, cariño y paciencia. Del mismo modo este trabajo lo dedico a mi novia Diana Lucia, por ser mi motivación a superarme.

A todos mis amigos y compañeros de aula con quienes compartí muchas experiencias en mi vida estudiantil.

Pablo Andrés Abad Cordero

Agradecimiento

Primeramente, agradezco a Dios por darme la vida, salud y sabiduría para luchar ante las dificultades que se me han presentado en el diario vivir y por haberme permitido culminar esta etapa académica.

A mi director de Tesis Mg. Sc. Miguel Ángel Villamagua por ser mi guía durante todo este tiempo que duro el trabajo de investigación y por tener la paciencia para brindarme sus conocimientos y consejos para que todo salga bien.

Al Ing. Hitler Vicente Troya por brindarme el espacio de realizar este trabajo con los productores de la asociación ACRIM.

A la Ing. Fernanda Livisaca por la colaboración en el trabajo de descripción de perfiles realizado en Campo.

A la Ing. Gabriela Abad por su buena voluntad de brindar sus conocimientos y contribuir en el desarrollo del presente trabajo.

A todos quienes hacen la Universidad Nacional de Loja y especial a los docentes y planta administrativa de la Carrera de Ingeniería Agrícola, quienes me brindaron sus conocimientos para mi formación como profesional.

Pablo Andrés Abad Cordero

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1. El suelo.....	6
4.2. Composición del suelo.....	6
4.3. Propiedades físicas del suelo.....	7
4.3.1. Textura.....	7
4.3.2. Estructura.....	8
4.3.3. Consistencia.....	9
4.3.4. Profundidad.....	9
4.3.5. Temperatura.....	9
4.3.6. Color.....	9
4.3.7. Densidad Aparente.....	10
4.3.8. Densidad real.....	10
4.3.9. Capacidad de campo.....	10
4.3.10. Punto de marchitez permanente.....	10
4.3.11. Saturación.....	10
4.3.12. Consistencia.....	11
4.3.13. Evaluación física de los suelos.....	11
4.4. Propiedades químicas del suelo.....	11
4.4.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE).....	11
4.4.2. El pH.....	12

4.4.3. Porcentaje de saturación de bases	12
4.4.4. Nutrientes para las plantas.....	13
4.4.5. Materia orgánica del suelo.....	13
4.5. Los suelos y su productividad agrícola en el Ecuador.....	13
4.6. El cultivo de café.....	14
4.7. Café arábico.....	15
4.7.1. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de café.....	15
4.7.2. Fertilización del café.....	16
4.7.3. Relación de cationes.....	16
4.7.4. Plagas y enfermedades.....	17
4.8. Importancia de la caficultura.....	18
4.9. Situación actual del café	18
4.10. Estudios de enmiendas en suelos ácidos.....	19
5. Metodología.....	23
5.1. Ubicación de la zona de estudio.....	23
5.2. Geología.....	23
5.3. Clima.....	24
5.4. Metodología para tipificar las fincas dedicadas al cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.), situadas en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe.....	24
5.4.1. Metodología para caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo para dos fincas con cultivo de café orgánico de la asociación ACRIM.....	25
5.4.2. Metodología para formular un plan de fertilización del suelo para cada finca caracterizada, dedicada al cultivo de café orgánico.....	26
6. Resultados.....	27
6.1. Tipificación de fincas dedicadas al cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.), situadas en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe.....	27
6.1.1. Uso del suelo en la asociación ACRIM.....	27
6.1.2. Masas forestales.....	27
6.1.3. Ingresos de la asociación ACRIM por cultivos.....	28
6.1.4. Variedades de café arábigo.....	28
6.1.5. Distancia de siembra del café.....	29
6.1.6. Dimensión de hoyos para siembra del café	30
6.1.7. Uso de sombra en el cultivo de café	30
6.1.8. Plantaciones para sombras de café	31
6.1.9. Densidad de siembra de especies para sombra.....	31
6.1.10. Análisis de suelo.....	32

6.1.11.Fertilización del cultivo de café.....	32
6.1.12.Tipo fertilización en el cultivo de café.....	33
6.1.13.Uso de cal en el cultivo de café.....	33
6.1.14.Procedencia del abono	34
6.1.15.Control de maleza.....	34
6.1.16.Control de la Broca del café (<i>Hypothenemus hampei</i>)	35
6.1.17.Cosecha y postcosecha.....	36
6.2. Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo para fincas con cultivo de café orgánico.....	36
6.2.2. Características morfológicas, físicas y químicas del suelo en el sistema agroforestal de la finca Altavista del sector La Cordillera.	39
6.3. Plan de fertilización del suelo para cada finca caracterizada, dedicada al cultivo de café orgánico.....	42
6.3.1. Fertilización del suelo para el sistema agroforestal de la finca El Pino del sector Rancho Carmen.....	42
6.3.2. Fertilización del suelo para el sistema agroforestal de la finca Altavista del sector La Cordillera.....	44
7. Discusión.....	46
7.1. Tipificación de las fincas dedicadas al cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.), situadas en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe.....	46
7.2. Caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo para dos fincas con cultivo de café de orgánico para la Asociación ACRIM.....	49
7.3. Plan de fertilización del suelo para fincas dedicadas al cultivo de café orgánico.	50
8. Conclusiones.....	52
9. Recomendaciones.....	53
10. Bibliografía.....	54
11. Anexos.....	65

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Taxonomía del café</i>	15
Tabla 2. Requerimientos nutricionales del cultivo de café.....	16
Tabla 3. Relaciones entre cationes intercambiables adecuados para el café.....	16
Tabla 4. Relación de cationes intercambiables del cultivo de café.....	17
Tabla 5. Características morfológicas del sector de estudio.....	36
Tabla 6. Características físicas del perfil RCP1.....	39
Tabla 7. Características químicas del suelo.....	39
Tabla 8. Características morfológicas del sector de estudio.....	39
Tabla 9. Características físicas del perfil LCP1.....	42
Tabla 10. Características químicas del perfil LCP1.....	42
Tabla 11. Cálculo de la CICE del suelo de la finca El Pino.....	43
Tabla 12. Enmienda y relación de cationes del suelo de la finca El Pino.....	43
Tabla 13. Fertilizantes recomendados para el cultivo de café en producción.....	43
Tabla 14. Plan de fertilización en kg y g de elementos por planta para cafetales en producción.....	43
Tabla 15. Cálculo de la CICE del suelo del sector La Cordillera.....	44
Tabla 16. Enmienda y relación de cationes suelo del sector La Cordillera.....	44
Tabla 17. Fertilizantes recomendados para el cultivo de café.....	44
Tabla 18. Plan de fertilización en kg y g de elementos por planta para cafetales en producción.....	45

Índice de figuras

Figura 1. Componentes del suelo.....	6
Figura 2. Diagrama y clases texturales del suelo.	8
Figura 3. Disponibilidad teórica de los nutrimentos, según el pH.....	12
Figura 4. Cultivo de café.....	14
Figura 5. Ubicación del área de estudio.....	23
Figura 6. Mapa geológico del área de estudio.	24
Figura 7. Uso del suelo de productores según su superficie por hectárea.	27
Figura 8. Bosque primario según la superficie.....	28
Figura 9. Ingresos de la asociación ACRIM.....	28
Figura 10. Variedades de café en la asociación ACRIM.	29
Figura 11. Distancias de siembra de café.	29
Figura 12. Dimensión de hoyos.....	30
Figura 13. Uso de sombra en el cultivo de café.....	30
Figura 14. Especies para sombra de café.....	31
Figura 15. Densidad de siembra de especies de sombra.....	31
Figura 16. Análisis de suelo.....	32
Figura 17. Fertilización del cultivo de café.	32
Figura 18. Tipo de fertilización.....	33
Figura 19. Uso de cal en el cultivo de café.	33
Figura 20. Procedencia del abono.....	34
Figura 21. Control de maleza.	35
Figura 22. Control de la broca del café.	35
Figura 23. Producción de café en qq/ha.	36
Figura 24. Perfil del suelo de la Finca El Pino del sector Rancho Carmen.....	37
Figura 24. Perfil del suelo de la finca Altavista del sector La Cordillera.....	40

Índice de anexos

Anexo 1.	Ficha descriptiva de la finca El Pino del sector Rancho Carmen.....	65
Anexo 2.	Descripción del perfil del sistema agroforestal de la finca Altavista sector La Cordillera.....	66
Anexo 3.	Visita de inspección del director de tesis.....	67
Anexo 4.	Descripción del perfil de suelo en la finca El Pino.....	67
Anexo 5.	Extracción de muestras de suelo.....	68
Anexo 6.	Proceso de saturación de las muestras no disturbadas.....	68
Anexo 7.	Determinación de propiedades físicas del suelo.....	69
Anexo 8.	Análisis químico de macro y micronutrientes de la finca El Pino, sector Rancho Carmen	70
Anexo 9.	Análisis químico de macro y micronutrientes de la finca Altavista sector La Cordillera.....	71
Anexo 10.	CIC de la finca El Pino, sector Rancho Carmen.....	72
Anexo 11.	CIC de la finca Altavista sector La Cordillera.....	73
Anexo 12.	Abonos usados en el plan de fertilización.....	73
Anexo 13.	Encuesta.....	75
Anexo 14.	Topografía del sector Rancho Carmen.....	76
Anexo 15.	Topografía del sector La Cordillera.....	77
Anexo 16.	Certificado de Abstract.....	78

1. Título.

“Caracterización físico química del suelo en dos pisos altitudinales, dedicados a la producción orgánica de café (*Coffea arabica* L.), en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe”

2. Resumen

ACRIM, establecida en la parroquia Zumba, contribuye a mejorar la economía del cantón Chinchipe mediante la producción y comercialización de café. El bajo rendimiento ($0,30 \text{ t.ha}^{-1}$) es preocupante en comparación con Colombia y Brasil, que alcanzan rendimientos de $5,70$ y $6,73 \text{ t.ha}^{-1}$. Estos rendimientos se atribuyen a la acidez y baja disponibilidad de nutrientes en el suelo. La investigación tuvo como objetivo la producción orgánica de café (*Coffea arabica* L.) a través de la caracterización física y química del suelo para determinar la fertilidad del mismo y generar un plan de fertilización para aumentar el rendimiento del cultivo. Como resultado se obtuvo que el mayor ingreso proviene del cultivo de café, con un rendimiento de $0,48$, $0,61$ y $0,69 \text{ t.ha}^{-1}$ para pequeños (0 a 2 ha), medianos (2 a 5 ha) y grandes productores (5 a 10 ha). Las características fisicoquímicas del suelo de la Finca el Pino son: textura FoAo, $D_{ap} = 1,08 \text{ g.cm}^{-3}$, pH de 4,6, Al^{+3} igual a 4,94, bajo en K, S y B; y medio en P, Ca y Mg. La Finca Altavista posee una textura FoAc, $D_{ap} = 1 \text{ g.cm}^{-3}$, pH de 5,6, Al^{+3} igual a 0,55, bajo en P y B; y medio en S. Para neutralizar la acidez se usó la relación 1 meq de Al igual a 0,5 meq de Ca y el plan de fertilidad se elaboró con el requerimiento del café respaldado en estudios de evaluación biológica realizados en suelos de la amazonia ecuatoriana.

Palabras clave: *Caracterización, físico, química, Enmienda, café orgánico, ACRIM.*

2.1. Abstract

ACRIM, set down in the Zumba community, it contributes to improving the economy of the Chinchipe town, through the production and coffee sells. The low production ($0,30 \text{ t.ha}^{-1}$) is worrying compared with other countries such as Colombia and Brazil, which reach production of $5,70$ and $6,73 \text{ t.ha}^{-1}$. These yields are attributed to the acidity and low availability in the soil nutrients. The research had aimed the organic coffee production (*arabica coffee* L.) through the physical and chemical soil characterization to determine its fertility and generate a fertilization plan to increase the grow yield. As a result, it was obtained that the highest income comes from coffee growing, with a production of $0,48$, $0,61$ and $0,69 \text{ t.ha}^{-1}$ for small (0 to 2 ha), medium (2 to 5 ha) and big producers (5 to 10 ha). The physicochemical soil characteristics at the Finca el Pino are: texture FoAo, $D_{ap}= 1,08 \text{ g.cm}^{-3}$, pH 4,6, Al^{+3} equal to 4,94, low in K, S and B; and a half in P, Ca and Mg. Finca Altavista has a texture FoAc, $D_{ap}= 1 \text{ g.cm}^{-3}$, pH 5,6, Al^{+3} equal to 0,55, low in P and B; and a half in S. To neutralize the acidity the ration was used. 1 meq of Al equal to 0.5 meq of Ca, and the fertility plan was elaborated with the requirement of the coffee, supported by studies of biological evaluation carried out in Amazon Ecuadorian soils.

Keywords: *Characterization, physical, chemical, Amendment, organic coffee, ACRIM.*

3. Introducción

El suelo es un recurso natural no renovable, un sistema complejo y heterogéneo esencial para sustentar el crecimiento sano de las plantas y garantizar un alto rendimiento de los cultivos (Gacitúa y Martínez, 2022). Según Calderón et al. (2013) su capacidad para maximizar el rendimiento agrícola radica en la disponibilidad de nutrientes esenciales, así como otros oligoelementos además, el equilibrio adecuado del pH y disposición del suelo para retener el agua son factores esenciales para la fertilidad. El uso de suplementos químicos (fertilizantes u abonos) proporciona grandes mejoras en la fertilidad del suelo y la producción de cultivos (Fondo para la protección del agua, 2010).

El café es el segundo producto más comercializados después del petróleo, generando una importancia económica de \$15 mil millones para los países exportadores y brinda una fuente de trabajo a más de 125 millones de personas a nivel mundial (Sistema de la Integración Centroamericana, 2022). Por su contenido de cafeína hace que muchas personas lo consuman para darse un impulso energético, convirtiéndose en una de las bebidas más populares en la actualidad.

Debido a su ubicación geográfica y condiciones climáticas en Ecuador se produce uno de los mejores cafés de América del Sur; para el año 1983 existían 34 6971 ha. cultivadas con café. Sin embargo, después de 1997 la producción de café ha disminuido gradualmente llegando inclusive a tener que importar café para abastecer la industria nacional de productos elaborados. Según el Banco central del Ecuador (2021), menciona que para en el año 2019 existieron 60 000 ha. de café y se exporto 1 458,40 t.

En Ecuador se producen dos tipos de café: el 65 % de la producción nacional pertenece al café arábigo con un rendimiento de 0,30 t.ha⁻¹, y el café Robusta con una producción de 0,49 t.ha⁻¹. Las provincias de mayor producción de café en el Ecuador son: Manabí, Loja y últimamente se cultiva en sistemas agroforestales en la región Amazónica (Santelices, 2019). En la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Chinchipe, parroquia Zumba se cultiva café (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales y en monocultivo en la Asociación de productores orgánicos del río Mayo, quien se caracteriza por acopiar y comercializar café orgánico (Morocho y Ortega, 2019).

La mayoría de los agricultores del cantón Chinchipe se dedican al cultivo del café representando el 40,94 % del total de la producción agrícola; el plátano representa el 24,11 %, el maíz duro representa el 11,44 %, el cacao representa el 10,31 % y el 5 % restante está representado por la caña de azúcar, yuca y guaba; cultivados principalmente en la parroquia Zumba en sistemas agrícolas mercantil y marginal (PDOT-CHINCHIPE, 2020).

Uno de los problemas que afecta a los productores de café de la parroquia Zumba, es el bajo rendimiento de hasta 0,30 t.ha⁻¹ Morocho y Ortega, (2019) asimismo, el rendimiento

nacional se ubica entre 0,23 y 0,27 t.ha⁻¹, esta es una situación preocupante dado que en otros países productores los rendimientos son superiores (Puyutaxi et al., 2004). Con este trabajo se pretende estudiar las características físicas y químicas de dos suelos con cultivo de café situados en la parroquia Zumba y realizar un plan de fertilización para el cultivo.

Objetivos

Objetivo General

- Contribuir a la producción orgánica del café (*Coffea arabica* L.), para la asociación ACRIM a través de la caracterización físico química del suelo, ubicado en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe.

Objetivos específicos

- Tipificar las fincas dedicadas al cultivo de café (*Coffea arabica* L.), situadas en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe.
- Caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo para dos fincas con cultivo de café orgánico para la Asociación ACRIM.
- Formular un plan de fertilización del suelo para cada finca caracterizada, dedicada al cultivo de café orgánico.

4. Marco Teórico

4.1. El suelo

Es un sistema dinámico en el que ocurren cambios y transformaciones producto de la interacción de procesos físicos, químicos y biológicos; los cuales ocurren en forma simultánea, el resultado es un sustrato el cual brinda nutrientes, almacena agua y es sostén para las plantas y otros organismos (Acosta, 2007).

Aragón et al. (2020) describe al suelo como una capa superficial no consolidada de la superficie terrestre, formado por la meteorización de la roca madre, es un medio dinámico donde interactúan procesos básicos para el ecosistema como: el de generación de biomasa y el de su descomposición para su posterior incorporación al suelo.

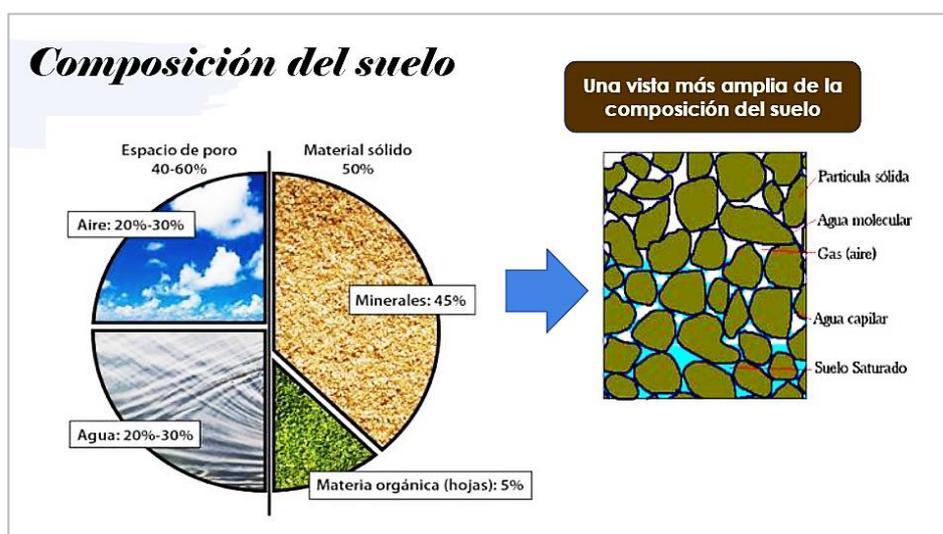
Su formación ocurre a partir de la meteorización de las rocas o del material parental que produce residuos no consolidados mismos que evolucionan y van formando capas llamadas horizontes cuyo resultado morfológico constituyen el perfil del suelo. Este proceso se da por el efecto integrado del clima, los seres vivos, el relieve y el tiempo (Jáuregui et al., 2018).

4.2. Composición del suelo

Según Acosta (2007), un suelo ideal contiene cuatro componentes esenciales: aire, agua, minerales y materia orgánica (Figura 1).

Figura 1.

Componentes del suelo.



Fuente: Trauco, (2020).

El material mineral forma el 45 % del suelo está constituido por elementos inorgánicos (arcillas, arena, limos), resultantes de la meteorización de la roca madre, su función es

determinar la estructura y composición mecánica del suelo permitiendo que se distingan varias clases de texturas, los diámetros de arenas, limos y arcillas varían de 0,2 a 2,0 mm, 0,002 a 0,2 mm y menor a 0,002 mm, respectivamente. Las partículas más pequeñas se llaman coloides y tienen la capacidad de cargarse eléctricamente, lo cual es extremadamente crucial para la fertilidad (Navarro y Navarro, 2003; Pereira et al., 2011).

Se estima que el 50 % es ocupado por espacios vacíos o huecos que se llenan de aire, agua o ambos, y cuyos contenidos están inversamente relacionados, a más agua en la superficie significa menos aire y viceversa. Es crucial para el crecimiento adecuado de las plantas que la porosidad del suelo se distribuya uniformemente entre el agua y el aire en un 50/50 del área total de porosidad, estos componentes varían según las condiciones climáticas, de relieve y antropomórficas a las que se encuentra sometido el suelo (Konijnenburg, 2006; FAO, 2009).

La materia orgánica constituye el 5% del suelo y se deriva de la descomposición parcial de restos de plantas, humus y organismos del suelo. Tiene un impacto en las características físicas del suelo al crear agregados y estabilidad estructural, uniéndose con las arcillas para formar el complejo de cambio, promoviendo la penetración del agua y la retención de humedad, reduciendo la erosividad y promoviendo el intercambio de gases. El uso excesivo del suelo reduce el contenido de MO en cuestión de años, lo que afecta tanto la porosidad del suelo como su capacidad para resistir la penetración del agua. El uso de bloques de construcción orgánicos permite al suelo mejorar sus características físicas, químicas y biológicas (Julca et al., 2006)

4.3. Propiedades físicas del suelo

El estado físico de un suelo afecta su capacidad para sustentar la vida, así como la facilidad con la que las raíces pueden penetrarlo, el flujo de aire, la retención de agua y humedad, y la retención de nutrientes, entre otros factores que determinan su potencial de productividad. Estas características ayudan a cuantificar la capacidad de la superficie para soportar varios procesos que una persona realiza sobre ella. Las características físicas determinan la fuerza mecánica, la rigidez y la facilidad con que las raíces pueden penetrarla. Al mismo tiempo, se puede determinar la capacidad de circulación del aire, absorción y almacenamiento de agua, plasticidad y retención y disponibilidad de nutrientes (García et al., 2004).

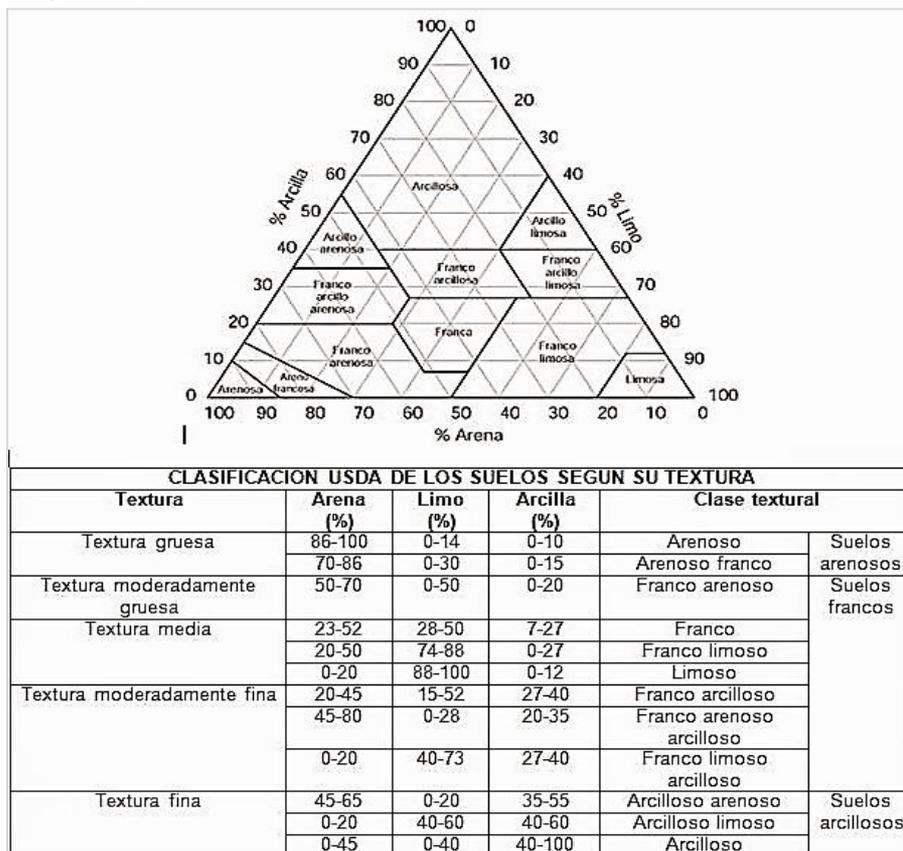
4.3.1. Textura

El suelo está formado por partículas de diferente tamaño que van desde el metro de bloques de roca hasta milímetros de arcillas microscópicas. La textura indica la cantidad relativa de partículas de diferentes tamaños, como arcilla (<0,002 mm), limo (0,02 – 0,002

mm) y arena (2 - 0.02 mm), en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con la que se puede trabajar la superficie, la cantidad de agua y aire que retiene y la rapidez con la que el agua penetra en la superficie y la atraviesa. Usando el triángulo de texturas (Figura 2). como soporte, se determina la textura del suelo en un laboratorio. La escala gráfica conocida como escala triangular de texturas se utiliza para indicar la clase de texturas (Bazán, 2015).

Figura 2.

Diagrama y clases texturales del suelo.



Fuente: (Bazán, 2015).

4.3.2. Estructura

Es la forma en que las partículas están dispuestas y conectadas entre sí en tres dimensiones para formar agregados. La estructura del suelo afecta directamente el flujo de aire, el movimiento del agua dentro del suelo, la conductividad térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. Debido a la forma en que disuelve y precipita los minerales y la forma en que afecta el crecimiento de las plantas, el agua es el componente elemental que tiene un mayor impacto en la estructura del suelo. Si las labores se hacen con el cuidado adecuado, la estructura se mantiene. La incorporación de los restos de las cosechas mejora la estructura del suelo (Santos et al., 2017).

4.3.3. Consistencia

Se denomina consistencia a la firmeza con la que se unen los materiales que componen el suelo o la resistencia de los suelos a la deformación y rotura. Se utilizan ejemplos de suelo húmedo, calentado y seco para medir la consistencia del suelo. En las superficies de mojados se expresan la adhesividad y la plasticidad. La consistencia del suelo puede medirse con mayor precisión en un laboratorio o estimarse mediante pruebas de campo sencillas (Angelone y Garibay, 2020).

4.3.4. Profundidad

Es el espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin encontrar obstáculos importantes para obtener nutrientes esenciales y agua. Un suelo debe tener las condiciones ideales para recibir, almacenar y aprovechar el agua para las plantas, a una profundidad de al menos un metro. Debido a que un suelo más profundo tiene una mayor capacidad para retener la humedad, las plantas pueden soportar mejor las tormentas. De manera similar, si las raíces pueden alcanzar los nutrientes, la planta puede utilizar los que están almacenados en las profundidades del subsuelo (Ibáñez, 2010 y García, 2017).

4.3.5. Temperatura

La temperatura del suelo influye en el clima, el crecimiento de las plantas, la aparición de los brotes, la caída de las hojas, y muchos otros aspectos del medio ambiente. velocidad de descomposición orgánica, así como otros procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo. Las características de cada horizonte en un perfil de terreno están influenciadas por la cantidad y condición del agua, por ejemplo, en suelos fríos hay menos descomposición bacteriana del material orgánico porque la actividad microbiana es más lenta, dejando un suelo de color más oscuro. En climas tropicales, el calor intenso provoca más erosión y la producción de hierro oxidado, lo que le da al suelo un aspecto oxidado (GLOBE, 2005 ; Ramos y Dávila, 2008).

4.3.6. Color

El color del suelo es una característica que está influenciada por varios procesos de desarrollo, como la melanización y su composición mineral, que está estrechamente relacionada con el material parental. Usando la rueda de colores de Munsell, se debe aplicar una muestra de alto contraste para cada horizonte para determinar el color. Los colores deben elegirse de acuerdo con el matiz (hue), la luminosidad (value) y el croma (chroma). Se aconseja describir el color del suelo en condiciones similares para cada exposición y con luz difusa, es decir, sin la influencia directa de los rayos del sol (Rodríguez et al., 2020).

4.3.7. Densidad Aparente

Es la relación que existe entre el peso de una muestra de suelo seco a 105 °C y el volumen que ocupa el mismo, en este volumen se considera todo el espacio poroso. Esta característica se mide para conocer la compactación, porosidad, disponibilidad de agua y de oxígeno. Cuando la densidad es mayor las raíces de las plantas no pueden penetrar en el suelo por lo que se ve afectado su desarrollo (USDA, 1999; Vargas, 2009).

$$Da = \frac{Ws}{Vt}$$

Da: Densidad aparente (g/cm³)

Ws: Peso del suelo seco (g)

Vt: Volumen total (cm³)

4.3.8. Densidad real

Es la relación entre el volumen de las partículas de suelo y el volumen de estas sin considerar el espacio poroso, se encuentra en un rango de 2,5 a 2,6 g.cm⁻³ cuando la materia orgánica no se presenta en cantidades considerables (Castillo, 2005).

$$Dr = \frac{Ws}{Vs}$$

Dr: Densidad real

Ws: Peso del suelo seco en (g)

Vs: Volumen de sólidos

4.3.9. Capacidad de campo

Capacidad de campo (CC) es la cantidad de agua o humedad que puede reponer el suelo después de la saturación o después de haber sido muy humedecido y dejado secar naturalmente sin pérdidas por evapotranspiración hasta que se estabilice el potencial hídrico del suelo, alrededor de 24 a 48 h luego de la lluvia o riego (Rucks et al., 2004).

4.3.10. Punto de marchitez permanente

Se refiere al contenido de agua de un suelo que se ha secado completamente debido al cultivo y, como resultado, el agua que queda en el suelo no es aprovechable por este. En esas circunstancias, la planta está permanentemente inactiva y es incapaz de recuperarse cuando se coloca en un ambiente que está inundado. El contacto manual hace que la superficie se sienta casi seca o ligeramente caliente (Shaxson y Barber, 2005).

4.3.11. Saturación

Se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. En suelos bien drenados, esta es una condición temporal porque el

exceso de agua hace que los poros grandes se sequen bajo la influencia de la gravedad y luego sean reemplazados por aire (Shaxson y Barber, 2005).

4.3.12. Consistencia

La firmeza con la que se unen los materiales que componen el suelo o la resistencia de los suelos a la deformación y rotura son ejemplos de la consistencia del suelo. Se utilizan ejemplos de suelo húmedo, calentado y seco para medir la consistencia del suelo. En superficies húmedas, se expresan la adhesividad y la plasticidad, tal como se definen a continuación. La consistencia del suelo puede medirse con mayor precisión en un laboratorio o estimarse mediante simples pruebas de campo (Jaramillo, 2002).

4.3.13. Evaluación física de los suelos.

Es posible comparar varios sistemas de manejo mientras se evalúa la calidad del suelo para saber cómo cada uno afecta la calidad educativa. El estado físico del suelo tiene un gran impacto en aspectos como su capacidad para sostenerse a sí mismo, la facilidad con que las raíces pueden penetrarlo, qué tan bien ventilado está, cuánta agua puede almacenar y qué tan bien retiene los nutrientes. Como resultado de la evaluación se obtienen estudios y diagnósticos mucho más completos, lo que ayuda a asegurar un mejor manejo del suelo como recurso productivo (García, 2017).

4.4. Propiedades químicas del suelo

Según la Moreira y Castro (2016), las características químicas de los suelos son las siguientes:

4.4.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE).

El término capacidad de intercambio catiónico se refiere al tipo y cantidad de materiales orgánicos y minerales que componen los componentes del suelo, también conocidos como coloides. Como ya se ha visto, la porción mineral del suelo está formada por partículas de varios tamaños (Padilla, 2007). Mientras que la CICE es el parámetro más adecuado para determinar las metas de fertilización porque corresponde a los espacios de almacenamiento disponibles del suelo para procesos de intercambio, los cuales son ocupados por los cationes Ca, Mg, K, Na y Al. Al observar el CICE, lo que más importa no es su valor sino las relaciones apropiadas que mantienen entre sí los cationes potasio, calcio, magnesio y sodio. Cuando todos estos valores se suman, se obtiene un valor de suficiencia (Padilla, 2007)

El CIC de la arena y el limo es prácticamente inexistente, por el contrario, en suelos arcillosos se tienen valores bastante altos. El CIC de los distintos tipos de arcillas presenta

diferencias significativas, por ejemplo las arcillas tropicales típicas con altas pluviosidades y temperaturas tienen valores de CIC sustancialmente más bajos que las arcillas en regiones más áridas y frías (Padilla, 2007).

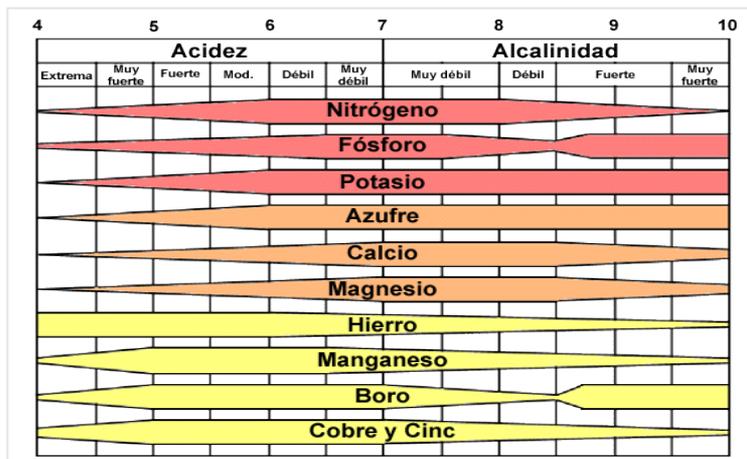
4.4.2. El pH

El pH es una propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad en una solución acuosa. Generalmente se acepta que la definición de pH es el logaritmo negativo de la actividad del protón (H⁺) en una solución acuosa. Es el principal indicador de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influye en la solubilidad, movilidad y disponibilidad de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (Cremona y Enríquez, 2020).

Según Osorio (2012), este parámetro mide la concentración de iones de hidrógeno en la solución del suelo usando una escala específica que va de 0 a 14 (mayor valor, menor concentración). En consecuencia, un suelo se considera neutro cuando tiene un pH de 7, alcalino cuando tiene un pH entre 7 y 14, y ácido cuando tiene un pH entre 7 y 0. Los suelos muy ácidos (<5,5) tienden a presentar cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso.

Figura 3.

Disponibilidad teórica de los nutrimentos, según el pH.



Fuente: (Ibáñez, 2007).

4.4.3. Porcentaje de saturación de bases

El % SB indica qué porcentaje del total de cargas negativas disponibles en el suelo están ocupados por cationes útiles, es un parámetro que indica qué parte de la capacidad de intercambio catiónico está siendo ocupada por bases o iones de intercambio (Ca, Mg y K). Es un gran parámetro para describir las condiciones generales de fertilidad del suelo. Puede usarse como complemento en los informes de análisis porque nos permite categorizar los tipos de suelo en tres categorías: eutrófico, perturbado y eólico (Padilla, 2007).

4.4.4. Nutrientes para las plantas

Para su crecimiento y desarrollo, las plantas dependen de los nutrientes del suelo. Se ha establecido que existen dieciséis elementos esenciales para el crecimiento de todas las plantas. Cada uno de estos nutrientes cumple una función vital en la vida de la planta, y cuando está presente incluso en pequeñas cantidades, puede causar cambios serios y un crecimiento significativamente lento. Debido a que las plantas utilizan algunos de estos nutrientes con más frecuencia que otros, se pueden clasificar como macronutrientes y micronutrientes (Mengel y Kirkby, 2000).

En su libro Pereira et al. (2011), aclara que los macronutrientes son aquellos elementos que se necesitan en grandes cantidades, Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S). Mientras que, los micronutrientes se encuentran en cantidades menores al 0,05 % en peso seco y son conocidos como micronutrientes o elementos traza. Su insuficiencia puede dar lugar a carencias, entre ellos; Hierro (Fe), Boro (B), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl) y Zinc (Zn).

4.4.5. Materia orgánica del suelo

La materia orgánica es uno de los elementos fundamentales de la naturaleza que sustenta la vida en la Tierra, los beneficios que se obtienen cuando este componente ingresa al suelo van más allá de la adición de nutrientes para el crecimiento de las plantas. La presencia y actividad de organismos benéficos que contribuyen a la creación de un ambiente sano y equilibrado, el control de algunos patógenos, el aumento de la porosidad del suelo, la retención de agua, la formación de estructuras más resistentes a la erosión y una mayor capacidad de reponer los elementos esenciales para el crecimiento del sistema radicular de las plantas (Julca et al., 2006; Sadeghian, 2010).

4.5. Los suelos y su productividad agrícola en el Ecuador

Los sectores agrícola y manufacturero son extremadamente importantes para la economía ecuatoriana. El sector agropecuario ha sido históricamente la columna vertebral de la economía del país; hasta el año 1970, Ecuador se caracterizó por tener un fuerte sector agrícola que representaba alrededor del 30 % del producto interno bruto (PIB) del país. Con el paso de los años, el sector industrial ha comenzado por encontrar nuevas fuentes de ingresos para el país (Juca et al., 2021). El sector agrícola se basa principalmente en la producción y distribución de cultivos y productos agrícolas, lo que sustenta la comercialización de una nación, particularmente en aquellos países en vías de desarrollo (Ontaneda, 2016).

La diversidad de clima más las características físicas, químicas y biológicas de los suelos, crean un potencial agrícola en el Ecuador que va desde regiones que pueden ser utilizadas intensivamente hasta aquellas que no deben ser utilizadas para la producción agrícola. El crecimiento de la población y la consiguiente presión sobre la tierra para proporcionar suministros domésticos de alimentos y bienes exportables han ampliado significativamente la frontera agrícola del país. Debido a esto en el año 2019 se reportan 12,3 millones de hectáreas de tierra utilizadas. De este total, 7,2 millones ha se destinan a montañas, bosques, pampas, áreas de descanso y otros usos no agrícolas, mientras que los 5,1 millones de ha restantes, en su mayoría son ocupadas por cultivos de pastos, con un 39 % (Costa 53,5 %, Sierra 27 % y Amazonas 10 %), seguido del cultivo permanente con un 28 % (Costa 72 %, Sierra 17,5 %, y Amazonas 10 %), cultivo transitorio con 15 % (Costa con 68 %, Sierra 29 % y Amazonía con 3 %) (Garrido y Chulia, 2020; Espinosa et al., 2022).

El Banco Central del Ecuador muestra que utiliza la exportación de bienes tradicionales como banano, café y chocolate, así como de otros más recientes como mango, pistacho, naranjilla y flores para demostrar que el sector agrícola es el que más aporta después de la manufactura, el petróleo y la minería (Chávez et al., 2012; Lucio-Paredes et al., 2021).

4.6. El cultivo de café

A nivel Mundial el café se produce en más de 50 países, se caracteriza por ser una planta que puede alcanzar entre dos a seis metros de altura, es de hoja perenne y comienza a producir flores a partir del segundo año. Se cultiva en ciertas ubicaciones geográficas con ciertas características, requerimientos climáticos y edáficos; necesita una altitud que va desde los 1 000 a 2000 m s.n.m., una precipitación más o menos distribuida en todo el año de 1200 a 1 800 mm, una humedad relativa de 70 a 95 % y un pH 5,6 a 6,5 (Marín, 2012).

Figura 4.

Cultivo de café.



Fuente: (Agrocode, 2019).

El café pertenece a la familia de las Rubiáceas y al género *Coffea*, que tiene unos 500 géneros y más de 6 000 especies. Cada día se desarrollan nuevos experimentos para producir numerosas variedades, hasta hoy las especies más importantes comercialmente pertenecientes son: *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, conforme a Villanueva et al. (2020).

Tabla 1.

Taxonomía del café.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Gentianales
Familia	Rubiaceae
Género	<i>Coffea</i> L.

Fuente: (Villanueva et al., 2020).

4.7. Café arábico

Es la especie más cultivada en el mundo y contribuye con más del 60 % de la producción mundial de café, tiene su origen en las tierras altas de Egipto, en elevaciones que van desde los 1 350 a los 2 000 m s.n.m. Es un árbol pequeño y liso con hojas brillantes. Las hojas son bastante pequeñas, pero pueden variar en tamaño, midiendo de 12 a 15 cm de largo y 6 cm o más de ancho. Son de forma ovalada o elíptica, redondeadas en la base y acuminadas. Las flores son fragantes, de color blanco o cremoso, y subsésiles. Tiene una tasa de autofecundación del 90 al 95 %, lo que permite la reproducción sexual de poblaciones homogéneas. El tamaño de las semillas varía de 8,5 a 12,7 mm de largo (Romero y Camilo, 2019; Velásquez, 2019).

4.7.1. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de café

Ramírez (2010) y Romero y Camilo (2019) consideran que las condiciones adecuadas para la producción de café arabica son: altitud entre 1 000 a 2 000 m s.n.m., con una precipitación pluvial de 1 200 a 1 800 mm por año, temperatura que va de 18 a 22 °C, humedad relativa de 70 a 90 % y una luminosidad de 4 a 7 horas luz/día.

Los suelos ideales para el cultivo de café arabica son los Inceptisoles y los Alfisoles, estos suelos poseen una textura franca, con buena fertilidad, drenaje y aireación, su pH ácido a ligeramente ácido 5,5 a 6,5 con buena profundidad efectiva y adecuado contenido de materia orgánica. Estos son ideales para producir un café de excelente calidad (Rojo, 2014).

En cuanto al riego, se debe mantener siempre el nivel adecuado de humedad en el sustrato. Se aconseja realizar tres o cuatro riegos cada semana, dependiendo de las condiciones de iluminación ambiental (Herrera y Antonio, 1993; Altamirano, 2022). Se necesita una cantidad de agua igual a 30 litros por planta en caso de goteo riego. La cantidad de tiempo necesario dependerá de la rapidez con la que se puedan descargar las boquillas usadas (Hernández, 2016).

4.7.2. Fertilización del café

La fertilización del café es muy importante porque le permite a la planta almacenar los nutrientes que fueron absorbidos durante el período de crecimiento, desarrollo y producción. Además, una buena fertilización permite tener plantas sanas, vigorosas y resistentes a plagas y enfermedades, así como aumentar el rendimiento por hectárea y mejorar la calidad de manera sostenible. Por consiguiente Monge (1999); Bertsch (2003) y Vignola et al. (2018) proponen los siguientes requerimientos nutricionales para el cultivo de café:

Tabla 2.

Requerimientos nutricionales del cultivo de café.

Nutriente	(Monge, 1999)		(Bertsch, 2009)		(Vignola et al., 2018)	
N	-	-	242	kg/ha	150 a 300	kg/ha
P	10-30	ppm	22	kg/ha	30-50	kg/ha
K	0,2	(meq/100g _{suelo})	256	kg/ha	100-200	kg/ha
Mg	20	(meq/100g _{suelo})	34	kg/ha	40-80	kg/ha
Ca	-	-	141	kg/ha	-	kg/ha
S	-	-	19	kg/ha	30-60	kg/ha
Al	0,3	(meq/100g _{suelo})	-	kg/ha	-	kg/ha
Fe	10-50	ppm	2,27	kg/ha	-	kg/ha
Cu	1-20	ppm	0,32	kg/ha	5-10	kg/ha
Zn	3-15	ppm	0,19	kg/ha	-	kg/ha
Mn	5-50	ppm	1,81	kg/ha	-	kg/ha
B	-	-	0,60	kg/ha	3-5	kg/ha

Fuente:(Monge, 1999);(Bertsch, 2009);(Vignola et al., 2018).

Par la adición de los fertilizantes que se encuentran en desequilibrio (Enríquez y Duicela, 2014), parte de la información presente en la Tabla se evalúa el balance de cationes y se toman decisiones juntamente con los resultados de los análisis químicos.

4.7.3. Relación de cationes

El equilibrio del suelo afecta la absorción de cationes porque se establecen relaciones sinérgicas y antagónicas entre los elementos para la planta que los absorbe. Por esto, es crucial entender las cantidades de cationes y proporciones, así como sus relaciones al realizar un análisis de suelo para determinar el equilibrio del suelo con respecto a la planta. Es importante tener en cuenta que los valores de los cationes obtenidos del análisis del suelo pueden variar según el cultivo, el clima y otros factores (Sadeghian, 2016).

Tabla 3.

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).

Es esencial comprender la capacidad de intercambio capilar (CIC) de un suelo para el cultivo de café, que nos dice qué tan bien un suelo puede retener e intercambiar nutrientes. Además, la frecuencia y la cantidad de aplicaciones de fertilizantes se ven directamente afectadas por la CIC (Urriola, 2020).

Tabla 4.

Relación de cationes intercambiables del cultivo de café

Nutriente	Rangos óptimos
Ca+Mg+K	5,0 - 10,0(meq/100g _{suelo})
Mg/K	2,5 – 15,0
Ca/Mg	2,0 – 5,0
Ca+Mg/K	10,0 – 40,0
Ca/K	5,0 – 25,0

Fuente:(Monge, 1999).

4.7.4. Plagas y enfermedades

Broca del café.

Es la plaga más perjudicial para la cultura cafetera local y mundial, se caracteriza por colonizar los frutos durante su maduración y destruye rápidamente una parte importante de la cosecha. El control se realiza mediante un programa denominado manejo integrado (MIB), que incluye diversas tácticas y opciones de control según Altamirano (2022).

El control cultural incluye el registro de floraciones, la recolección de frutos inmaduros y el manejo agrícola, en el control biológico se aplica la liberación de diversas especies de parasitoides, entre ellas *Cephalonomia stephanoderis* *Betrem*, *Prorops nasuta* *Waterston* y *Phymastichus coffea*, mientras que, en el control etiológico, o trampeo, se recurre al uso de trampas cebadas con atrayentes (kairomonas) para capturar hembras colonizadoras y en el manejo químico implica la aplicación de insecticidas como último recurso (PROCAFE, 2007).

Minador del café.

El minador de la hoja es una especie de polilla (*Perileucoptera coffeella*), la larva emergente excava dentro de la piel de las hojas para consumir el componente interno. La defoliación afecta la capacidad de una planta para realizar la fotosíntesis. Sin fotosíntesis, la planta no puede crecer adecuadamente. Es posible que la fruta no madure y que la cosecha sea mucho más escasa en general. Se puede producir un sabor amargo y astringente si los granos muertos o no comestibles llegan a la última etapa de extracción (Colonia, 2012).

Existen numerosas enfermedades que afectan la caficultura la mayoría causadas por hongos, cuyo desarrollo está directamente influenciado por condiciones climáticas de la región y las prácticas agrícolas inadecuadas según el programa Maximizando oportunidades en café y cacao (2022) se necesitan las siguientes condiciones climáticas

favorables para la enfermedad de la hoja de café: bajas temperaturas, alta humedad relativa, lluvia y vientos fuertes. Además, se favorecen las malas prácticas agrícolas como la nutrición inadecuada, las plantas envejecidas, la alta densidad de plantas y la sombra excesiva. Entre los más populares se encuentran el ojo de gallo, la mancha de hierro y antracnosis.

4.8. Importancia de la caficultura

El hecho de que el café se cultive en 20 provincias diferentes del país indica la enorme importancia socioeconómica del sector. Según la Asociación Nacional de Exportadores de Café, existen cafetales en 112 000 ha en la Costa, 62 000 ha en la Sierra, 55 000 ha en la Amazonía y 1 000 ha en las Galápagos. Esta amplia distribución se explica por el hecho de que Ecuador es uno de los 14 países (de alrededor de 70) con producción mixta, lo que implica el cultivo de dos especies de café comercialmente importantes (*coffea arabica* y *coffea canephora*). Al igual que en otras naciones, la producción de café es un negocio familiar que requiere mucha mano de obra y genera empleos tanto en áreas rurales como urbanas. Esto se debe a que las horas de trabajo en el campo se complementan con las requeridas para los procesos de comercialización, transporte, preparación del granulado para exportación e industrialización (Delgado et al., 2002).

En el ámbito social tiene gran importancia al generar empleo para 67 500 familias de productores y también para miles de familias más, las cuales se vinculan por otras actividades de comercio agroindustria transporte y exportación. También incluye algunas etnias como kichwas, Shuaras y Tsáchilas PROECUADOR (2013) citado por Venegas, (Sánchez et al., 2018).

En la ecología, el café tiene la capacidad de adaptarse a distintos agroecosistemas de Costa, Sierra, Amazonía y Galápagos; contribuye a la conservación de suelos aportándoles materia orgánica y previniendo la erosión. Asimismo, ayudan a capturar el carbono asemejándose a los bosques secundarios (MAG, 2015).

4.9. Situación actual del café

Según Sotomayor & Duicela (1995) después de la década del 90 el sector productivo de café atravesó una profunda crisis, donde las exportaciones llegaron al 3 % de la oferta exportable a nivel mundial. Las razones para que se presente este problema fue: los bajos rendimientos por unidad de superficie y la mala calidad por lo que, en el comercio internacional alcanzo un valor de USD 4,00 por el saco de 45,26 kg. El mayor problema es el bajo rendimiento que va de 0.18 a 0.27 t.ha⁻¹. Debido al mal manejo de los suelos y la falta de fertilización del café.

Para el año 2000, Ecuador tenía 842 882 UPAS de estas 105 000 se destinan para la producción de café, el tamaño de las UPAS es menor a 5 ha representado el 80 % del total,

entre 5 y 10 ha representa el 13 % y mayor a 10 ha representa el 7 % (MAG, 2015). Para el año 2015 el café representó USD 145 354 370,31 de ingresos, mejorando la economía del país.

4.10. Estudios de enmiendas en suelos ácidos

En la provincia de Zamora Chinchipe se llevó a cabo una investigación cuyo objetivo fue determinar el efecto de la fertilización mineral, enmiendas con carbón vegetal y cal sobre el desarrollo inicial y almacenamiento de carbono de la especie en Pachaco (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc) y melina (*Gmelina arborea* Roxb.) que fueron sujetos de un experimento en parcelas divididas en 2 x 2 x 3 sobre un suelo Typic Kandihumults derivado de granodiorita en el sur de la Amazonía ecuatoriana. El objetivo del experimento fue determinar los efectos del dióxido de carbono vegetal (0; 3; y, 6 t.ha⁻¹), carbonato de calcio (5 t.ha⁻¹) y nutrientes (N:200; P:150; K:200; Mg:118; S:183; y, Zn:40 kg.ha⁻¹), para las dos especies, respectivamente, diferencias en altura de planta, diámetro basal, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura del diámetro máximo y el volumen comercial, se observaron a los 52 y 58 meses después de la aplicación de cal y nutrientes combinados. La altura promedio del pachaco y melina se incrementó en 66 % y 25 %, el DAP en 100 % y 42 %, y, el volumen comercial en 348 % y 77 % en su orden. En las diferentes fechas de registro, no se evidenciaron efectos consistentes de la aplicación del biocarbón sobre el crecimiento de las dos especies arbóreas en las distintas fechas de registro. El pachaco agotó la reserva de B del suelo hace 52 meses, causando la muerte de la mayoría de los árboles. Esto fue confirmado por una evaluación bioquímica de la fertilidad del suelo en invierno (Erraez y Manosalva, 2018).

Se evaluó los efectos del pH de suelo en síntomas del decaimiento en plántulas de café durante 648 días. El pH inicial para el testigo fue de 4,4, se aplicó enmiendas con cal dolomita al 10 %, 25 % y 50 % para corregir pH desde 3,5 hasta 7,5. Los resultados para tratamientos acidificados y el testigo según los análisis químicos fueron síntomas de clorosis, defoliación y pocas raicillas. El tratamiento acidificado tuvo mayor concentración y saturación de Al⁺ y Mg⁺⁺ en relación con el testigo y los encalados. Sin embargo, el encalamiento al 10 % lo evitó por completo (Ortiz et al., 1996).

López et al, (2018) evaluó el efecto del encalado con cal dolomita en dosis de 500 kg.ha⁻¹ y fertilización química (30 g de nitrógeno y 28 g de fósforo) por planta de café (*Coffea arabica* L.) variedad Oro Azteca, establecida en un suelo ácido, en la reserva de la biosfera El Triunfo en Chiapas, México, después de 17 meses de tratamiento, la acidez del suelo cambió de pH fuertemente ácido = 4,8 a pH moderadamente ácido = 5,5 y la efectividad de CIC aumentó de 5,73 meq/100 g a 10,47 meq/100 g. El peso de la biomasa seca se midió en

planta y hubo diferencia estadística significativa al compararlo entre el testigo (309 g) y el tratamiento Cal Dolomita (562 g).

Se estudiaron dos suelos con cultivo de café variedad caturra de 12 años de antigüedad en la finca La Esperanza en Nicaragua, ahí se evaluó la efectividad de las enmiendas de calcio para la corrección del pH y la aplicación de fertilización convencional para la producción de café. Se aplicaron dos dosis (757 y 1 515 kg.ha⁻¹) de Triple Cal (29% CaO, 29% MgO y 13% SO₄⁻); se utilizaron fertilizantes convencionales (58-19-38 kg.ha⁻¹) de N-P₂O₅-K₂O y los completos (132-42-82) kg.ha⁻¹ en suelos de textura media y textura fina, respectivamente. Después de 20 semanas, los resultados mostraron que el pH aumentó de 5,33 a 5,92 en textura media y de 5,52 a 6,06 en textura fina con una dosis de 1 515 kg.ha⁻¹; la mejor producción de café se obtuvo con la fertilización convencional en el suelo, obteniendo los pH más altos con fertilización convencional de 2,64 a 2 77 t.ha⁻¹ (Ortez y Zavala, 2014).

Farfán y Baute (2020), probaron diferentes fuentes potasio: Sulfato de Potasio (K₂SO₄⁻) y Sulpomag (K₂SO₄.2MgSO₄), sobre la producción de café pergamino seco en t.ha⁻¹, este rendimiento fue comparado con el obtenido al fertilizar de manera convencional, con materia orgánica y un testigo sin fertilizar. Las densidades del café en donde se realizó el ensayo fueron las siguientes: 3 922, 6 060 y 7 843 pl/ha. en un sistema agroforestal. Los resultados muestran que en café de altas densidades bajo sombrío se puede aplicar materia orgánica en mezcla con fuentes de potasio como K₂SO₄.2MgSO₄. El café establecido a densidades inferiores a 6 000 plantas/ha puede ser fertilizado de forma orgánicas e inorgánicas.

Rendon y Sadeghian , (2018), evaluaron el uso de índices espectrales para determinar los requerimientos de N en la producción de café (*Coffea arabica* L.). El experimento se realizó en la Estación Experimental Paraguaicito (Buenavista, Quindo Colombia), donde se aplicaron cinco dosis de N (0, 150, 225, 300 y 375 kg.ha⁻¹) en forma de urea. Estos investigadores descubrieron que una dosis de 150 kg.ha⁻¹ de N resultó en el mayor aumento en la producción de café (33,9 %), y una dosis de 300 a 375 kg.ha⁻¹ resultó en un aumento de 4,0 % en producción.

Sadeghian (2004), Usó 5 tratamientos en los que manejó fertilizantes como: Urea (46 % de N), Superfosfato triple-SFT (46 % de P₂O₅), Cloruro de Potasio (60 % de K₂O), Óxido de magnesio (88 % de MgO). Las combinaciones para los tratamientos fueron (N,P,K,Mg, P,K,Mg, N,K,Mg, N,P,Mg y NPK) con dosis de 240 kg/ha/año de N y de K₂O, 80 kg/ha/año de P₂O₅ y 60 kg/ha/año de MgO. En los resultados encontraron contenidos de N-NO³⁻ similares en los tratamientos P K Mg (16,54 mg.kg⁻¹) y NPKMg (16,19 mg.kg⁻¹), el contenido de P aumentó en más de 27 ppm, el pH incremento en 0,38 cmol.kg⁻¹ con la adición conjunta de K y N, mientras que, al excluir el N, el incremento fue de 0,78 cmol.kg⁻¹, alcanzando 1,21

cmol.kg⁻¹. El contenido inicial de Mg²⁺ (0,87 cmol.kg⁻¹) se incrementó significativamente registrando el nivel más en ausencia de N (2,8 cmol.kg⁻¹).

En Puno, Perú Asqui 2020, aplicó a un suelo ácido con alto contenido de Al, Fe y Mn bajo en Ca y Mg, con cultivo de papa Var. *Imilla Negra*, una dosis de 0,5; 1,5; 2,5 y 4,5 meq de Ca ⁺⁺/100 g de suelo (roca travertino) además agrego 2 t.ha⁻¹ de estiércol de ovino. Los mejores resultados se obtuvieron con la dosis de 4,5 meq de Ca ⁺⁺/100 g de suelo logrando subir el nitrógeno disponible de 0,0700 a 0,0957 %. el pH subió de 5,32 a 7,80, el contenido de Al disminuyo de 0,84 clasificado como muy alto llegando hasta 0,00 meq Al ⁺⁺⁺/100 g de suelo y el Fe bajó de 0,280 a 0,0025 ppm, el contenido de Calcio cambiable incremento de 3,10 a 9,95 meq Ca ⁺⁺/100 g de suelo. El rendimiento subió de 33,68 a 41,70 t.ha⁻¹.

Holguin (2019), determinó el comportamiento morfológico del café arábigo en la etapa de crecimiento con fertilizantes químicos y orgánicos. Los tratamientos fueron 3 repeticiones en cada nomenclatura codificada de la siguiente manera A1: (0.5, 1.0, 1.5 g/planta de Micorriza + 25 g de urea para todas las repeticiones), A2: (0.5, 1.0, 1.5 kg/planta de Humus de lombriz y 25 g de urea), A3: (50, 100, 150 g/planta de Yeso agrícola + 25 g de urea), A4: (40, 80, 120 g/planta de Micro esencial + 25 g de urea) y A5: Testigo (25 g de urea). Se observó el mejor desarrollo del café en cuanto a la altura de planta, diámetro de tallo, diámetro de copa y numero de ramas con los tratamientos 1.0 kg/planta de humus de lombriz + 25 g de urea. Seguido del tratamiento 100 g/planta de yeso agrícola + 25 g de urea.

Mera (2022), en el cantón la Mana, Ecuador, evaluaron cuatro fórmulas de fertilizantes: 210 g/planta 100 % de fertilización sintética compuesta por Nitrato de amonio, Sulfato de Mg, Cloruro de K, DAP, Cal dolomita; 402,50 g/planta o 1 000 kg/ha fertilización orgánica que contiene NH₄NO₃, MgSO₄ granulado, KCl (mureato), Bioabor BBQ, Cal dolomita; 502,50 g/planta o 1 500 kg/ha. de fertilización orgánica compuesta por NH₄NO₃, MgSO₄ granulado, KCl, Bioabor BBQ y 611,26 g/planta o 2 000 kg.ha⁻¹ fertilización orgánica que posee NH₄NO₃, MgSO₄ granulado, KCl, Bioabor BBQ. Aplicadas a seis clones de café (Clon COF 06, Clon EET 375611, Clon COF 01, Clon NP 2024, Clon COF 02, Clon NP 3051). Estos autores encontraron los mejores resultados con la fórmula 2 000 kg.ha⁻¹ presentado promedios tanto en altura de planta, circunferencia foliar, diámetro de tallo en los clones NP-2024 y EET-375611.

En la Provincia de Orellana, cantón Loreto Calva y Espinosa (2017), evaluaron enmiendas de carbonato de calcio, dolomita, oxido de calcio y carbonato de magnesio con distintas dosis 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 y 6.0 t.ha⁻¹ sobre suelos rojos clasificados como Oxic Dystrudepts mediante la prueba de invernadero. Los mejores resultados se los obtuvo con la aplicación de 1 y 1,5 t.ha⁻¹ de cal dolomita y carbonato de calcio, el pH incremento de 5,2 a 6.

Villamagua et al. (2021) estudiaron un sistema agroforestal de (*Coffea arabica* L. + *Alnus Acuminata*) ubicado en un suelo (Typic Kandiodults) del 40 % de pendiente y 2 100 m s.n.m en Loja Ecuador, monitoreo la evolución de la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del café; aplicando 0, 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de CaCO₃, con tres replicas en un diseño de bloques al azar y una fertilización de N:25, P:15, K:10,3, Mg:30, S:36,5, B:1,3 y Zn:0,8 g. A los 300 días desde el inicio del ensayo, el pH del suelo evolucionó de 4,9 a 6,3; la acidez intercambiable disminuyó de 3,5 cmol (+)/kg a valores no detectables, la CIC paso del rango bajo a medio, y el porcentaje de saturación de bases se incrementó de medio a muy alto. Los contenidos de N, P, S, K, Ca, Mg, Cu, Zn y B, se incrementaron mientras que para el Fe y Mn disminuyeron. Las variables de crecimiento del cafeto: altura de planta, diámetro de copa, diámetro basal y numero de hojas fueron similares para las dos dosis de CaCO₃, pero diferentes en relación con el testigo sin aplicación cal.

López et al. (2016), analizó las propiedades de los suelos con el propósito de iniciar un programa de fertilización que coadyuve a mejorar de manera sustentable los niveles de productividad del café. Los resultados indican una acidez generalizada ocasionada principalmente por el H⁺ en la solución del suelo, con ausencia de iones de H y Al en los coloides. Los altos contenidos de materia orgánica hacen suponer que las condiciones de acidez están afectando su humificación y mineralización motivo de la baja productividad de 12 000 ha de café que se cultivan dentro de la Reserva de la Biósfera. La dinámica de la CIC en los suelos está influenciada por el pH y el contenido de Materia Orgánica. Más de 90 % de las parcelas presentan niveles altos de K, Ca y Mg y bajo contenido de P y B en el 50 y 84 %, en estas últimas podría haber respuesta a la aplicación de estos nutrientes. Los excesos de Ca podrían estar limitando la absorción de K y Mg y los excesos de Mn en el suelo podrían estar asociados a problemas fisiológicos para absorberlo y almacenarlo.

Se comprobó el efecto de la corrección de la acidez del suelo en el crecimiento inicial de café (*Coffea arabica* L.). con valores iniciales de pH < 5,2 aplicando dosis crecientes de cal (0,00; 1,25; 2,50; 5,00 y 10,00 g.dm⁻³), que logro corregir la acidez (pH y Al³⁺) e incrementar los contenidos de Ca²⁺ y Mg²⁺ en todos los tratamientos. El mayor crecimiento de las plantas (rendimientos relativos entre el 95 y 100 %) se asoció con los siguientes rangos de las propiedades e indicadores del suelo: pH 4,9-5,7, Ca²⁺ 5,1-11,2 cmol.kg⁻¹, Mg²⁺ 0,9-2,1 cmol.kg⁻¹, saturación de bases 21-45 %, Ca:Mg 4,4:1-7,4:1, Ca:K 7:1-37:1, Mg:K 1,4:1-4,8:1, Al³⁺ < 1,1 cmol.kg⁻¹ y saturación de Al³⁺ < 12% (Sadeghian et al., 2020).

5. Metodología

5.1. Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe, provincia de Zamora Chinchipe al sur del Ecuador a una altitud de 1649 m.s.n.m. cuyas coordenadas geográficas son: Norte: 9 451 000 m; 9 478 500 m y Este: 687 500 m y 712 500 m.

Figura 5.

Ubicación del área de estudio.



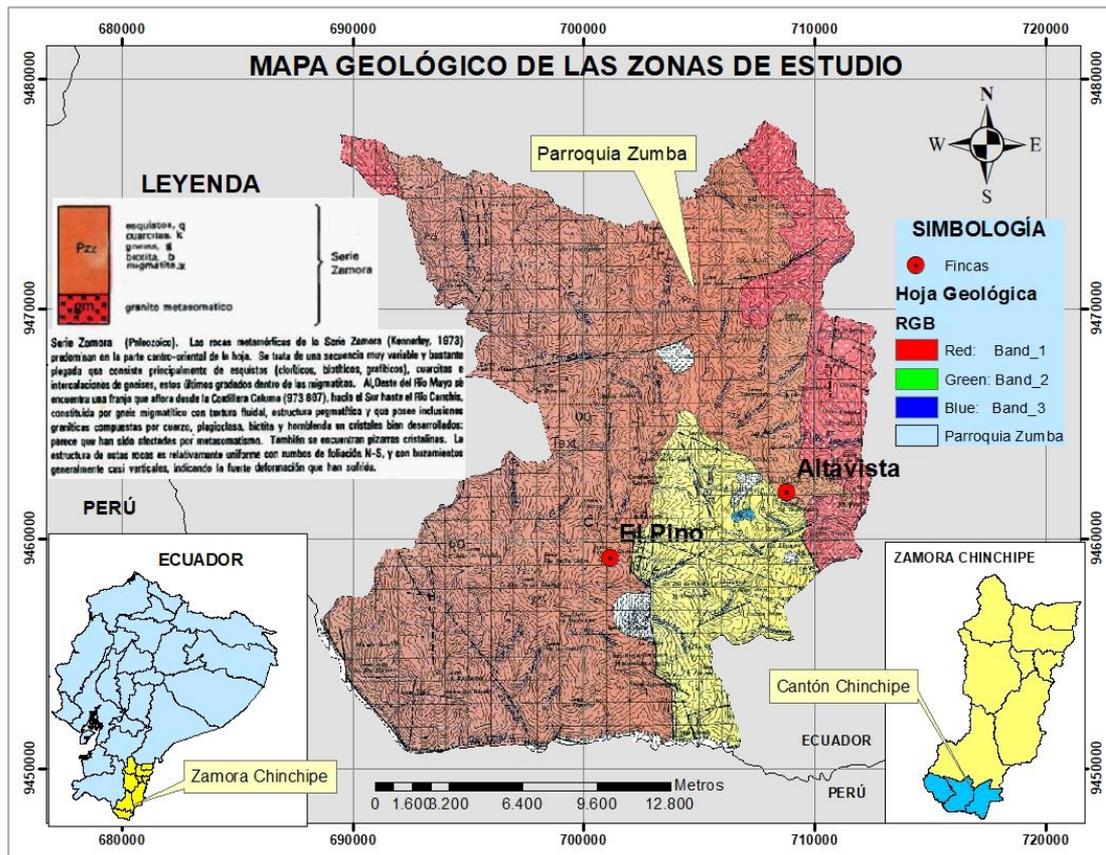
Fuente: (El autor, 2022).

5.2. Geología

La finca está ubicada en la formación geológica Quillollaco, dicha formación está compuesta por areniscas cuarzosas blancas o pardas amarillentas de grano fino a grueso, lutitas y conglomerados en diversas proporciones (Figura 6).

Figura 6.

Mapa geológico del área de estudio.



Fuente: (El autor, 2022).

5.3. Clima

El clima que predomina en esta zona es el Subhúmedo Subtropical, posee una temperatura media anual de 23,5 °C, con precipitación promedio de 1 550 mm.año⁻¹, correspondiente al período de 1978 hasta el 2010 (GAD-Chinchipe, 2015).

5.4. Metodología para tipificar las fincas dedicadas al cultivo de café (*Coffea arabica* L.), situadas en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe.

En primer lugar, se hizo un acercamiento a las instalaciones de la Asociación Agropecuaria Artesanal de Productores Orgánicos Cuencas Del Río Mayo (ACRIM), donde se socializó el anteproyecto y se obtuvo el consentimiento del Administrador y presidente de la Asociación para ejecutar el proyecto. A través del administrador Troya (2021), se recopiló información general de los socios con la que se redactó una encuesta de tipo descriptivo (Anexo 13).

Mediante la fórmula para muestreo aleatorio propuesta por la Scheaffer et al. (1987), se obtuvieron 51 encuestas de las cuales se aplicó a los productores en 6 grupos de base de la asociación; estos grupos fueron: Zumba, Progreso, Las Pircas, Rancho Carmen, Cordón Fronterizo y Centinela de Río Blanco.

$$n = \frac{n Z^2 pq}{(N - 1) e^2 + Z^2 pq}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra

e: Nivel de error de desviación con respecto a la media 10 % (0,1)

N: Tamaño de población

Z: nivel de confianza de la estimación con un valor del 95% equivalente al 1,96

p: Probabilidad de tener respuestas positivas (0,5)

q: Probabilidad de tener respuestas negativas (1 – 0,5)

$$n = \frac{111 (1,96)^2 (0,5)(0,5)}{(111 - 1) (0,1)^2 + (1,96)^2 (0,5)(0,5)}$$

n= 51

5.4.1. Metodología para caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo para dos fincas con cultivo de café orgánico de la asociación ACRIM.

Se seleccionó dos fincas como sujeto de estudio, después se procedió hacer la caracterización geológica del material parental del suelo utilizando la hoja Geológica de Zumba a escala 1:100.000 (DGGM, 1979), luego se comprobó en el campo las formas del terreno y el tipo de formación rocosa.

Se realizó una calicata por finca, con dimensiones de 1,5 m² de superficie por 1,2 m de profundidad. Utilizando la guía para la descripción de suelos de la FAO (2009), se designó la nomenclatura de capas y horizontes según el USDA (2010).

Para las propiedades físicas del suelo se efectuó la curva del pF, para ello se tomaron muestras inalteradas utilizando anillos Koopecky de 100 cm³; en el laboratorio se determinó la porosidad total, densidad aparente, retención de agua a :0,0; 2,0; 2,3; 3,0; 4,2, también el agua aprovechable, la capacidad de aireación, volumen de poros físicamente Inerte y las condiciones físicas del suelo con la ayuda del diagrama triangular. En la caracterización de las propiedades químicas se tomaron muestras de suelo disturbadas por cada horizonte de las calicatas, para la determinación de los contenidos de M.O, pH en H₂O y en KCl, CIC, y Textura. estos análisis fueron realizados en el laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja. Usando el método de Bouyoucos para sacar textura, utilizando como dispersante Na OH⁺ oxalato de sodio, la CIC (con acetato de amonio 1N pH 7,0 y generación de OH⁻ con formaldehído), el pH se determinó en H₂O y en KCl y por último la materia orgánica.

Para obtener los resultados de macro, micronutrientes y acidez del suelo se tomaron muestras de suelo disturbadas a una profundidad de 20 cm en forma de zic-zac. Cuando estuvieron secas las muestras fueron enviadas al laboratorio de la Estación Santa Catalina

del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias donde se analizaron: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, B, y Zn; además aluminio y bases intercambiable, textura, M.O, pH y CIC.

5.4.2. Metodología para formular un plan de fertilización del suelo para cada finca caracterizada, dedicada al cultivo de café orgánico.

Después de haber obtenido los resultados de los análisis de suelos se realizó la interpretación de estos para determinar si el suelo presenta deficiencia de nutrientes y también se conoció el pH y la concentración de aluminio intercambiable.

Para formular el plan de fertilización se lo realizó con los resultados de los macro y micronutrientes disponibles en el suelo, además de los requerimientos del cultivo que fueron necesarios para el cálculo de balance de cationes Ca/Mg, Mg/K y (Ca + Mg/K), una vez la relación de cationes se procedió a elaborar el plan de fertilización; el mismo que se ajustó al requerimiento obtenido por estudios de la evaluación biológica realizados en suelos similares, y en función del requerimiento nutricional del café.

6. Resultados

6.1. Tipificación de fincas dedicadas al cultivo de café (*Coffea arabica* L.), situadas en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe.

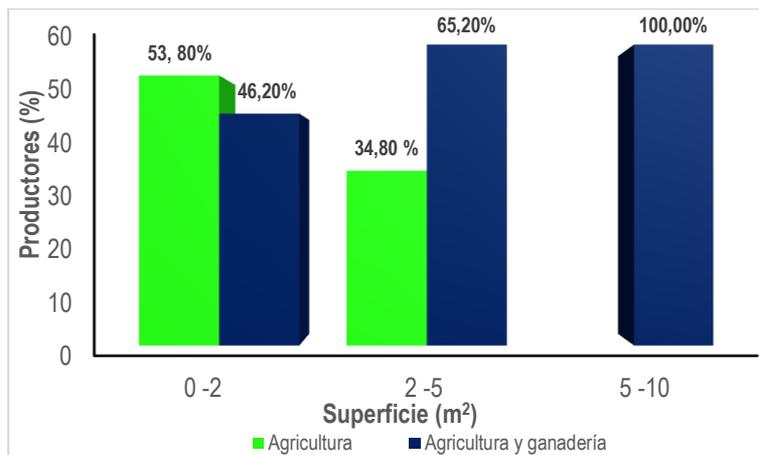
La Asociación “ACRIM” cuenta con 111 productores de café distribuidos en toda la parroquia Zumba, entre ellos 51 miembros fueron encuestados para obtener información relevante acerca del uso del suelo por parte de los agricultores, existencia de masas forestales, manejo de procesos de producción del cultivo, además de la implementación de tecnología y rendimiento por hectárea de café que han alcanzado. A continuación, se presentan los resultados de las encuestas aplicadas.

6.1.1. *Uso del suelo en la asociación ACRIM.*

El uso de la tierra se clasifica de acuerdo con el tamaño del área cultivada. En la Figura 7 se muestra que el 53,80 % de los productores con una superficie de suelo de 0 a 2 ha ocupan sus tierras para desarrollar actividades agrícolas en cambio el porcentaje restante se dedica a la ganadería y siembra de cultivos. El 34,80 % de agricultores que poseen superficies que van de 2 a 5 hectáreas de suelo, lo ocupan con fines de producción agrícola y el 65,20 % restante lo dedican a la ganadería, el 100 % de la población con extensiones mayores a 5 y menores a 10 ha realizan labores agrícolas como ganaderas, es decir poseen un sistema agropecuario mixto.

Figura 7.

Uso del suelo de productores según su superficie por hectárea.



Fuente: (El autor, 2022).

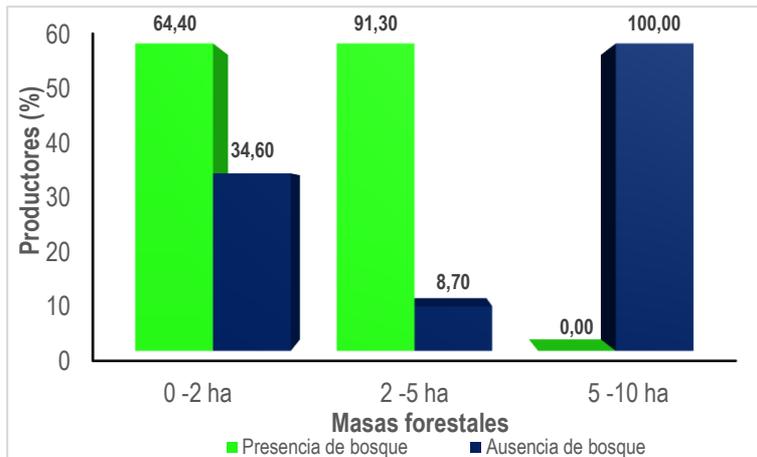
6.1.2. *Masas forestales*

Los habitantes de la parroquia Zumba con tamaños de parcela de 0 a 2 ha, presentan el mayor porcentaje de bosque primario o plantación forestal en sus predios, con el 64,20 %. En cambio, el 8,70 % de los productores de tamaño medio presentan bosque primario en su finca. Mientras que los grandes productores (5 a 10ha.) tienen un 91,3 % de bosque primario

y los que están en un tamaño de 5 a 10 ha, mencionaron que no poseen bosque primario, ver Figura 8.

Figura 8.

Bosque primario según la superficie.



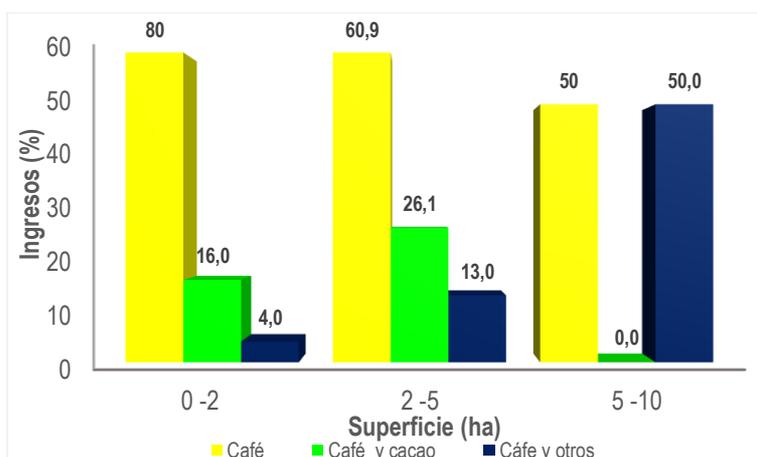
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.3. Ingresos de la asociación ACRIM por cultivos.

Generalmente los socios de ACRIM obtienen sus recursos económicos de la caficultura, los moradores que tienen de 0 a 2 ha afirman que el 80 % de sus ingresos provienen de la venta de café, los agricultores con áreas de suelo de 2 a 5 ha obtienen el 60,9 % de recursos de la comercialización de café y en tanto que los grandes productores (5 a 10 ha) declaran que sus bienes provienen del café en un 50 % y el 50 % restante lo obtienen de la ganadería y otras actividades que realizan (Figura 9).

Figura 9.

Ingresos de la asociación ACRIM



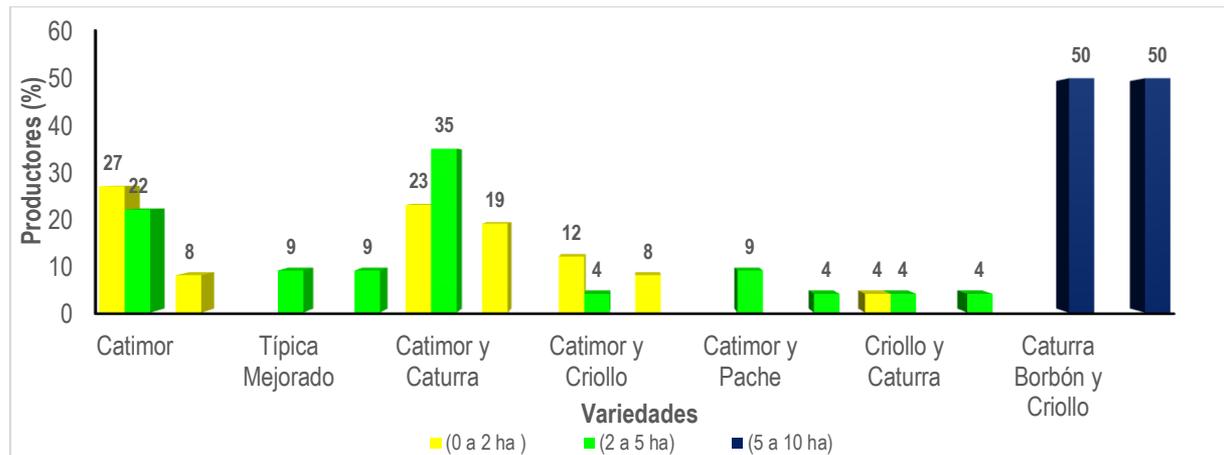
6.1.4. Variedades de café arábigo

En la Figura 10 se presentan las distintas variedades de café arábigo que se siembran en tierras de los socios de ACRIM, entre ellas las más apetecidas por los grandes productores

(5 a 10 ha) son: Caturra, Bourbon y Criollo que son sembradas por un 50 % de los agricultores y Pache, Nestlé y Típica mejorado por el 50 % restante. Mientras que los pequeños productores siembran la variedad Catimor en un 27 %, ellos optan por esta variedad por presentar mayor resistencia a enfermedades como la roya y posee buena producción adaptándose al clima de la zona.

Figura 10.

Variedades de café en la asociación ACRIM.



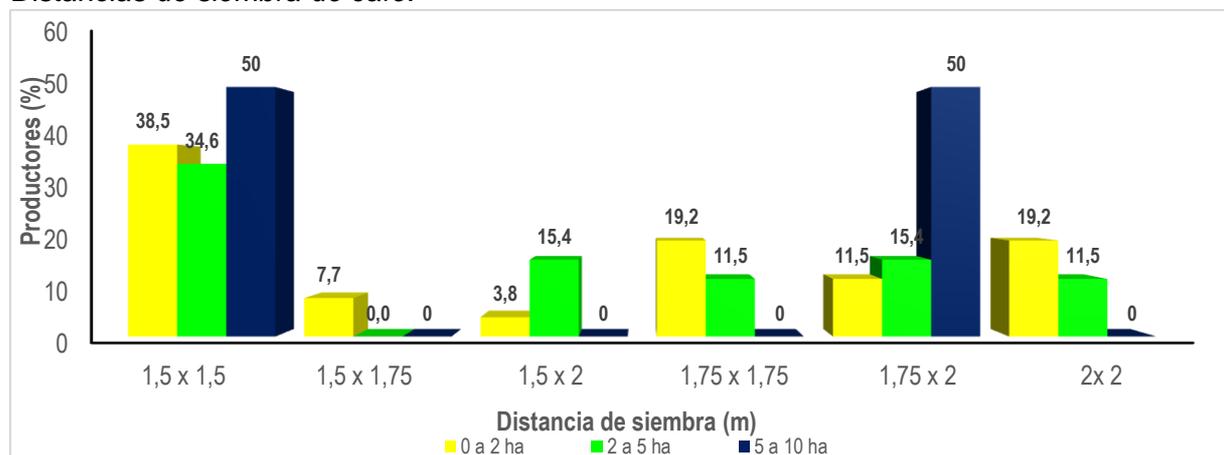
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.5. Distancia de siembra del café

Los productores siembran el café a diferentes densidades, comúnmente las distancias más representativas de los caficultores grandes, está que en un 50 % usan la distancia de 1,5 x 1,5 m y el otro 50 % emplea una distancia de siembra de 1,75 x 2 m (Figura 11).

Figura 11.

Distancias de siembra de café.



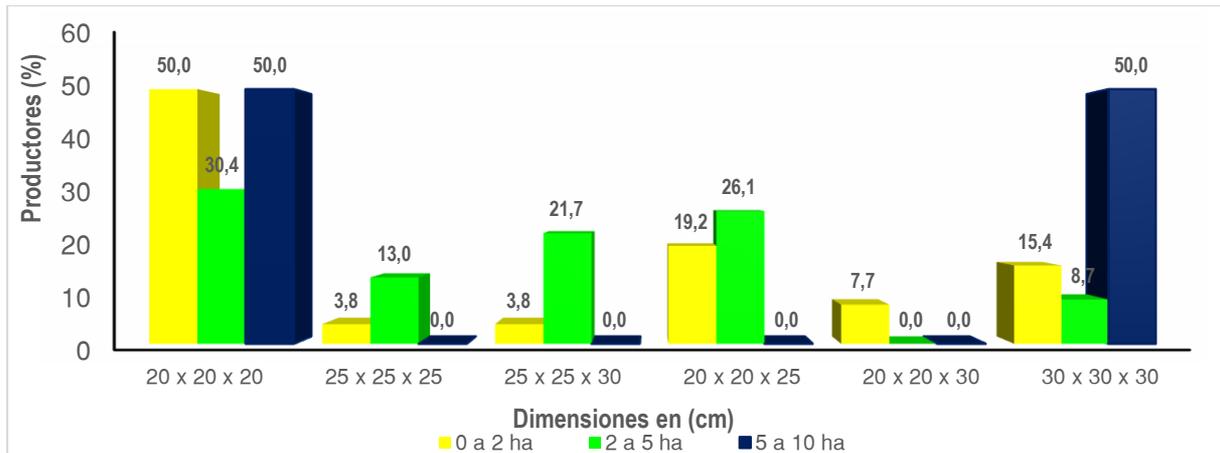
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.6. Dimensión de hoyos para siembra del café

Los cafetaleros de la zona con unidades de producción agropecuaria (UPA) mayores utilizan varios dimensionamientos para realizar hoyos, entre los más representativos están: en un 50 % dimensiones de 20 x 20 x 20 cm y el otro 50 % lo hacen con medidas de 30 x 30 x 30 cm (Figura 12).

Figura 12.

Dimensión de hoyos.



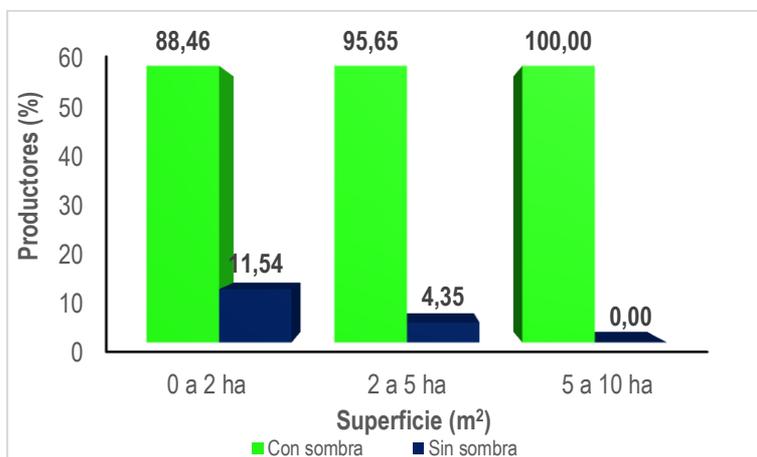
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.7. Uso de sombra en el cultivo de café

En la Figura 13 se muestra que los caficultores dueños de áreas de 0 a 2 ha usan sombra en un 88,5 %; mientras que los de tamaño de UPA mayor a 2 ha y menor a 5 ha, usa sombra en un 95,7 %, a diferencia de los productores con tamaños de suelo de 5 a 10 ha usan sombra en un 100 % del área productiva de café, con esta información se aclara que casi todos los cafetales están asociados con otras plantas es decir son cultivos agroforestales.

Figura 13.

Uso de sombra en el cultivo de café.



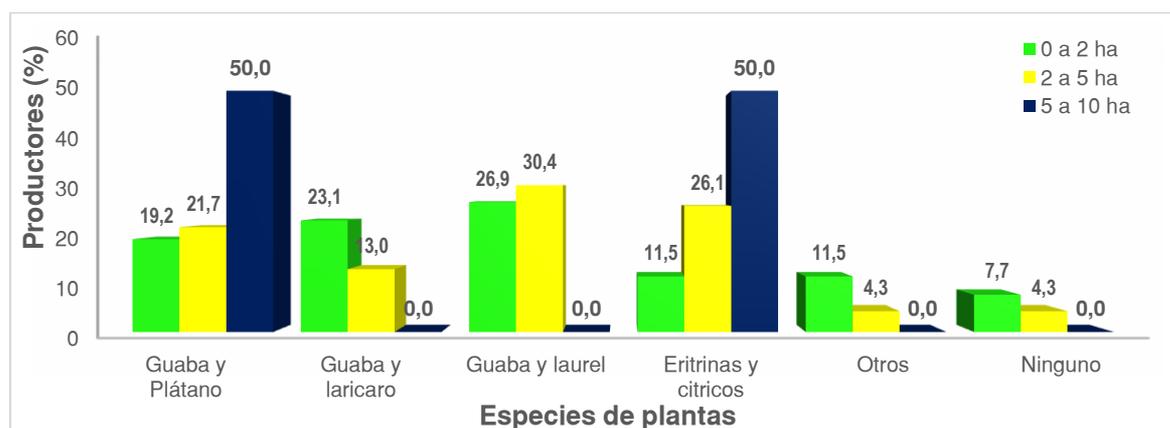
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.8. Plantaciones para sombras de café

Los árboles más comunes que se usan para dar sombra a los cafetales son guaba (*Inga edulis*), plátano (*Musa x paradisiaca*), laurel (*Laurus nobilis*) y cítricos, entre otros; guaba (*Inga edulis*) y laurel (*Laurus nobilis*) se utilizan en un porcentaje de 26,9 % en parcelas de 0 a 2 ha y 30,4 % en las parcelas de 2 a 5 ha, además existen asociaciones de eritrinas y cítricos en un 26,1 %. En cuanto a los propietarios de 5 a 10 ha las asociaciones son 50 % guaba (*Inga edulis*) y plátano (*Musa paradisiaca*) y el 50 % restante son eritrina y cítricos.

Figura 14.

Especies para sombra de café.



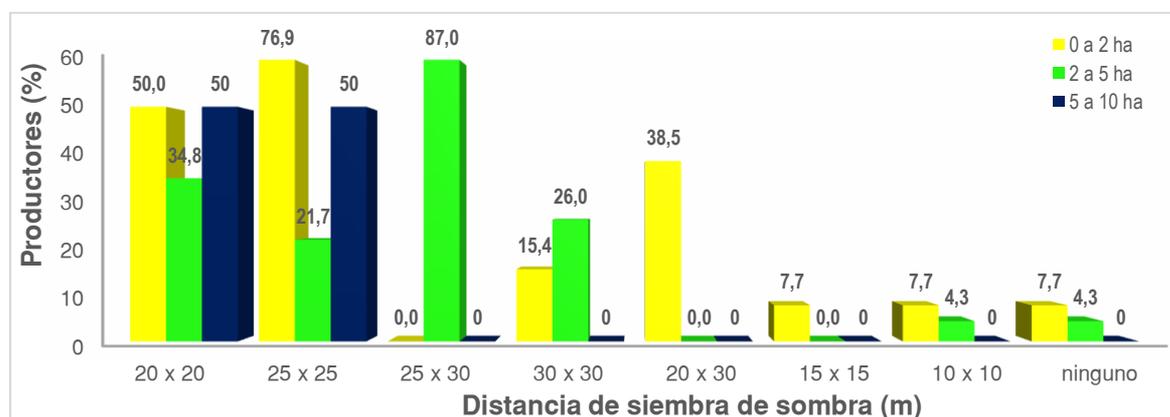
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.9. Densidad de siembra de especies para sombra

La distancia de siembra de los árboles para sombra es variada; sin embargo, las dimensiones más utilizadas para árboles grandes son 20 x 20 m (50 %), (25 m x 25 m) (76,9 %) para productos con superficies de 0 a 2 ha; para medianos productores (2 a 5 ha), las distancias de 25 x 30 m (87 %) y 20 x 20 m (34,8 %) son las más recurrentes, así como distancias para productores con área cultivable de 5 a 10 ha, las distancias entre árboles son de 20 x 20 m en el 50 % de los casos y de 25 x 25 m en el 50 % restante.

Figura 15.

Densidad de siembra de especies de sombra.



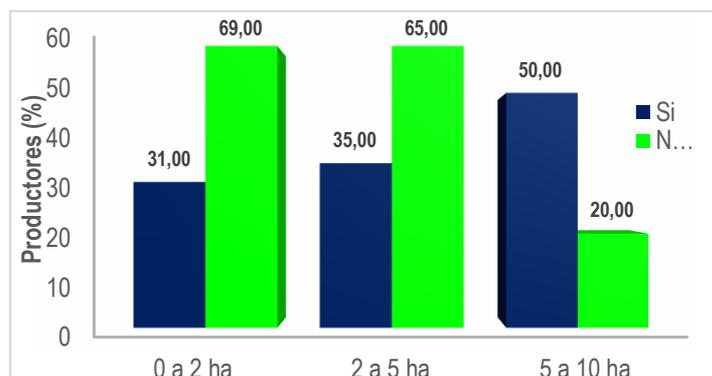
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.10. Análisis de suelo

Existe una baja incidencia a realizar los análisis para determinar la calidad de los suelos, por ejemplo, solo el 31 % de los pequeños productores de café de la zona de estudio realizan un análisis de suelo, mientras que el 69 % no lo hace; los medianos productores realizan un análisis de suelo en el 35 % de los casos, mientras que el 65 % de los grandes productores no lo hacen (Figura 16).

Figura 16.

Análisis de suelo.



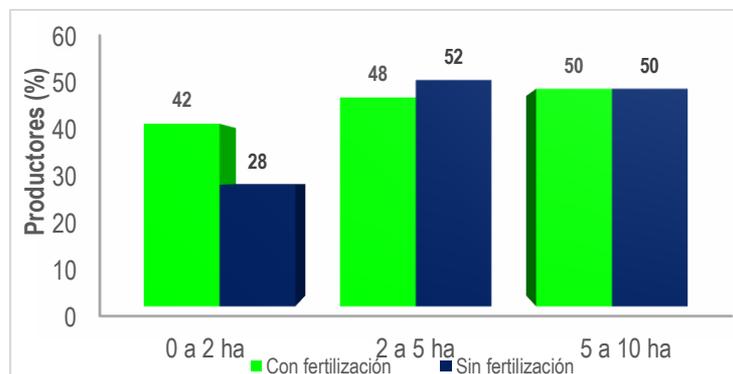
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.11. Fertilización del cultivo de café

En la Figura 17 se muestran los resultados de la recopilación de información sobre fertilización respecto al cultivo de café, dependiendo del tamaño de la unidad productiva, el caficultor asociado a la parroquia Zumba tiene las siguientes tasas de fertilización: 42 % para productores de 0 a 2 ha, 47,8 % para productores de 2 a 5 ha, y 50 % para productores de 5 a 10 hectáreas, esto demuestra que los productores de grado superior tienen más tecnología de producción que los productores de grado inferior, que dependen de técnicas agrícolas ancestrales.

Figura 17.

Fertilización del cultivo de café.



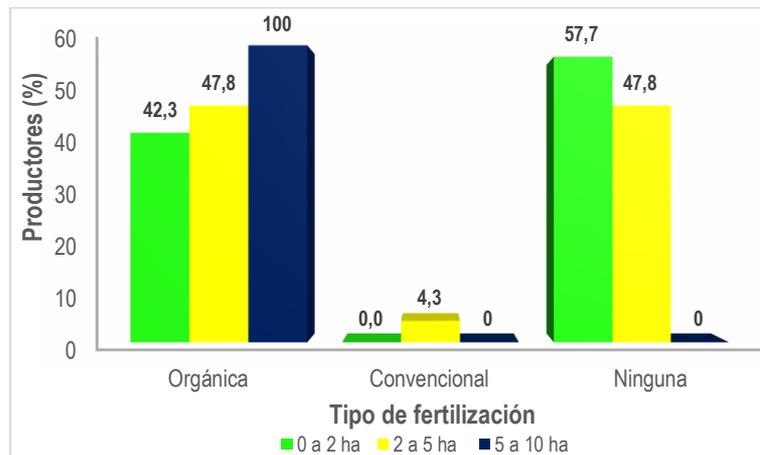
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.12. Tipo fertilización en el cultivo de café

La figura 18 expresa el uso de fertilizantes en el cultivo de café; se obtuvo una aplicación de 42 % de fertilización orgánica y un 58 % sin fertilizante para los pequeños productores (0 a 2 ha): el productor promedio con una superficie de 2 a 5 ha utiliza un 48 % de fertilización orgánica, un 48 % no maneja ningún fertilizante y los 4,3 % restantes utiliza fertilización convencional. Los grandes productores con una superficie de 5 a 10 ha utilizan fertilización orgánica en un 100 %.

Figura 18.

Tipo de fertilización.



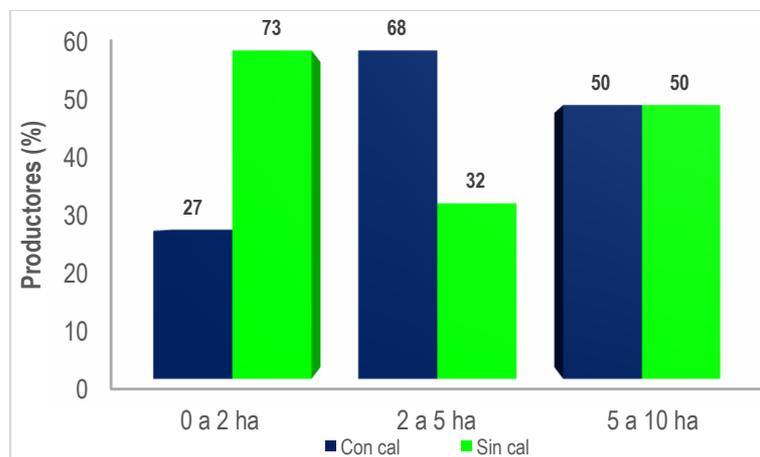
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.13. Uso de cal en el cultivo de café

Debido a que los suelos amazónicos tienen niveles de pH bajos o ácidos, se investigó si los productores aplican cal al suelo para neutralizar la acidez, se obtuvo los siguientes resultados: los pequeños productores utilizan cal en el 26,9 % de los casos, los medianos productores utilizan cal en el 68 % y los grandes productores utilizan cal en el 50 %.

Figura 19.

Uso de cal en el cultivo de café.



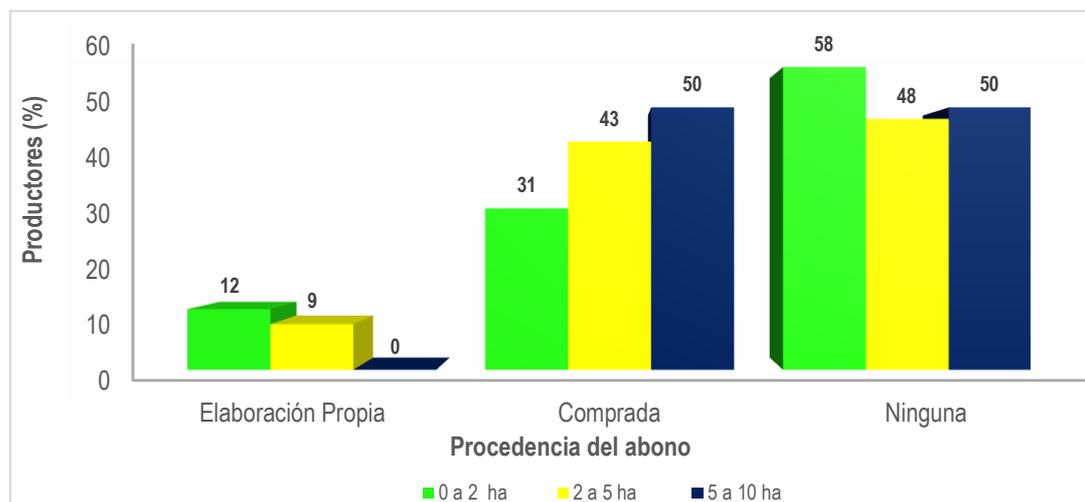
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.14. Procedencia del abono

Según la ACRIM, se utilizan dos tipos de abonos, los productores de 0 a 2 ha utilizan un 11,5 % de abono orgánico hecho en su finca, y un 30,8 % es sintético. Para productores con más de 2 ha y menos de 5 ha, el fertilizante orgánico es de su propia elaboración es un 8,7 % y el sintético es de 43,5 %, por el contrario, los grandes productores utilizan en un 50 % abono sintético.

Figura 20.

Procedencia del abono.



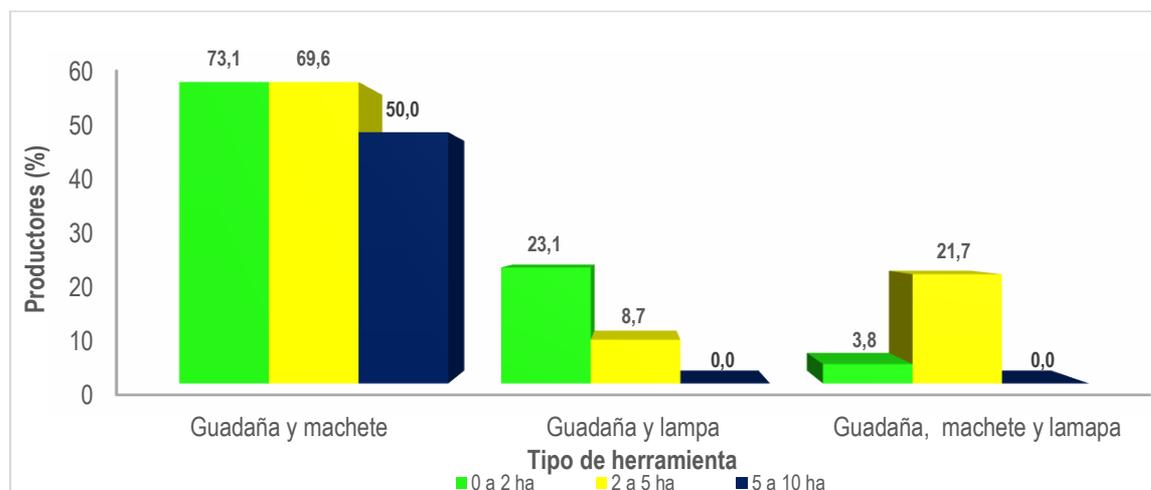
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.15. Control de maleza

Los caficultores afiliados a la Parroquia Zumba realizan el control de la maleza utilizando herramientas manuales como el machete, lampa y motoguadaña, así como herbicidas químicos que se aplican a través de fumigación. Los pequeños productores realizan un control de malevolencia con guadaña y machete en el 73 % de los casos, motoguadaña, machete y lampa en el 23 % y herbicidas en un 4 %. El agricultor promedio controla la maleza usando una motoguadaña y un machete el 70 % de las veces, una guadaña y una lámpara el 9 % del tiempo y la motoguadaña, el machete y la lámpara, el 22 % del tiempo. Por último, pero no menos importante, el 50 % de los grandes agricultores utiliza una motoguadaña y un machete para controlar las malezas, y el otro 50 % utiliza herbicidas.

Figura 21.

Control de maleza.



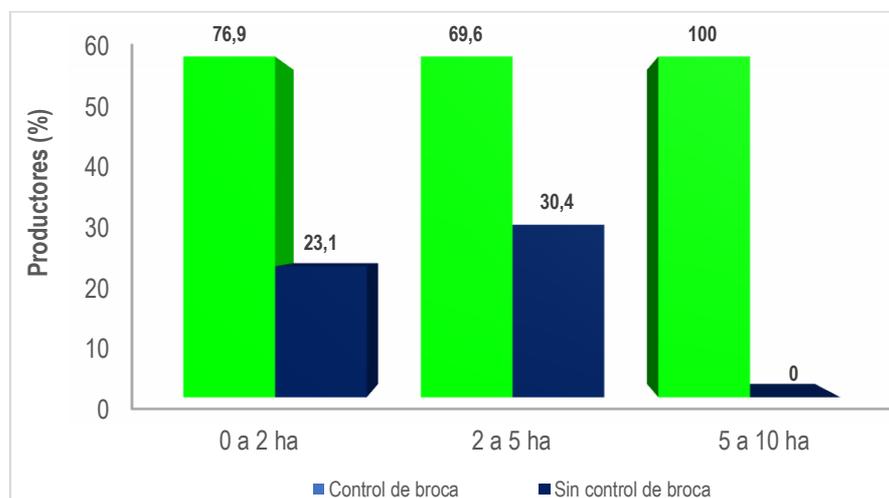
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.16. Control de la Broca del café (*Hypothenemus hampei*)

En la Figura 22 se muestra la plaga más dañina para el cultivo del café en la parroquia de Zumba es la broca (*Hypothenemus hampei*), los productores han podido reducir su impacto mediante controles manuales como la raspa, que consiste en recoger todos los granos de café que quedan al final de la cosecha para evitar la reproducción de la broca y el ataque a la cosecha del año siguiente. Como resultado, un 76,9 % de los pequeños productores realizan esta práctica, los medianos en un 69,6 % y en tanto que todos los grandes agricultores realizan el control de la plaga.

Figura 22.

Control de la broca del café.



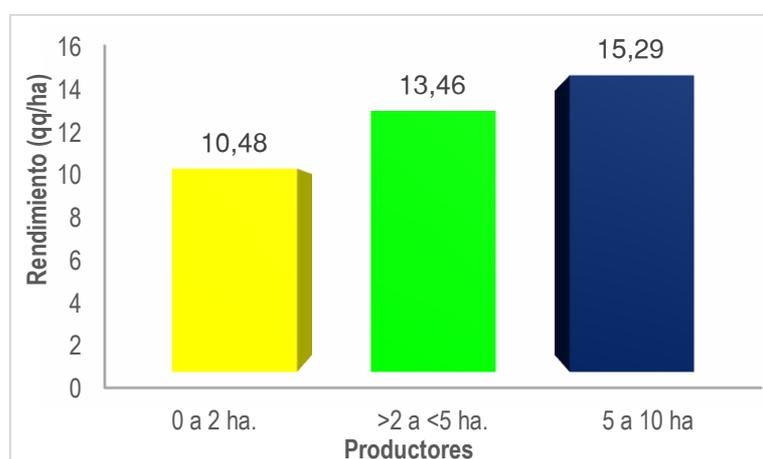
Fuente: (El autor, 2022).

6.1.17. Cosecha y postcosecha

Aplicando todas las técnicas de manejo del cultivo de acuerdo con el área de producción que tienen los parroquianos de Zumba, se descubrieron los siguientes rendimientos de café por hectárea: los pequeños productores (0 a 2 ha), quienes representan el 51 % de todos los encuestados, obtuvieron un promedio rendimiento de café de 10,48 qq/ha para el año 2021. Los productores medianos (2 y 5 ha), que representan el 45 % de todos los productores, tienen un rendimiento de 13,46 qq/ha al año, mientras que los productores grandes (5 a 10 ha) que representan el 4 % de todos los productores. lograron un rendimiento de 15,29 qq/ha para el año 2021 (Figura 23).

Figura 23.

Producción de café en qq/ha.



Fuente: (El autor, 2022).

6.2. Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo para fincas con cultivo de café orgánico.

6.2.1. Características morfológicas, físicas y químicas del suelo en el sistema agroforestal con café de la finca El Pino del sector Rancho Carmen.

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

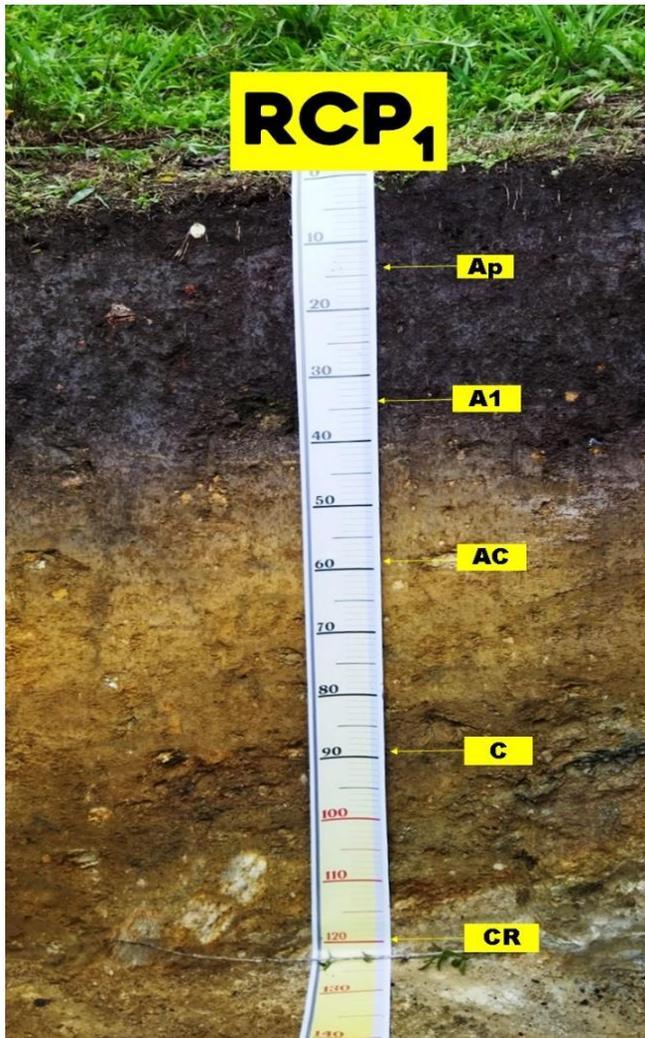
Tabla 5.

Características morfológicas del sector de estudio.

Clasificación Taxonómica: Entic Humudepts (USDA, 2014).	
Ubicación del perfil	9 459 180 m y 17M 711 540 m S.
Altitud	1 800 m s.n.m.
Fisiografía	Pendiente alta (50 %) de relieve tipo Loma.
Material Parental	Esquisto, cuarcita y migmatitas.
Drenaje interno	Muy bueno
Sistema agroforestal	Café arábigo variedad criolla, guaba y plátano.

Figura 24.

Perfil del suelo de la Finca El Pino del sector Rancho Carmen.



Fuente: (El autor, 2022).

Descripción general del perfil.

Suelo poco profundo menor a 90 cm, constituido por cinco horizontes genéticos. La capa Ap posee buen drenaje con textura franca al tacto y abundantes raíces; El horizonte denominado A1 de 20 cm tiene textura franco-arenosa y buena presencia de raíces, con pocos fragmentos rocosos de grava. El horizonte AC de 25 con textura franco-arcillosa al tacto, sin presencia de fragmentos rocosos. El horizonte C tiene de 30 cm y un color amarillento rojizo producto de lixiviación de la arcilla y de la oxidación del hierro. El horizonte CR de 30 cm aún no está bien desarrollado, es franco arenoso y no posee poros ni fragmentos rocosos.

Descripción individual de los horizontes o capas RCP1.

Ap 00 – 15 cm, contiene una capa orgánica, de color marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), con abundantes raíces, muy finas, finas y gruesas. De textura franca al tacto y estructura de grado moderada

A1 15 – 35 cm, presenta un color marrón grisáceo muy oscuro (2,5 Y 3/2) en húmedo; franco arenoso al tacto; bloques subangulares, medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, plástico, muy friable; poros finos y muy finos; raíces, finas y medias; sin reacción al HCl diluido.

AC 35 – 60 cm, posee dos colores de amarillo-marrón a marrón aceituna (10YR 6/8 y 2,5 Y 4/3) en húmedo, sin manchas de color, textura franca arcillosa al tacto, estructura masiva con poca presencia de raíces, Ligeramente adherente y friable en húmedo; muy pocos cutanes y muy finos; pocos poros y muy finos; sin fragmentos rocosos.

C 60 – 90 cm, tiene color amarillo aceituna (2,5 Y 6/6) en húmedo; franco arcillo arenoso al tacto; de estructura; ligeramente adherente, de cohesión ligeramente dura, sin cutanes; sin presencia de poros, raíces muy pocas, muy pocos fragmentos rocosos de tamaño grava y forma angular de 5 cm (cuarzos); sin reacción al HCl diluido.

CR 90 – 120 cm, muestra un color amarillo aceituna (2,5 Y 6/6) en húmedo, sin manchas de color, textura franca arenosa al tacto, no posee estructura, si adhesividad ni plasticidad, muy friable, no se encuentran cutanes ni poros, sin reacción al HCl diluido. Horizonte en proceso de meteorización.

Características físicas del perfil RCP1.

El perfil RCP1, la textura determinada en el laboratorio va de franco a franco arcillo arenoso; así, el horizonte Ap de textura franca, la capa A1 con un porcentaje mayor de arena (Arena= 76 %, Limo= 16,64 % y Arcilla= 8,36 %); El AC presenta una acumulación de arcilla (26,32 % de arcilla); El horizonte C y CR presentan texturas similares.

En la tabla 6, el valor de la densidad aparente en el horizonte Ap, es de 1,08 g.cm⁻³, la misma que se encuentra dentro del rango de valores promedio que es de 0,89-1,59 g.cm⁻³ para suelos de textura Fo, incluyendo a los valores, que corresponde a suelos de textura franco-arcillosa (0,63 – 1,83 g.cm⁻³), en los horizontes restantes.

La capacidad de campo a pF 2,52 es baja (23,3 %) para el primer horizonte ya que el promedio para suelos Fo va de 35,77 a 67,37 %; en tanto que el Punto de Marchitez Permanente se encuentra en el rango moderado del promedio referencial (12,4 %).

El porcentaje de agua aprovechable para el primer horizonte se encuentra en el rango bajo con un valor de 8,29 ya que se considera un rango de 11,44 a 38,57 %.

Respectivamente el Volumen de Suelo Físicamente Inerte (VSFI) es 88,62 %, valor muy elevado, el volumen de poros efectivos es de 23,87 %, y, la capacidad de aireación es

de 1,82 %. Por lo que las condiciones físicas para el crecimiento de las plantas en la capa superficial se ubican dentro de la zona I calificada como Pobre.

Tabla 6.

Características físicas del perfil RCP1.

Horizontes	Profundidad cm	Da (g.cm ⁻³)	Porosidad Total % θv pF 0	CC % θv pF 2,52	PMP % θvpF 4,20
Ap	0-15	1,08	59,5	23,3	12,4
A1	15-35	1,29	46,4	21	11,1
AC	35-60	1,58	45,2	29,8	17
C	60-90	1,57	42,2	23,7	11,8

Fuente: (El autor, 2022).

Características químicas.

Tabla 7.

Características químicas del suelo.

pH	MO %	Ca ⁺⁺ meq/100g	Mg ⁺⁺	K	N	P	Mn	Fe ⁺⁺⁺	Cu	Zn	S	B
4,7	9,4	1,31	0,59	0,07	120	19	18,45	930	44,8	7,5	8,27	0,49

Fuente: (INIAP, 2022).

En la tabla 7 el suelo presenta un pH fuertemente ácido, con alto contenido de materia orgánica, con bajo porcentaje de saturación de bases (25, 8 %) , mientras que la suma de bases es de 2,1 meq/100 g; en cuanto al calcio y el magnesio se encuentran en un rango medio (Ca=1,31 meq/100 g; Mg=0,59 meq/100 g), en el caso del N=120 ppm , Zn=7,5 ppm, Cu=4,8 ppm, Fe=938 ppm y Mn=18,45 se hallan en alto valor, en tanto que el P=19 ppm está en valor medio, lo contrario sucede con el S=8,27 ppm, están en baja proporción. En lo referente a la relación de cationes del suelo se encuentra en Ca/Mg=2,24; Mg/K=7,84 y (Ca+Mg) /K= 25,41. El Al se encuentra alto en un 4,94, con una CIC= 8,3 meq/100 g y Aluminio intercambiable alto de 7,28 ppm.

6.2.2. Características morfológicas, físicas y químicas del suelo en el sistema agroforestal de la finca Altavista del sector La Cordillera.

Tabla 8.

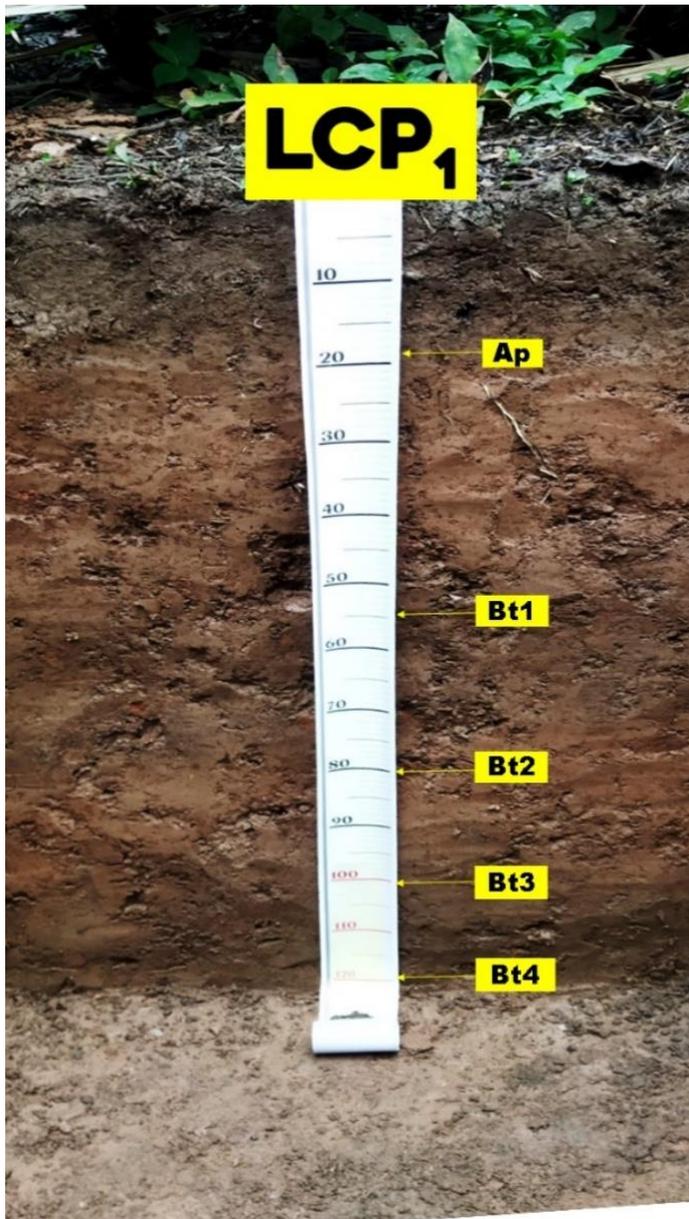
Características morfológicas del sector de estudio.

Clasificación Taxonómica:	Ustic Kandihumults (USDA, 2014).
Ubicación del perfil:	9 462 016 m y 17M 708 835 m S.
Altitud:	1 404 m s.n.m.
Fisiografía:	Pendiente de 25 % con relieve tipo vertiente cresta
Material Parental:	Rocas metamórficas.
Drenaje interno:	Pobre.
Sistema agroforestal	Café, cítricos, guanábana, guaba, guineo, papaya, cacao.

Fuente: (El autor, 2022).

Figura 25.

Perfil del suelo de la finca Altavista del sector La Cordillera.



Fuente: (El autor, 2022).

Descripción general del perfil.

Es un suelo viejo con los horizontes genéticos: Ap con espesor de 18 cm, sin manchas, textura arcillo limosa, El horizonte Bt1 no posee manchas, presenta textura arcillosa al tacto y microporos, sin fragmentos rocosos. El tercer horizonte Bt2 tiene textura arcillosa, no contiene fragmentos rocosos. El horizonte Bt3 tiene un espesor de 20 cm con textura arcillo limosa al tacto, sin manchas de color, sin fragmentos rocosos. El horizonte BC se encuentra desde los 100 hasta los 120 cm, con textura arcillosa sin presencia de manchas, muy adhesivo y plástico en húmedo, con pocos cutanes y poros finos, no presenta fragmentos rocosos.

Descripción individual de los horizontes o capas LCP1.

Ap 00 – 18 cm Capa de 18 cm de espesor, color marrón oscuro (7,5 YR 3/3), con abundantes raíces, muy finas, finas y gruesas. Arcillo limoso al tacto, se observan bloques subangulares de tamaño medio, muy adherente y plástico y friable, con pocos poros muy finos y pocos fragmentos rocosos de tamaño grava y forma redondeada, no existen manchas de color.

Bt1 18 – 55 cm Color rojo amarillento (5 YR 4/6) en húmedo; arcilloso al tacto; bloques angulares, de tamaño medio; muy adherente y plástico en húmedo, de cohesión friable; muchos microporos y cutanes; abundantes raíces, finas y medias; sin reacción al HCl diluido; no hay presencia de fragmentos rocosos ni manchas de color.

Bt2 55 – 80 cm Presenta un color marrón oscuro (5 YR 4/3) en húmedo, sin manchas de color; arcilloso al tacto; bloques prismáticos de tamaño grueso, fuertemente desarrollados; muy adherente y plástico, muy firme en húmedo; muchos cutanes muy delgados y microporos muy finos; muy pocas raíces, finas; no existen fragmentos rocosos, sin reacción al HCl diluido.

Bt3 80 – 100 cm Se observa un color marrón rojizo (5 YR 4/4) en húmedo; muy arcilloso al tacto; bloques columnares a angular de tamaño gruesos, fuertemente desarrollados; muy adherente, plástico y firme en húmedo; muchos cutanes en caras y poros de los agregados; muchos poros finos; muy pocas raíces; sin reacción al HCl diluido; no hay presencia de manchas de color ni fragmentos rocosos.

BC 100 -120 cm Color marrón rojizo oscuro (5 YR 3/4) en húmedo, sin manchas de color; arcillo limoso al tacto; sin estructura masivo; muy adherente, plástico y firme en húmedo; pocos poros finos; sin raíces; sin reacción al HCl diluido; no existen fragmentos rocosos del tamaño de grava.

Características físicas del perfil LCP1.

El perfil LCP1, es un suelo netamente de textura Franco arcillo arenosa; el horizonte Ap lleva un contenido de (Arena=40 %, Limo=32,63 % y Arcilla=32,36 %); Con respecto Bt1, Bt2, Bt3 presenta una gran acumulación de arcilla representando texturas similares.

La Tabla 9, muestra las características físicas del perfil, con densidad aparente (D_a) del primer horizonte 1 g.cm^{-3} , que coincide entre rangos de $0,63 - 1,83 \text{ g.cm}^{-3}$ para suelos de textura Ac.

La capacidad de campo a pF 2,52 es muy baja (22,7 %) para el primer horizonte debido al promedio para suelos Ao va de 50 a 67 %; en tanto que el Punto de Marchitez Permanente se encuentra en el rango bueno por encima del promedio referencial (37,2).

El porcentaje de agua aprovechable para el primer horizonte se encuentra en el rango bajo con un valor de 1,35 ya que se considera un rango de 11,44 a 38,57 %.

Respectivamente el Volumen de Suelo Físicamente Inerte (VSFI) es 87,56 %, valor muy elevado, el volumen de poros efectivos es de 10,92 %, y, la capacidad de aireación es de 1,95.

Tabla 9.

Características físicas del perfil LCP1.

Horizontes	Profundidad cm	Da (g.cm ⁻³)	Porosidad Total % $\theta_{vpF 0}$	Capacidad de Campo % $\theta_{vpF 2,52}$	Punto de Marchitez % $\theta_{vpF 4,20}$
Ap	0-15	1	55,5	37,2	22,7
Bt1	15-35	1,25	52,7	43,4	31,6
Bt2	35-60	1,23	51,8	43,5	31,7
Bt3	60-90	1,20	53	43,8	32,6
BC	90-120	1,22	48,1	38,6	25,7

Fuente: (El autor, 2022).

Características químicas.

Tabla 10.

Características químicas del perfil LCP1.

pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K	N	P	Mn	Fe ⁺⁺⁺	Cu	Zn	S	B
	meq/100 g						Ppm				
5,64	17,07	3,73	0,41	121	10	30,29	4,73	7,5	10,6	17,22	0,41

Fuente: (El autor, 2022).

El valor de pH es medianamente ácido, con gran contenido de materia orgánica. La saturación de bases es de 22,2 meq/100 g, es un suelo completamente saturado, con gran contenido de macronutrientes como el N=121 ppm, K=0,41 ppm, Ca=17,07 meq/100 g y Mg=3,73 meq/100 g, en desigualdad con el P=10 ppm que se sitúa en bajo rango. En cuanto a los micronutrientes el S=17,22 ppm, presenta valores medios, el B=0,41 ppm es de bajo nivel y el Z=10,6 ppm, Cu=7,5 ppm y Mn=30,29 ppm son abundantes. Con respecto a la relación de cationes del suelo el Ca/Mg=4,57, Mg/K=9,03 y (Ca+Mg)/K= 0,32 con Al H⁺ Medio de 0,87.

6.3. Plan de fertilización del suelo para cada finca caracterizada, dedicada al cultivo de café orgánico.

6.3.1. Fertilización del suelo para el sistema agroforestal de la finca El Pino del sector Rancho Carmen.

El pH del suelo de la finca el pino es de 4,7 fuertemente ácido; es decir; no se encuentra en el rango óptimo para el cultivo de café. En la Tabla 11 se muestra el cálculo de la CICE del suelo, donde se usó la relación de 1 meq 100 g⁻¹ de Aluminio para 0,5 meq 100 g⁻¹ de calcio, para neutralizar el aluminio intercambiable.

Tabla 11.*Cálculo de la CICE del suelo de la finca El Pino.*

B. Intercambiables	Meq.100 g⁻¹	Meq.100 g⁻¹	Total
Ca ⁺⁺	1,35	2,47	3,82
Mg ⁺⁺	0,61	0,66	1,27
K ⁺	0,08	0,09	0,17
Na ⁺	0,09		0,09
Al ⁺⁺⁺ +H ⁺	7,28		
Al ⁺⁺⁺	4,94		
CICE1	7,07	CICE2	5,36

Fuente: (El autor, 2022).

Según la Tabla 3, si la relación está entre 7,5 y 15 se debe agregar Ca, para suplir este elemento se agregó kieserita. En la Tabla 12 se calculó la relación de cationes del Ca Mg⁻¹ en el rango adecuado.

Tabla 12.*Enmienda y relación de cationes del suelo de la finca El Pino.*

SB	Enmienda				Relación de cationes			
	Antes	Después	R. óptimo		Antes	Agregar	Después	R. óptimo
Ca	19,09	71,29	(65 -75%)	Ca/Mg	2,21	Ca	3,00	(2,6 -8)
Mg	8,63	23,77	(15 - 20%)	Mg/K	7,63	Mg	7,28	(7,5-15)
K	1,13	3,27	(3 - 7%)	Ca+Mg/K	24,50	Ca-Mg	29,11	(27,5-55)

Fuente: (INIAP, 2022).

Para satisfacer los requerimientos del cultivo de café se aplicará las siguientes dosis: N:100; P:60; K:100; Mg:30; S:75; Zn:3 B:5; Cu:1.5 kg.ha⁻¹ (Peñaloza, 2021), para el sector de estudio y se utilizarán los fertilizantes propuestos en la Tabla 13.

Tabla 13.*Fertilizantes recomendados para el cultivo de café en producción.*

Fertilizantes	Kg.ha⁻¹	g.planta⁻¹
Cal Dolomita	3 730,91	390
KIESERITA	491,37	196,55
BONANZA	625,00	250,00
Bórax	45,45	18,18

Fuente: (El autor, 2022).

En la Tabla 14 se muestra la cantidad en Kg ha⁻¹ y g pl⁻¹ de fertilizantes utilizados en la enmienda.

Tabla 14.*Plan de fertilización en kg y g de elementos por planta para cafetales en producción.*

Elementos	N	P	K	Kg.ha⁻¹				g.planta⁻¹							
				Ca	Mg	S	B	N	P	K	Ca	Mg	S	B	
Cal Dolomita				1334	135					533	54				
KIESERITA					80	98					32	39			
BONANZA	100	62	100			12		40	25	40			5		
Borax							5								2
Total	100	62	100	1334	215	110	5	40	25	40	533	86	44	2	

Fuente: (El autor, 2022).

6.3.2. Fertilización del suelo para el sistema agroforestal de la finca Altavista del sector La Cordillera.

La finca Altavista con un pH de suelo de 5,64, se encuentra en el rango ideal para el cultivo del café, si bien esto significa que no es necesaria encalar, es importante tener en cuenta que la relación entre los cationes este en equilibrio, así mismo posee aluminio intercambia igual a 0,55 meq.100 g⁻¹ por lo que se hace necesario aplicar material encalante.

Tabla 15

Cálculo de la CICE del suelo del sector La Cordillera.

B. Intercambiables	meq 100 g ⁻¹	meq 100 g ⁻¹	Total
Ca ⁺⁺	17,79	0,83	18,62
Mg ⁺⁺	3,90	0,08	3,98
K ⁺	0,42	0,08	0,50
Na ⁺	0,11		0,11
Al ⁺⁺⁺⁺ H ⁺	0,87		
Al ⁺⁺⁺	0,55		
CICE1	22,77	CICE2	23,21

Fuente: (El autor, 2022).

Al realizar la relación de cationes el rango adecuado, según la Tabla 3.

Tabla 16.

Enmienda y relación de cationes suelo del sector La Cordillera.

SB	Enmienda				Relación de cationes			
	Antes	Después	R. óptimo		Antes	Agregar	Después	R. óptimo
Ca	78,13	80,21	(65 -75%)	Ca Mg ⁻¹	4,56	Ca	4,68	(2,6 -8)
Mg	17,13	17,16	(15 - 20%)	Mg K ⁻¹	9,29	Mg	7,96	(7,5-15)
K	1,84	2,15	(3 - 7%)	Ca+Mg K ⁻¹	51,64	Ca-Mg	45,19	(27,5-55)

Fuente: (El autor, 2022).

En el área de estudio se utilizarán las siguientes dosis para cumplir con los requerimientos del cultivo de café en etapa de desarrollo: N:100, P:60, K:100, Mg:30, S:75, Zn:3, B:5, y Cu: 1,5 kg.ha⁻¹(Peñaloza, 2021).

Tabla 17.

Fertilizantes recomendados para el cultivo de café.

Elementos	Kg.ha ⁻¹	g.planta ⁻¹
Cal Agrícola	1145,83	17,30
Kieserita	150,00	45,00
BIOABOR BBO	4745,33	1423,60
Bórax	45,45	13,64

Fuente: (El autor, 2022).

La cal agrícola y la kieserita se aplicarán dos meses antes de la aplicación de la primera fertilización.

El plan de fertilización se realiza de acuerdo con la temporada del Sector va de octubre del 2022 a julio del 2023. La aplicación de los fertilizantes se realizará en los cuatro puntos cardinales de cada planta. Para el cultivo de café, se recomienda aplicar los abonos orgánicos

como es el bórax y el BIOABOR BBO en dos o tres aplicaciones dependiendo de la época de lluvias (Tabla 18).

Tabla 18.

Plan de fertilización en kg y g de elementos por planta para cafetales en producción.

Elementos	N	P	K	Kg pl ⁻¹					g pl ⁻¹									
				Ca	Mg	S	Zn	B	Mn	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	B	Mn
Cal Agrícola				412								124						
KIESERITA					24	30							7	9				
BIOABOR BBO	77	60	126	166	47		2,4	0,5	2,8	23	18	38	50	14		0,7	0,15	0,8
Bórax									5								1,5	
Total	77	60	126	578	71	30	2,4	5,5	2,8	23	18	38	174	21	9	0,7	1,6	0,8

Fuente: (El autor, 2022).

7. Discusión

7.1. Tipificación de las fincas dedicadas al cultivo de café (*Coffea arabica* L.), situadas en la parroquia Zumba, cantón Chinchipe.

La economía ecuatoriana se caracteriza por proveer productos agrícolas al mercado internacional al mismo tiempo que importa bienes y servicios con mayor valor agregado (Mejía y Wladimir, 2014). Ante esta circunstancia, se ha diseñado una encuesta a varios productores de la asociación ACRIM con el fin de recabar información pertinente sobre la tecnología de producción que utilizan y los rendimientos de café por hectárea que logran. En la recolección de información se estableció una división según la tenencia de unidades productivas agropecuarias (UPA) por productor. Según Instituto nacional de estadísticas (2013), una UPA es una superficie de terreno de 500 m² o más que se utiliza total o principalmente para la producción agrícola y se considera una unidad económica.

La asociación ACRIM, presenta tres tipos de productores, clasificados según la superficie de terreno, los que poseen de 0 a 2 ha, dedican el 53,8 % de sus tierras a la siembra de productos agrícolas, estos afirman que el 80 % de sus ingresos económicos provienen del cultivo de café, los trabajadores de 2 a 5 ha ocupan el 34,8 % de terreno para cultivar, obteniendo el 60,9 % de recursos de la comercialización y los que tienen de 5 a 10 ha dedican el 100 % tanto a labores agrícolas como ganaderas, adquiriendo el 50 % de sus bienes de la venta de café y el 50 % de la ganadería, colocando al cantón Chinchipe como un territorio dedicado en su mayoría a la agricultura, esto lo respalda el Banco Mundial (2008), quien afirma que el 80 % de los pobres del mundo que viven en áreas rurales, son beneficiados principalmente en el trabajo agrícola que ayuda a reducir la pobreza, aumentar los ingresos y mejorar la seguridad alimentaria.

Otro factor importante para los productores es la existencia de plantaciones forestales, el 65,4 % es ocupado por bosque en territorios que van de 0 a 2 ha, en áreas de 2 a 5 ha se ocupa el 8,7 % y los que tienen superficies entre 5 a 10 ha, no poseen bosque primario, los pequeños productores no ocupan el 100 % de sus tierras debido a costosos factores de inversión, aspectos similares explica Dávila (2017), como la alta demanda de bienes, que apuntan a un aumento en el precio de los productos utilizados para proteger los cultivos, precios de fertilizantes, fungicidas, insecticidas y estimulantes que aumentaron su valor, además, el costo del seguro, envío, descarga y otros costos que aumentan antes de que llegue al consumidor, son factores que limitan el poder de inversión para producir en el campo.

El principal producto que ofrece la asociación ACRIM es el café, sembrando variedades como Caturra, Bourbon y Criollo en un 50 % por moradores con extensiones de tierra (5 a 10 ha) y el 50 % restante por Pache, Nestlé y Típica mejorado, en áreas menos extensas que van de 2 a 5 ha se siembra Catimor y Caturra en un 35 % y Catimor en un 27 % en superficies de entre 0 a 2 ha, estos resultados son similares a los de Guevara et al. (2018), quienes describen la variedad arábica y robusta como principales especies de café representativas en el Ecuador, también el estudio realizado por Delgado et al. (2002) que estiman que a partir del año 2000 el café arábico (Catimor, caturra y típica mejorada) representarían una superficie de 55 000 ha en la región amazónica y de está 4 000 se encuentran en la provincia de Zamora Chinchipe. Calderón y Guambi (2014), menciona que el 90 % de los cafetales sembrados en el Ecuador son de variedad arábica debido a sus características morfológicas que son cruciales para el crecimiento y el desempeño económico de la industria.

En cuanto a las distancias de siembra para café la más usada es de 1,5 x 1,5 m y de 1,75 x 2 m, estos resultados coinciden con la teoría que argumenta que el espaciamiento promedio es de 1,5 x 1,0 m; 2,25 x 1,5 m y 3,0 x 2,0 m, para densidades de 6 666; 2 923 y 1 666 plantas/ha (Arcila P. et al., 2007). En estudios realizados por Valencia & Arciniegas (2016) alcanzo una mayor producción con 10 000 pl/ha. El distanciamiento entre plantas y surcos en el cultivo de café es grande a causa del gran impacto que tiene en la productividad y los costos de producción (López et al., 2015).

La dimensión de hoyos o ahoyado es la apertura en el suelo cuyo objetivo es proporcionar el entorno adecuado para la correcta colocación o tamizado de la nueva planta (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2009), los dimensionamientos más usados en ACRIM estuvieron entre: 20 x 20 x 20 cm (50 %) y 30 x 30 x 30 cm (50 %), estos resultados coinciden con López et al. (2016) quien establece dimensiones variables que van desde 30 x 30 x 30 cm, 40x40x40 cm hasta 50x50x50 cm, tamaños que varían según las condiciones del suelo (textura, grado de compacidad), así como la necesidad de aplicar más o menos material orgánico, para suelos francos, se aconsejan dimensiones más pequeñas de ahoyado, mientras que para suelos arcillosos y arenosos sean grandes. También son similares a los de Meneses et al. (2021) afirma que en Honduras, las dimensiones del hoyo suelen oscilar entre 25 x 25 x 25 cm (grosor, largo y profundidad) y 40 x 40 x 40 cm, con muy buenos resultados productivos.

Por otra parte, el uso de sombra en el cultivo de café cobra gran importancia ya que en el 88 % de productores con superficies de (0 a 2 ha) realizan está práctica, un 96 % de los

que poseen de 2 a 5 ha y en su totalidad los que tienen de 5 a 10 ha, estos resultados concuerdan con López et al. (2016), quienes sostienen que la sombra es un elemento crucial a lo largo de la etapa de desarrollo del cultivo en el campo, debido a que el crecimiento de las plantas se ve facilitado por la presencia de sombra, que las protege del daño directo de los rayos del sol y el viento. Valencia y Robledo (2009) contradice estos resultados, ellos sostienen que una distribución inadecuada de los árboles en el campo puede resultar en niveles de sombra superiores al 50 %, que son restrictivos para la producción de café. un nivel adecuado de sombra depende principalmente de la ubicación, la cantidad de radiación solar anual (cobertura de nubes o nubosidad) y las necesidades del cultivo. Estivariz (1997) citado en Villarreyna (2016) encontró que el rendimiento de frutos en el café disminuye en un 41 % bajo sombra con porcentaje de 40 a 60 % de cobertura en comparación a una cobertura menor al 20 %, esto debido a variaciones del clima, plagas y enfermedades.

El encalado de suelos es una práctica que ayuda a neutralizar el aluminio tóxico en los cultivos de café, por tanto el agregar calcio y magnesio es necesario para mejora el uso de fertilizantes químicos al aumentar el pH (INTAGRI, 2019). Según las encuestas, productores aplican cal en 26,9 %, 68 % y 50 % de los casos, Al respecto, López et al. (2018) demostraron la limitada eficacia de los fertilizantes aplicados a suelos con problemas de acidez y el impacto que tiene la fertilización rica en nitrógeno en el crecimiento de la acidez. Por su parte Girón (2018), argumenta que los cultivos generados por las enmiendas de suelo aumentan su productividad, el pH del suelo, controlan la toxicidad del aluminio, hierro y manganeso, existe gran disponibilidad del fósforo y mayor aprovechamiento de nutrientes por parte de las raíces, aumenta considerablemente el contenido de calcio y magnesio, al mismo tiempo que mejora la actividad microbiana y logra reducir la actividad de hongos patógenos del suelo, incrementando el proceso de nitrificación y mineralización de la materia orgánica.

Los moradores del cantón Chinchipe al aplicar todas las técnicas de manejo de cultivo en la variedad arábica obtiene rendimientos de 0,47 t.ha⁻¹, 0,61 t.ha⁻¹ y 0,69 t.ha⁻¹, resultados son menores a los obtenidos por Asociación Nacional del Café (2019) que describe un rendimiento en Guatemala de 2,90 t.ha⁻¹ para variedad Caturra, Catuai 3,58 t.ha⁻¹, Pache 2,20 t.ha⁻¹ y también a los logrados por López et al. (2016) cuyas variedades que tuvieron mayor producción alrededor de 5 años fueron Catuai (23,8 kg/pl), y Caturra (22.6 kg/pl), esto se explica a las diferencias de alturas, iluminación, acondicionamiento y manejo agronómico del cultivo.

7.2. Caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo para dos fincas con cultivo de café de orgánico para la Asociación ACRIM.

La textura presente en la finca el pino va de un suelo franco en los primeros 15 cm de superficie a franco arcilloso a los 60 cm, Romero y Camilo (2019) afirma que la planta de café desarrolla un raíz principal que alcanza profundidades entre 50 y 60 cm, el tipo de suelo para cultivar café es de clase textural franca, resultados que difieren en el sector la cordillera que presenta una textura arcillo limosa en el primer horizonte arcillo que cambia a arcillosa a partir de los 55 cm , suelo que no coincide con López et al. (2021) que sostiene como mejores suelos cafetaleros a texturas franca con gran contenido de materia orgánica y 1 m de profundidad,

El sistema agroforestal de la finca el pino, cuenta con un pH de 4,7 este resultado según Ibarra et al. (2009) no es apropiado y está clasificado como fuertemente ácido. El pH ideal para los suelos agrícolas normalmente debe oscilar entre 6,5 y 7,0 para lograr los mejores resultados y el más alto nivel de productividad. Uno de los obstáculos para la producción de café en varias regiones es la acidez, dado que en suelos ácidos, limita el crecimiento del sistema radicular, absorción de agua y nutrientes y, como resultado, las plantas producen menos (Sadeghian, 2021). Así mismo YARA (2018) coincide, que el pH adecuado para el pleno desarrollo del cultivo de café es de 5,2 a 6,3 pero en la práctica se cultiva a un pH de 4,0 o por encima de 8,0. El encalado es necesario a niveles bajos de pH para asegurar una buena disponibilidad de nutrientes. Resultados diferentes se presentan en el suelo de la finca AltaVista con un pH de 5,64 ubicado por Ibarra et al. (2009), como moderadamente ácido, a pesar ser un suelo menos ácido en contraste con la finca el pino no logra ser apto para el pleno desarrollo de los cultivos.

La diferencia de pH de fuertemente ácido a moderadamente según FAO (2016) se debe a las altas precipitaciones, tipo de textura de suelo y la sustitución del Ca y Mg por elementos abrasivos como el aluminio y el hierro, de igual manera con el uso de fertilizantes en exceso y la oxidación de la materia orgánica.

Cuando el pH del suelo está por debajo de 5,5, el problema de la acidez se acentúa. La acidez intercambiable es superior a 1 Cmol (+)/L de suelo, la suma base CIC (calcio, magnesio y potasio) es inferior a 5 Cmol (+)/L de suelo y la saturación de acidez es superior al 19 % .

En cuanto a la suma de bases en la finca el pino es de 2,1 meq/ 100 g, Enríquez y Duicela (2014), sostiene que el rango optimo es de 15 a 30 cmol/kg, en este caso se debe agregar K, Ca y Mg. Garrido (1994) coincide en que la baja saturación de bases se debe a la poca retención de nutrientes por parte del suelo. Así mismo, FAO (2023) argumenta que los

suelos con baja CIC son pobres en materia orgánica y tienen poca capacidad de retención de nutrientes.

Aristizabál (1987) demostró en un estudio que los parámetros para un adecuado desarrollo del café son pH de 5,0 a 6,5 con porcentaje de materia orgánica de 0,6 en adelante, con 0,35 a 0,006 meq/100 g de K, de 2,1 a 0,5 meq/100 g de Ca, relación K: Ca:Mg es de 1:6:2, con textura Franca y profundidad radicular mayor a 40 cm.

El contenido de Ca en el suelo es medio (1,31 meq/100 g) en el sistema agroforestal del sector Rancho Carmen, en estudios de Castro (2017) se evaluó la relación entre la fertilidad de K, Ca y Mg del suelo y su impacto nutricional en los cultivares de hoja de café en Ultisoles se investigó durante dos años en 26 fincas de cafetería en la región de Costa Rica, demostrando que las hojas de las parcelas de alta productividad contenían más Ca que las hojas de las parcelas de baja productividad. Además, la relación de Ca/K y Ca/N en estos ejemplos fueron relativamente bajas, Esto respalda la importancia del Ca en la productividad del café sobre los Ultisoles. De acuerdo con Rosas et al. (2008) en su estudio se mostró gran influencia en el aroma del café con niveles adecuados de Ca. En conclusión, las semillas de café cultivadas con un manejo balanceado de nutrientes tuvieron un impacto en las características físicas del grano y las cualidades sensoriales de la bebida.

La relación de cationes está fuera de los niveles óptimos de café Ca/Mg=2,24; Mg/K=7,84 y (Ca+Mg) /K= 25,41. De acuerdo con Caicedo et al. (2018) mantener una adecuada proporción de cationes es fundamental para asegurar una buena nutrición de las plantas. La proporción ideal de Ca:Mg:K en el suelo debe ser 2:1:0,3 (60 % Ca, 30 % Mg, 10 % K). Se ha observado que la relación catiónica es flexible, pero cuanto más grande es el desequilibrio, más probable es que provoque síntomas de deficiencias que afecten el rendimiento del cultivo, ya que el exceso de un catión impide la absorción de otro. Por otro lado Marín (2008), menciona que la relación ideal es Ca:Mg:K (6:2:1); 2,4 cmol.kg⁻¹ , 0,8 cmol.kg⁻¹ de Mg y 0,4 cmol.kg⁻¹ de K).

7.3. Plan de fertilización del suelo para fincas dedicadas al cultivo de café orgánico.

Antes de comprar y agregar cualquier programa de fertilización al café, es vital realizar un análisis de suelo, para establecer un diagnóstico y posterior a eso un plan de fertilización preciso e identificar los factores que restringen el crecimiento y la producción de la planta (Khalajabadi, 2017). Los requerimientos nutricionales para el cultivo de café según Marín (2008), son N=560 kg.ha⁻¹, P=52 kg.ha⁻¹, de K=240 kg.ha⁻¹ y de Ca= 60 kg.ha⁻¹; sin embargo se tomó como referencia trabajos realizados sobre la evaluación biológica realizados por Villamagua et al. (2021) en suelos similares de la Amazonía donde se aplica el siguiente requerimiento N:100; P:60; K:100; S:75; Zn:3; B:5; Cu:1.5; Mg:30; kg.ha⁻¹, el contenido de

macro y microelementos en la finca el pino presenta deficiencias nutricionales es tal el caso del N=120 ppm , Zn=7,5 ppm, Cu=4,8 ppm, Fe=938 ppm y Mn=1 que se presentan en rangos medios y el B=0,49 ppm y el K=0,07 en bajo contenido, similar a la propiedades químicas de la finca Altavista.

En la parroquia Zumba hubo buenos resultados en el rendimiento del café, aumento del pH y reducción de la acidez del suelo, resultados similares a los obtenidos por Guayanay (2021) en la provincia de Loja, al aplicar dosis de 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de CaCO₃, lo que evolucionó el pH de 5,6 a 6,2; redujo la acidez, aluminio intercambiable crecimiento medio de CIC pasó y el porcentaje de saturación, con contenidos altos de N, P, S, K, Ca, Mg, Cu, Zn y B y bajos valor de mientras el Fe y Mn.

8. Conclusiones

- Los productores de la asociación ACRIM se ubican en UPAs de (0 a 2; 2 a 5 y 5 a 10 ha), clasificados como pequeños, medianos y grandes productores respectivamente. En sus tierras cultivan principalmente café (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales con guaba, laricaro, plátano, cítricos y laurel; entre un 50 y 80 %, con respecto a otros cultivos como el cacao y el plátano. Al utilizar un nivel de tecnología tradicional los agricultores obtienen un rendimiento bajo del cultivo de café por hectárea de: 0,47, 0,61 y 0,69 t.ha⁻¹. para los pequeños, medianos y grandes productores.
- La finca El Pino ubicada en el sector Rancho Carmen posee una pendiente alta, es un suelo de bien drenaje con textura que va Fo a FaAo, en los primeros 15 cm del suelo y un Volumen de suelo físicamente Inerte de 81,20 %, su pH es fuerte mente ácido, con contenido medio de macro y micronutrientes, además, la relación de cationes esta fuera de los niveles óptimos para el cultivo de café.
- La finca Altavista ubicada en el sector La Cordillera posee una pendiente media su textura es franco arcillo arenosa con drenaje pobre, su volumen de suelo físicamente inerte es de 90,23 %, cuenta con un pH Moderadamente ácido con niveles medios de macro y micronutrientes.
- La neutralización de la acidez se realizó con la relación 1 meq de Al igual a 0,5 meq de Ca para los dos tipos de suelos. El plan de fertilidad para el cultivo de café se estableció tomando como referencia los trabajos de evaluación biológica realizados en suelos.
- Para la relación de cationes óptima del cultivo de café se escogió la Kieserita (491,37 kg.ha⁻¹) y Cal Dolomítica (3 730,91 kg.ha⁻¹), y para el plan de fertilidad se tomó los fertilizantes como el Bioabor y Bonanza.

9. Recomendaciones

- Como recomendación final, se debe tratar los suelos ácidos no aptos para el buen rendimiento de café con óxido de magnesio (MgO), carbonato de calcio (CaCO_3) o cal dolomítica $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.
- El uso de cal agrícola se debe emplear unos dos meses antes de aplicar el plan de fertilización para ayudar a neutralizar la acidez del suelo, lo que favorece el desarrollo de las plantas.
- Se realicen parcelas de experimentación con aplicación de diferentes niveles de cal para determinar las dosis óptimas en función del material parental, las propiedades físicas de los suelos y las diferentes variedades.

10. Bibliografía

- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 3(5), 55-60.
- Agrocode. (2019, octubre 20). El cultivo del café, ¿cómo mejorar el enraizamiento y el desarrollo de los plántones? <https://agrocode.com/blog/2019/10/20/el-cultivo-del-cafe-como-mejorar-el-enraizamiento-y-el-desarrollo-de-los-plantones/>
- Altamirano, J. (2022). Manual del cultivo de café en el VRAEM (Primera). Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. <https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/1625/1/Manual%20del%20cultivo%20de%20caf%C3%A9%20en%20el%20VRAEM.pdf>
- Amores Puyutaxi, F. M., Duicela Guambi, L., Corral, R., Guerrero Castillo, H. E., Vasco Medina, S. A., Motato, N., Solórzano Larrea, G. R., Zambrano A., L., Aveiga Z., T., & Guedes C., R. (2004). Variedades mejoradas de café arábigo una contribución para el desarrollo de la caficultura en el Ecuador. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1582>
- Angelone, S., & Garibay, M. (2020). Propiedades índice plasticidad. https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Propiedades%20indice%20-%20Plasticidad%20-%202020_6%20ed%20Rev1.pdf
- Aragón, H. A. G., Martínez, J. J. S., & Amador, C. Á. (2020). Manejo y características de los suelos agrícolas de colonia Providencia, Nueva Guinea, 2017. *Revista Universitaria del Caribe*, 24(01), Article 01. <https://doi.org/10.5377/ruc.v24i01.9913>
- Arboleda, C. A. G., Botero, J. C. B., Mejía, J. C. R., Orrego, H. D., & Bustamante, Á. L. G. (s. F.). Roberto vélez vallejo.
- Arcila P., J., Farfan V., F. F., Moreno B., A. M., Salazar G., L. F., & Hincapie G., E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/720>
- Aristizabál, G. (1987). Interpretación de análisis de suelo para Café. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/717/7/7%20Interpretaci%C3%B3n%20an%C3%A1lisis%20suelos%20caf%C3%A9.pdf>
- Asociación Nacional del Café. (2019). *Guía-de-variedades-Anacafé.pdf* (Segunda). <https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ada-de-variedades-Anacaf%C3%A9.pdf>
- Asqui, C. (2020). Efecto de enclado en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) Var. Imilla negra en un suelo ácido del CIP. Camacani—Puno. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3278650>

- Banco central del Ecuador. (2021). Reporte de Coyuntura Sector Agropecuario. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/publicacionesnotas/Catalogo/Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc202102.pdf>
- Banco Mundial. (2008). Agricultura para el desarrollo (Primera). Mayol Ediciones S.A. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/747041468315832028/pdf/414550SPANISH0101OFFICIAL0USE0ONLY1.pdf>
- Bazán, J. (2015). Textura en los suelos. Desertificación de suelos. [Http://desertificacionsuelos.blogspot.com/2015/02/influencia-de-la-textura.html](http://desertificacionsuelos.blogspot.com/2015/02/influencia-de-la-textura.html)
- Bertsch, F. (2009). Absorción De Nutrimientos Por Los Cultivos. <https://doku.pub/documents/absorcion-de-nutrimientos-por-los-cultivos-2009pdf-d0nxknmjglz>
- Caicedo, C., Buitrón, L., Díaz, A., Velástegui, F., Yáñez, C., & Cuasapaz, P. (2018). Primer Congreso Internacional Alternativas Tecnológicas para la Producción Agropecuaria Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana (Primera). <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5461/1/doc3.pdf>
- Calderón, A. A. C., Cruz, Y. M., & Cárdenas, J. V. M. (2013). La fertilidad de los suelos y su importancia en el empleo de bioproductos en la provincia de sancti spíritus. 34(2), 23.
- Calva, C., & Espinosa, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. Siembra, 4(1), 001-011.
- Capa Mora, E. D. (2015). Efecto de la fertilización orgánica y mineral en las propiedades del suelo, la emisión de los principales gases de efecto invernadero y en las diferentes fases fenológicas del cultivo de café (Coffea arabica L.) [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?Codigo=118133>
- Castellanos, J., Cueto, J., Macías, J., Tapia, L., Cortés, J., González, J., Mata, H., Mora, M., Vásquez, A., Valenzuela, C., & Enríquez, S. (2005). La fertilización en lo cultivos de maíz, sorgo y trigo en México. https://www.intagri.com/public_files/Manual%20de%20fertilizacion.pdf
- Castillo, C. (2005). Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca cusamá el tuma - la dalia matagalpa [Nicaragua]. <https://repositorio.una.edu.ni/1094/1/tnp35c352.pdf>
- Castro, S. (2017). El calcio es un nutriente limitante en cafetales bajo manejo intensivo de fertilizantes en Ultisoles. Agronomía Costarricense, 41(1), 105-119.
- Chávez, R., Salarzar, D., Orejuela, D., Cuichán, M., Suárez, M., & Villafuerte, W. (2012). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2012.

- https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2012/informeejecutivo.pdf
- Colonia, L. (2012). Manejo integrado del plagas en el cultivo de café. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/011-k-cafe.pdf>
- Cremona, M. V., & Enriquez, A. S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El ph y la conductividad eléctrica. 73, 4.
- Dávila, J. L. H. (2017). Cláusula de cesión de derechos de publicación de tesis. 94.
- Delgado, P., Larco, A., García, C., & Álcivar, R. (2002). Informe de Terminación de Proyecto Manejo Integrado de la Broca del Café. 77.
- Delgado, P., Larco, A., García, C., Alcívar, R., & Chilán, W. (2002). Informe de Terminación de Proyecto Manejo Integrado de la Broca del Café. 77.
- Dorronsoro. (s. F.). EDAFOLOGIA. Lección 4. Textura del suelo. Recuperado 18 de diciembre de 2022, de <http://www.edafologia.net/introeda/tema04/text.htm>
- Enríquez, G., & Duicela, L. (2014). Guía técnica para la producción y pos cosecha de café.
- Erraez, R. M. M., & Manosalva, C. V. (2018). Impacto de la fertilización mineral y enmiendas sobre Gmelina arborea y Schizolobium parahyba en suelos andesíticos de la Amazonía Ecuatoriana.
- Espinosa, J., Moreno, J., & Gustavo, B. (2022). Suelos del Ecuador clasificación uso y manejo (Primera).
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos (Cuarta). <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- FAO. (2016). Acidificación del suelo. <https://www.fao.org/3/i6467s/i6467s.pdf>
- FAO. (2023). Propiedades Químicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Farfán, F., & Baute, J. (2020). La fertilización mineral como complemento a la fertilización con abono orgánico en el cultivo del café. Revista Cenicafé, 71(1), Article 1. <https://doi.org/10.38141/10778/1119>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, B. (Colombia). (2009). Trazado, ahoyado y trasplante. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia - FEDECAFE. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18705>
- Fondo para la protección del agua. (2010). Abonos orgánicos protegen el suelo y garantizan alimentación. https://issuu.com/frederys1712doc/docs/abonos_org__nicos_-_protegen_el_sue

- Gacitúa, E., & Martínez, J. (2022). Importancia de la fertilidad del suelo en la producción agropecuaria. 291, 26.
- GAD-Chinchipe. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de chinchipe. https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1960000460001_PDYOT%20CHINCHIPE_13-04-2016_11-39-19.pdf
- García, F., Rucks, L., Kaplán, A., Ponce, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdf>
- García, L. (2017). Metodologías de campo para determinar profundidad, densidad aparente, materia orgánica, infiltración del agua, textura y ph en el suelo. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf>
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.
- Garrido, L., & Chulia, E. (2020). La ocupación en el sector agrario: Trayectoria y actualidad. <https://www.funcas.es/wp-content/uploads/2020/09/Luis-Garrido-y-Elisa-Chuli%C3%A1.pdf>
- Garrido, S. (1994). Interpretación de análisis de suelos (Vol. 5). https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
- Girón, J. (2018). Enmiendas de suelo en café. <https://www.anacafe.org/uploads/file/5cd916d3b6d7447db8a009ccb36d201d/Boletin-Tecnico-CEDICAFE-2018-04.pdf>
- GLOBE.(2005).F7bf6f08-2779-4250-ae41-74e61c1fca38.pdf. <https://www.globe.gov/documents/16257217/17240639/Protocolo+de+Temperatura+del+Suelo/f7bf6f08-2779-4250-ae41-74e61c1fca38>
- Guayanay, M. (2021). Evolución de la acidez en un ultisol a la aplicación de cal y respuesta en el desarrollo vegetativo del cultivo de café (*coffea arabica* L.), en pueblo nuevo del cantón Loja [Universidad nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/browse?Type=author&value=Guayanay+Castillo%20C+Marvin+Gabriel>
- Guerrero Castillo, H. E., Duicela Guambi, L., Amores Puyutaxi, F. M., Corral, R., & Zambrano Mendoza, J. L. (2004). Selección y difusión de variedades de café arábico (*coffea arabica* L.) Adaptadas a los principales agrosistemas cafetalero del Ecuador. Curso: Producción de semillas de café arábigo. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1733>

- Guevara Albán, G. P., Guevara Albán, C. S., & Verdesoto Arguello, A. E. (2018a). Redes Informáticas aplicadas a la Educación. RECIMUNDO, 24-44. [https://doi.org/10.26820/recimundo/2.\(2\).2018.24-44](https://doi.org/10.26820/recimundo/2.(2).2018.24-44)
- Guevara Albán, G. P., Guevara Albán, C. S., & Verdesoto Arguello, A. E. (2018b). Redes Informáticas aplicadas a la Educación. RECIMUNDO, 24-44. [https://doi.org/10.26820/recimundo/2.\(2\).2018.24-44](https://doi.org/10.26820/recimundo/2.(2).2018.24-44)
- Hernández, A. (2016). Sistemas de riego para el control de la floración. http://www.platicar.go.cr/images/buscador/fichas-tecnicas/CAFE/06_SISTEMAS_DE_RIEGO.pdf
- Herrera, S., & Antonio, I. (1993). Manual del cultivo del café. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1619>
- Holguin, G. (2019). Comportamiento morfológico del café (*Coffea arabica* L.) Sarchimor 4260 en etapa de crecimiento con fertilizantes químicos y orgánicos. <https://1library.co/document/qvv33v0q-comportamiento-morfologico-arabica-sarchimor-crecimiento-fertilizantes-quimicos-organicos.html>
- Ibáñez, J. (2007, abril 24). Acidez y alcalinidad (ph) o reacción del suelo. Curso de Diagnóstico de Suelos en Campo (Régulo León Arteta)—Un Universo invisible bajo nuestros pies. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/24/64266>
- Ibáñez, J. (2010). Profundidad efectiva y Capacidades de Uso del Suelo. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/03/14/61286>
- Ibarra Castillo, D., Ruiz Corral, J. A., González Eguiarte, D. R., Flores Garnica, J. G., & Díaz Padilla, G. (2009). Distribución espacial del ph de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura técnica en México*, 35(3), 267-276.
- Instituto nacional de estadísticas. (2013). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua 2013 síntesis metodológica. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac%202013/Sintesis_metodologicaespa c2013.pdf
- INTAGRI. (2019). ¿Por qué encalar los suelos ácidos cafetaleros? | Intagri S.C. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/por-que-encalar-los-suelos-acidos-cafetaleros>
- Jaramillo, J. (2002). La Consistencia del Suelo.pdf. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/La%20Consistencia%20del%20Suelo.pdf>
- Jáuregui, M. De L. F., Menez, M. R. M., Solorio, C. A. O., & Reynoso, D. S. F. (2018). Influencia de los factores formadores en las propiedades de los suelos en la Mixteca, Oaxaca,

- México. Revista terra latinoamericana, 36(3), Article 3.
<https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.259>
- Juca, L. C., Aguirre, P. U., & Vivanco, N. A. (2021). Ecuador: Análisis económico del desarrollo del sector agropecuario e industrial en el periodo 2000-2018. Revista Científica y Tecnológica UPSE, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.26423/rctu.v8i1.547>
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. Idesia (Arica), 24(1), 49-61. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Khalajabadi, S. (2017). Síntomas visuales de deficiencias nutricionales en café Diagnóstico y manejo (Sandra Milena Marín López). <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0478.pdf>
- Konijnenburg, A. (2006). Agricultura Orgánica.El Suelo: Sus componentes -físicos. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_material_didactico_2006_no_1.pdf
- López Báez, W., Castro Mendoza, I., Salinas Cruz, E., Reynoso Santos, R., & López Martínez, J. (2017). Propiedades de los suelos cafetaleros en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(3), 607-618. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.320>
- López, D., Gallegos, A., Palma, D., Martínez, G., Barragán, M., Hernández, G., & Bautista, F. (2021). Selección de tierras para el cultivo de café en zonas con información escasa: Análisis espacial del territorio y conocimiento local. 8(1). <https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2419>
- López, E., Chocooj, M., Macz, O., Carrillo, V., & Solis, E. (2015). Densidades de Siembra por Área de Producción en Café (41.^a ed., p. 24). <https://www.anacafe.org/uploads/file/97d4875bcd2643a28419e1d2e67f1693/El-Cafetal-08.pdf>
- López, J., Rodríguez, M., Barrera, C., Makepeace, D., & Guzmán, J. (2016). Manual técnico para la producción de café robusta (Primera). <https://www.anacafe.org/uploads/file/283f6fd107ef4ce38af855880c47c49d/Manual-Cafe-Robusta.pdf>
- López, W., Urbina, L., Reynoso, R., & Martínez, J. (2018). Efectos del encalado en suelo ácido cultivado con café (*coffea arabica* L.) En la reserva de la biósfera el triunfo, chiapas, méxico. 11(4), 6.
- López-García, F. J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz-Castillo, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*coffea arabica* l.) En veracruz, méxico. Revista Fitotecnia Mexicana, 39(3), 297-304.

- Lucio-Paredes, J. J. P., Legarda, D., Vivero, M. B., Bayas, E., Caisapanta, G., Robayo, M., Sagnay, C., Simbaña, R., & Yáñez, D. (2021). Ministro de producción, comercio exterior, inversiones y pesca (Séptima). <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/07/vfboletincomercioexteriorjul20921.pdf>
- MAG. (s. F.). Proyecto de Reactivación de la Caficultura tiene gran impacto social y ecológico en Sucumbíos – Ministerio de Agricultura y Ganadería. Recuperado 6 de julio de 2023, de <https://www.agricultura.gob.ec/proyecto-de-reactivacion-de-la-caficultura-tiene-gran-impacto-social-y-ecologico-en-sucumbios/>
- MAG. (2015). La política agropecuaria ecuatoriana. [Http://www2.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/03-06PPP2015-POLITICA03.pdf](http://www2.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/03-06PPP2015-POLITICA03.pdf)
- Marín, C. (2012). Producción de cafés especiales. Manual técnico (Primera). Desco; Pdf. [Http://infocafes.com/portal/biblioteca/produccion-de-cafes-especiales-manual-tecnico/](http://infocafes.com/portal/biblioteca/produccion-de-cafes-especiales-manual-tecnico/)
- Marín, S. (Ed.). (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. 32, 45.
- Mejía, A., & Wladimir, I. (2014). Análisis estadístico de las exportaciones del sector agrícola ecuatoriano para la determinación de potenciales productos y sus perspectivas actuales de exportación. [Http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/10846](http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/10846)
- Meneses, N., Ordoñez, M., Morales, Y., Napoleón, O., Pineda, J., Jiménez, G., Allan, L., Trejos, A., Lizardo, C., Palma, M., Oseguera, F., Hernández, J., & Ruiz, J. (2021). Manual Técnico para una Caficultura Sostenible y Productiva by Cesar Maradiaga— Issuu. https://issuu.com/cesarmaradiaga2/docs/pdf_manual_tcnico_para_una_caficultura_sostenible
- Mengel, K., & Kyrkby, E. (2000). Principios de Nutrición Vegetal (Cuarta). https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf
- Mera Cedeño, Á. F. (2022). Respuesta agronómica a un plan de fertilización del cultivo de café (Coffea) en el sector Sacha Wiwa, parroquia Guasaganda, cantón La Maná. [bachelorthesis, Ecuador: La Mana: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. [Http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8596](http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8596)
- Moc. (2022). Menos-enfermedades-y-plagas.pdf. <https://mocca.org/wp-content/uploads/2021/08/menos-enfermedades-y-plagas.pdf>
- MOCCA. (2022). Inicio. MOCCA. <https://mocca.org/wp-content/uploads/2021/08/menos-enfermedades-y-plagas.pdf>
- Monge, L. (1999). Manejo de la nutrición y fertilización del cultivo del café orgánico en Costa Rica. 17.

- Moreira, D., & Castro, C. (2016). Suelos vivos y sanos. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3016/BVE17068934e.pdf?Sequence=1&isallowed=y>
- Morocho, J., & Ortega, L. F. (2019). Plan de negocios para la producción y comercialización de macerado de frutas con esencia a café de la Asociación Agropecuaria-Artesanal de Productores Orgánicos Cuencas del Río Mayo, ACRIM; de la parroquia Zumba, cantón Chinchipe, provincia de Zamora Chinchipe [bachelorthesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11411>
- Navarro, G., & Navarro, S. (2003). Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas (Segunda). Mundiprensa. <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484766568/quimica-agricola--quimica-del-suelo-y-de-los-nutrientes-esenciales-para-las-plantas>
- Ontaneda, M. (2016). “La sustitución de las importaciones en el sector Agrícola – Primario de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, 2016.” [bachelorthesis, ciencias administrativas facultad:ingeniería en comercio exterior, integración y ADUANAS]. <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/20501>
- Ortez, O., & Zavala, S. (2014). Efecto de enclamiento y fertilización en dos suelos con cultivo de café, Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua.
- Ortiz-Solorio, C. A., & Gutiérrez-Castorena, E. V. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos (Segunda). <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Spanish-Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>
- Osorio, N. W. (2012). Ph del suelo y disponibilidad de nutrientes. 1(4), 4.
- Padilla, W. (2007). Fertilización de suelos (Cuarta).
- PDOT-CHINCHIPE. (2020). Pdot-Chinchipe. <http://gadchinchipe.gob.ec/DOCUMENTOS/pdyot-CHINCHIPE.pdf>
- Peñaloza, S. L. (2022). Evaluación biológica de fertilidad del suelo en el sector Cucanamá Alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba [bachelorthesis, Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/24489>
- Peralta, S. L. P., Aguilar, H. R., Azuero, E., & Sisalema, L. (2018). Aporte del sector agropecuario a la economía del Ecuador. Análisis crítico de su evolución en el período de dolarización. Años 2000 – 2016. 39(32). <https://www.revistaespacios.com/a18v39n32/a18v39n32p07.pdf>
- Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., Mauro, F., Montes, A., & Esther, M. (2011). Sistemas_de_produccion_vegetal_II (Primera). Espacio Gráfico Comunicaciones S.A.

https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4781/sistemas_de_produccion_vegetal_2.pdf

PROCAFE. (2007). Manejo Integrado de la Broca-Promecafe. <https://agritrop.cirad.fr/543114/1/Manejo%20Integrado%20de%20la%20Broca-Promecafe.pdf>

Ramírez, F. D. (2010). Cultivo del café. Grupo Latino Editores.

Ramos Vásquez, E., & Zúñiga Dávila, D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y ph del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 123-130.

Rendon S., J. R., & Sadeghian K., S. (2018). Aplicación de índices espectrales para identificar necesidades de fertilización nitrogenada en café. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1088>

Rodríguez, D., González, A., Martínez, L., & Ballesteros, M. (Eds.). (2020). MANUAL DE EVALUACIÓN DE SUELOS. <https://www.smcsmx.org/files/concurso/2020/Manual3CMES2020.pdf>

Rojo, E. (2014). *Café I (G. Coffea)*. 20. Pdf.

Romero, J. (Ed.). (2019). Manual de producción sostenible de café. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8726/BVE20037756e.pdf?Sequence=1>

Romero, J., & Camilo, J. (Eds.). (2019). Manual de producción sostenible de café. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8726/BVE20037756e.pdf?Sequence=1>

Rosas Arellano, J., Escamilla, E., & Ruiz Rosado, O. (2008). Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latinoamericana*, 26(4), 375-384.

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de león, J., & Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>

Sadeghian K., S. (2004). Efecto de la fertilización con nitrógeno fósforo potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/273>

Sadeghian, S. (2010). La materia orgánica: Componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. *Cenicafé*. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0018>

Sadeghian, S. (2021). Acidez del suelo para el cultivo de café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3.^a ed., pp. 95-99). *Cenicafé*. https://doi.org/10.38141/10791/0014_6

Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo, una limitante común para producción de café. 12.

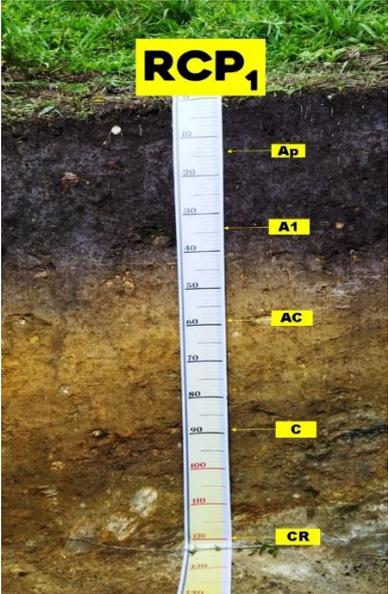
- Sánchez, S. V., Bueno, D. O., & Jara, P. P. (2018). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 2(2), 72-91.
- Santelices, M. (2019). Propuesta para crear una identidad cafetera en Las Tolas, a partir de la capacitación de la comunidad en la plantación de café y sus productos elaborados [bachelorthesis, Quito]. [Http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/8231](http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/8231)
- Santos, D., Wilson, M., & Ostinelli, M. (Eds.). (2017). Metodología de muestreo de suelo y ensayos de campo (Segunda). Inta. [Https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_metod_muestreo_suelo_y_ensayo_a_cam po.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_metod_muestreo_suelo_y_ensayo_a_cam po.pdf)
- Schaffer, M., Mendenhall, & L, O. (1987). Elementos de muestreo schaffer (p. 321). Iberoamérica. [Https://issuu.com/hectorm.delossantos-posadas/docs/elementos_de_muestreo_-_schaffer_et](https://issuu.com/hectorm.delossantos-posadas/docs/elementos_de_muestreo_-_schaffer_et)
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal El significado de la porosidad del suelo. [Https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s00.htm#Contents](https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s00.htm#Contents)
- Sistema de la integración centroamericana. (2022). Situación del Café en Centroamérica [Blog]. SICA. [Https://www.sica.int/iniciativas/cafe](https://www.sica.int/iniciativas/cafe)
- Socialización del anteproyecto de titulación en la Asociación Agropecuaria Artesanal de Productores Orgánicos Cuencas Del Río Mayo (ACRIM). (2021). [Oral]. JPG.
- Trauco, F. (2020). El suelo y su composición. [Https://quizizz.com/admin/quiz/608197f3ba1669001bffdb06/el-suelo-y-su-composicion](https://quizizz.com/admin/quiz/608197f3ba1669001bffdb06/el-suelo-y-su-composicion)
- Urriola, L. (2020). ¿Por qué estudiar las propiedades físicas del suelo? *Revista Semilla del Este*, 1(1), Article 1.
- USDA. (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. [Https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ada%20para%20la%20Evaluaci%C3%b3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ada%20para%20la%20Evaluaci%C3%b3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf)
- Valencia, F. F., & Arciniegas, P. M. S. (2016). Densidad de siembra del café variedad castillo® en sistemas agroforestales, en el departamento de santander-colombia.
- Valencia, F. F., & Robledo, Á. J. (2009). Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región (Sandra Milena Marín López). [Https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0379.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0379.pdf)
- Vargas, R. (2009). Guía para la descripción de suelos (Cuarta). [Https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf](https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf)

- Velásquez. (2019). Guía variedades de café (Segunda). <https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ada-de-variedades-Anacaf%C3%A9.pdf>
- Vignola, V., Watler, W., Poveda, P., & Vargas, A. (2018). Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de café en costa rica. [Http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8206.pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8206.pdf)
- Villamagua, M. A., Castillo, M. G. G., Sarango, R. Del C. R., Vásquez, E., Manosalvas, C. A. V., & Erraez, R. M. M. (2021). Efecto del encalado sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del cafeto (*Coffea arabica* L.) En Pueblo Nuevo, cantón Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 11(1), Article 1.
- Villanueva, J., Gómez, D., Sullca, M., Solis, R., & Carmona, E. (2020). Manual de café (Primera). https://issuu.com/alexvillanueva07/docs/manual_de_cafe_final
- Villarreyna, R. (2016). Efecto de los árboles de sombra sobre el rendimiento de los cafetos, basado en perfiles de daño. https://agritrop.cirad.fr/582061/1/Reporte%203_Sombra%20y%20rendimientos%20de%20caf%C3%A9.pdf
- YARA. (2018, febrero 7). Requerimientos de suelo y agua en café | Yara Ecuador. Yara None. <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/cafe/suelo-y-agua-para-cafe/>

11. Anexos

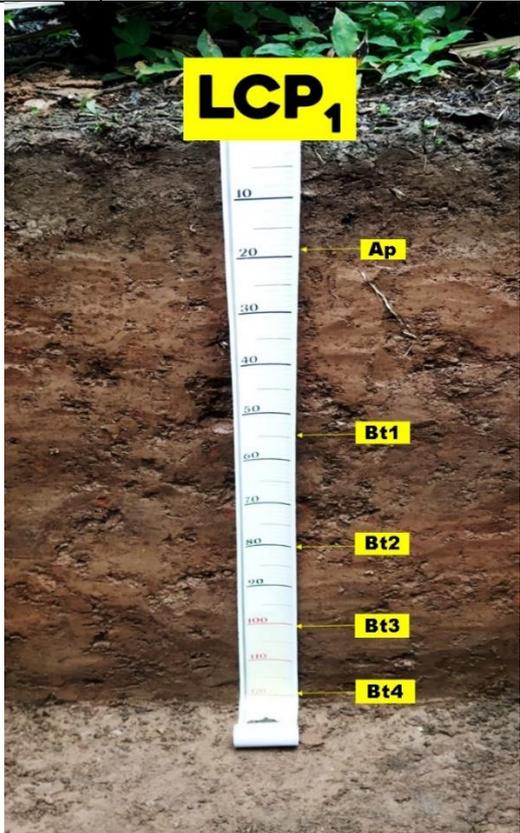
Anexo 1.

Ficha descriptiva de la finca El Pino del sector Rancho Carmen.

DESCRIPCIÓN GENERAL PERFIL RANCHO CARMEN					
Fecha	2021-10-15	Código	RCP ₁	Autores	Ing. Fernanda Livisaca Ing. Miguel Villamagua Pablo Abad
Coordenadas	17M 711 540 E		9 459 180 N		
Altitud (m s.n.m.)	1 788,70				
Localización Geográfica	Ubicación			Zumba, Zamora Chinchipe	
	Sitio			Rancho Carmen	
	Nombre del propietario			William Abad	
	Nombre de la finca			El Pino	
Pendiente	25 %				
Paisaje	Pie de monte		Tipo de relieve	Loma	
Forma del terreno	Pendiente media o espalda de ladera				
Uso actual o cobertura vegetal	Cultivo de café arábica L. variedad criolla con plátano de 5 años.				
Condiciones de humedad	Húmedo			Pedregosidad superficial	
Afloramientos rocosos	No %	Tipo		Material parental	Esquistos, cuarcitas y migmatita
Profundidad de la capa freática	Profundidad No cm		Fluctuación	No cm	
Presencia de Sales o Álcalis	Libre		Drenaje	Muy bueno	
Clasificación Taxonómica : <i>Entic Humudepts</i>					
<p>Descripción general del perfil</p> <p>El suelo de la finca el pino ubicado en el sector Rancho Carmen formado por esquistos, cuarcita y migmatitas es un suelo poco profundo con pendiente del 50 %. Presenta cinco horizontes o capas: el Ap con 15 cm, el A1 con 20 cm, el AC con 25 cm, el C con 30 cm y el Cr con 30 cm.</p>					

Anexo 2.

Descripción del perfil del sistema agroforestal de la finca Altavista sector La Cordillera.

DESCRIPCIÓN GENERAL PERFIL LA CORDILLERA					
Fecha	2021-10-15	Código	LCP ₁	Autores	Ing. Fernanda Livisaca
Coordenadas	17M 708 835 E		9 462 016 N		Ing. Miguel Villamagua Pablo Abad
Altitud (m s.n.m.)	1 408,60				Zumba, Zamora Chinchipe
Localización Geográfica	Ubicación				La Cordillera
	Sitio				Víctor Zárate
	Nombre del propietario				El Pino
	Nombre de la finca				
Pendiente	50 %				
Paisaje	Colina	Tipo de relieve		Vertiente cresta	
Forma del terreno	Ondulación				
Uso actual o cobertura vegetal	Sistema agroforestal de café adulto y nuevo, cítricos, guanábana, yarazos, guaba, guineo, papaya, cacao, entre otros.				
Condiciones de humedad	Húmedo		Pedregosidad superficial	0 %	
Afloramientos rocosos	<u>No</u> %	Tipo		Material parental	Esquistos, cuarcitas y magmatita
Profundidad de la capa freática	Profundidad <u>No</u>		Fluctuación	<u>No</u> cm	
Presencia de Sales o Alcalis	Libre		Drenaje	Pobre	
Clasificación Taxonómica : Ustic Kandihumults					
<p>Descripción general del perfil</p> <p>El suelo de la finca Altavista ubicada en el sector La Cordillera parroquia Zumba, formado por rocas metamórficas y pendiente del 25 %. Constituido por horizontes genéticos o capas: El Ap con 18 cm, El Bt1 con 37 cm, el Bt2 con 26 cm, el Bt3 con 20 cm y el Bc con 20 cm.</p>					

Anexo 3.

Visita de inspección del director de tesis.



Anexo 4.

Descripción del perfil de suelo en la finca El Pino.



Anexo 5.

Extracción de muestras de suelo.



Anexo 6.

Proceso de saturación de las muestras no disturbadas.



Anexo 7.

Determinación de propiedades físicas del suelo.



Anexo 8.

Análisis químico de macro y micronutrientes de la finca El Pino, sector Rancho Carmen.

MC-LASPA-



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

INFORME DE ENSAYO No: 22-0293

Análisis	Ph	N		P		S		B		K		Ca		Mg		Zn		Cu		Fe		Mn		Ca/Mg		Mg/K		Ca+Mg/K		Σ Bases	MO	CO.*		Textura (%)				IDENTIFICACIÓN
		ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	meq/100g	meq/100g	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural				
22-1110	4,7 M Ac	120 A	19 M	8,27 B	0,49 B	0,07 B	1,31 M	0,59 M	7,5 A	4,8 A	930 A	18,45 A	2,24	7,84	25,41	1,97	9,4	A																				William Abad Ramos Lote 1
Análisis	Al+H*	Al*	N a *		C.E. *		N. Total*		N-NO3 *		K H2 O*		P H2 O*		Cl*	pH KCl*	IDENTIFICACION																					
22-1110	7,28 A	4,28 A														3,93	William Abad Ramos Lote 1																					

Anexo 9.

Análisis químico de macro y micronutrientes de la finca Altavista sector La cordillera.

MC-LASPA-



INFORME DE ENSAYO No: 22-0294

Análisis	Ph		N		P		S		B		K		Ca		Mg		Zn		Cu		Fe		Mn		Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO	CO.*	Textura (%)				IDENTIFICACIÓN	
			ppm	A	ppm	B	ppm	M	ppm	A	ppm	A	meq/100g	A	meq/100g	A	meq/100g	A	ppm	A	ppm	A	ppm	A	ppm	A	ppm	A	meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla		Clase Textural
22-1111	5,64	Me Ac	121	A	10	B	17,22	M	0,41	B	0,41	A	17,07	A	3,73	A	10,6	A	7,5	A	476	A	30,29	A	4,57	9,03	50,32	21,22	8,5	A		13	34	53	ARCILLOSO	Víctor Hugo Zarate Lote 1
Análisis	Al+H*		Al*		N a *		C.E. *		N. Total*		N-NO3 *		K H2 O*		P H2 O*		Cl*		pH KCl*		IDENTIFICACION															
22-1111	0,87	M	0,55	M															4,9		Víctor Hugo Zarate Lote 1															

Anexo 10.

CIC de la finca El Pino, sector Rancho Carmen.

MC-LASPA-2201-01

	<p style="text-align: center;">INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua. Tifs. (02) 3007284 / (02)2504240</p>	
---	---	---

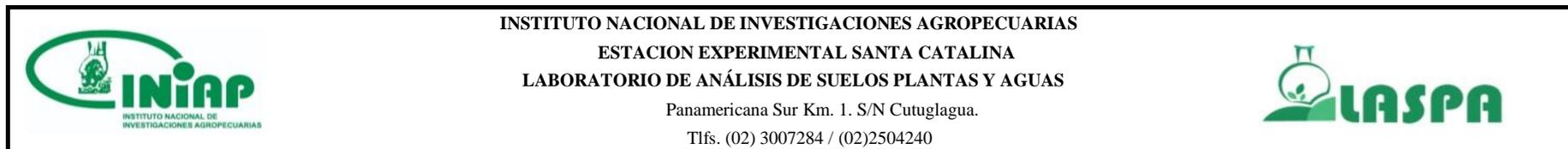
INFORME DE ENSAYO No: 22-0293

N° muestra	K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC	Identificación de la muestra
	meq/100 g suelo	(%)	meq/100 g suelo					
22-1110	0,08	1,35	0,61	0,09	2,1	25,8	8,3	William Abad Ramos Lote 1

Anexo 11.

CIC de la finca Altavista sector La Cordillera.

MC-LASPA-2201-01

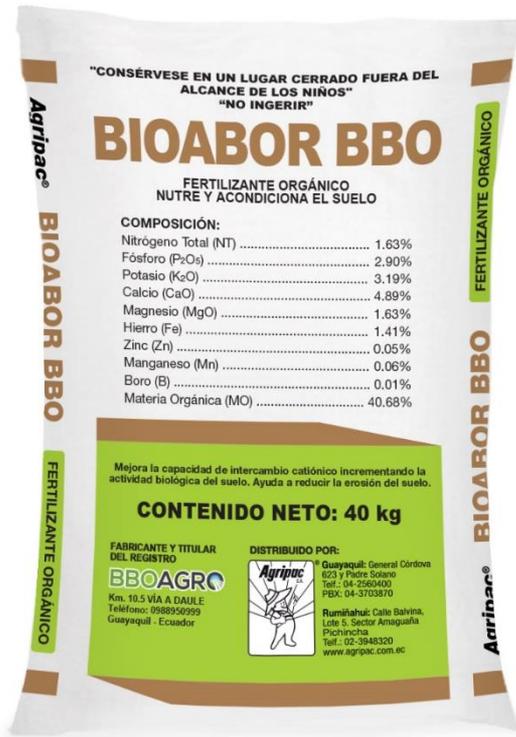


INFORME DE ENSAYO No: 22-0294

N° muestra	K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC	Identificación de la muestra
	meq/100 g suelo	(%)	meq/100 g suelo					
22-1111	0,42	17,79	3,9	0,11	22,2	SATURADO	18,2	Víctor Hugo Zarate Lote 1

Anexo 12.

Abonos usados en el plan de fertilización



Anexo 13.

Encuesta.

ENCUESTA



1. INFORMACION GENERAL

Nombre del Productor:

Barrio/Sector:

Tamaño de la finca: ha. Superficie de bosque: ha.

Coordenadas: X: Y: Z:

¿A que destino el uso de la tierra?

Uso agrícola () Uso ganadero () Ambos ()

2. PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Producto	Superficie (ha)	Variedad	Fecha de Siembra	Producción/Rendimiento		Destino
				Unidad medida	Detalle	
Café				Sacos año	Café bruto Café lavado	
Cacao				Sacos/año		
Plátano				Cabezas	Mca () Anual ()	
Yuca				Sacos	Mca () Anual ()	
Naranja				Cajas	Mca () Anual ()	
Maíz				Sacos por cosecha		
Caña de azúcar				Sacos de paja	Mca () Anual ()	
Frutales				Valorar en sacos		
Huerto				Valorar en sacos		

3. SISTEMA DE PRODUCCIÓN PARA EL CULTIVO DE CAFÉ

¿Cuál es la dimensión de hoyos?..... ¿Cuál es la densidad de siembra?.....

¿Usa sombra? ¿Qué árboles siembra? ¿Distancia de siembra? ¿Qué edad tiene?

Fertiliza el café: Sí () No () Realiza análisis de suelos: Sí () No ()

Tipo de fertilización: Orgánica () Convencional ()

Aplica Cal: Sí () No () Dosis:

¿Cómo realiza el manejo poscosecha y beneficio del café?

4. INSUMOS UTILIZADOS EN MANEJO DEL CULTIVO DE CAFÉ

Descripción	Nombre del producto y su origen (P Propio; C Comprado)	Cantidad	No. Aplicaciones	Época	Costo
Abonos Orgánicos					
Fertilizantes Edáficos					

Fertilizante Foliare					
Control de malezas					
Control de plagas					
Control de enfermedades					
Insumos no permitidos					

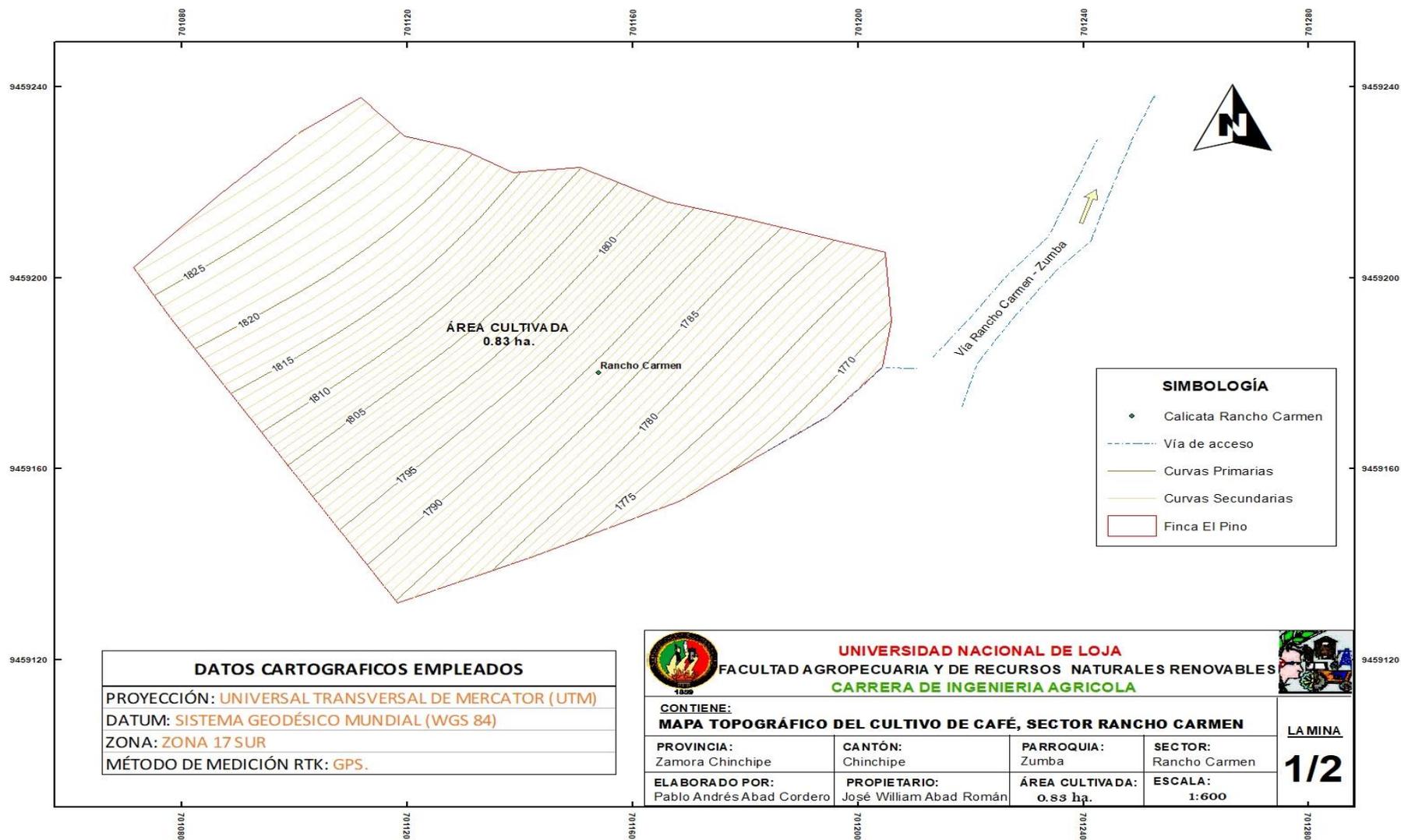
5. COSTO DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ POR Ha.

DESCRIPCIÓN	Nº APLICACIONES	Nº DE JORNALES	VALOR UNITARIO USD	COSTO TOTAL
MANO DE OBRA				
Realización del vivero				
Preparación del terreno				
Preparación de hoyos				
Siembra				
Control de malezas				
Aplicación de insumos				
Cosecha				
Pedas				
herramientas y EQUIPOS				
Machetes	Unidad	Alquiler Bala	CANTIDAD	VALOR UNITARIO USD COSTO TOTAL
Lampas				
Moto Guadalupe				
Despulpadora				
Motor para despulpadora				
Bomba para fumigar				
OTROS COSTOS				
Insumos	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO USD	COSTO TOTAL
Fertilizantes				
Pesticidas				
Marquesina				
Transporte				
Combustible				
Gastos extras				
COSTO TOTAL DE LA PRODUCCIÓN				

Observaciones:

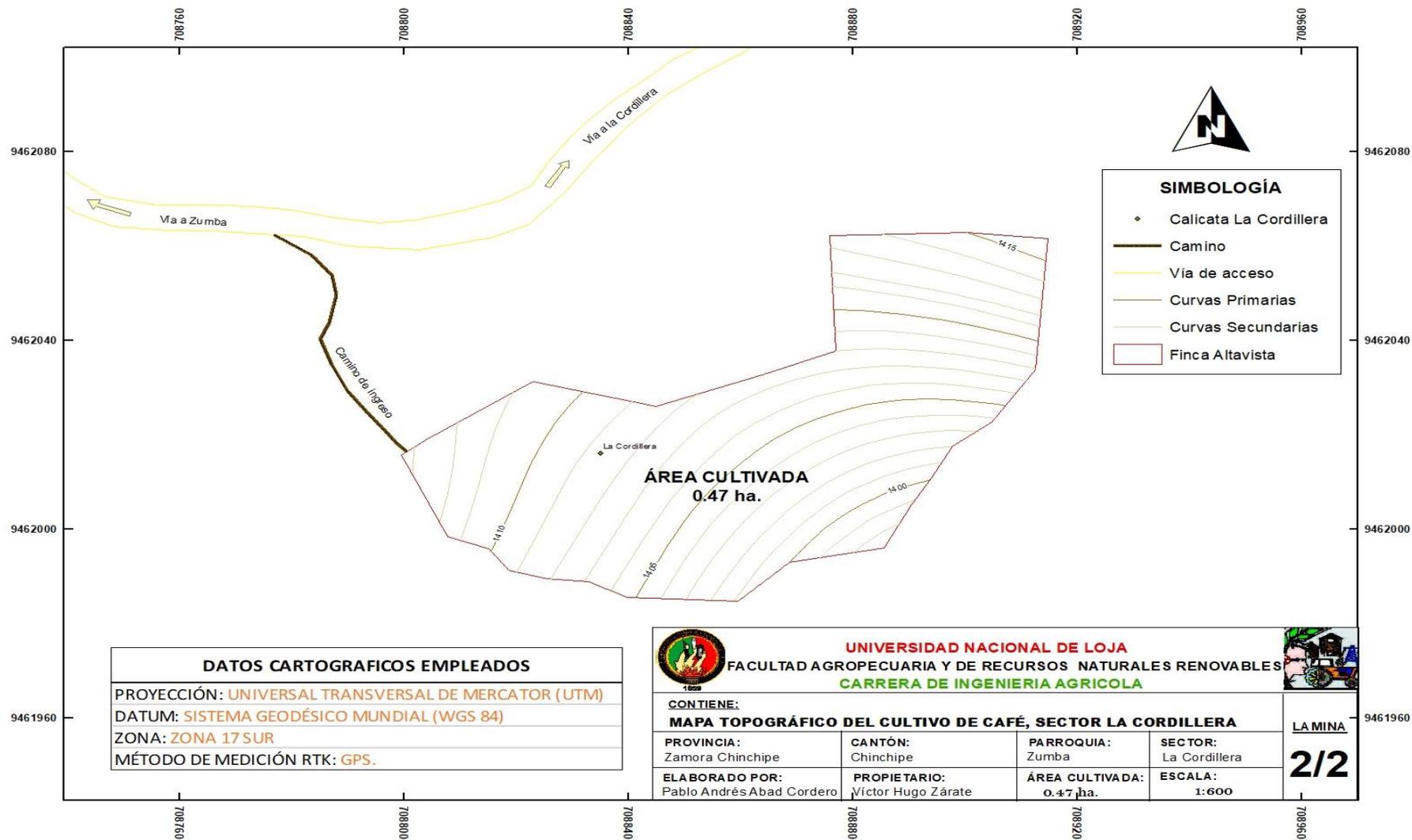
Anexo 14.

Topografía del sector Rancho Carmen.



Anexo 15.

Topografía del sector La Cordillera.



Anexo 16.

Certificado de Abstract.

Loja, 11 de Julio de 2023

Lic.

Fredin Rolando Cruz Rosales

**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN:
MENCIÓN INGLÉS**

C E R T I F I C O:

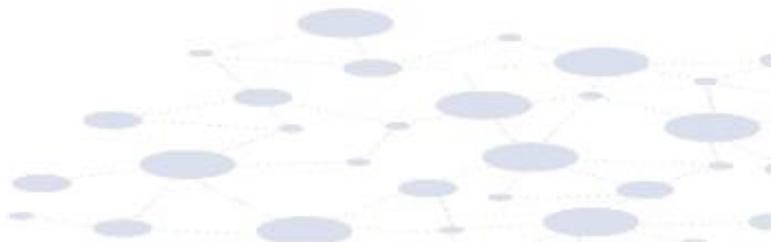
Que he realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen derivado de la tesis denominada "**Caracterización físico química del suelo en dos pisos altitudinales, dedicados a la producción orgánica de café (*coffea arabica* L.), en la Parroquia Zumba, Cantón Chinchipe**" de autoría de Pablo Andrés Abad Cordero, cédula de identidad 1150074746, egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Loja, la misma que se encuentra bajo la dirección del Mg. Sc. Miguel Ángel Villamagua, previo a la obtención del título de ingeniero Agrícola

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



Fredin Rolando Cruz Rosales

**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN:
MENCIÓN INGLÉS**



Lic. Fredin Rolando Cruz Rosales SENESCYT 1008-15-1359939 Telf. 0969803896
Email: rolandoteye@hotmail.com. fredin.cruz@educacion.edu.ec