UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Agronomía

Tema:

EVALUACIÓN FÍSICA QUÍMICA DE LOS SUELOS DE LA GRANJA EXPERIMENTAL EL TRIUNFO, EN SEIS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN.

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero/a Agrónomo otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agronomía.

Autores:

Juan Carlos Guamán Castillo
Nelly Mariana Toro Prado

Tutor:

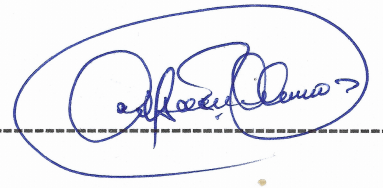
Ing. Nelson Monar Gavilanez M.Sc.

Guaranda – Ecuador

2024

"EVALUACIÓN FÍSICA QUÍMICA DE LOS SUELOS DE LA GRANJA EXPERIMENTAL EL TRIUNFO, EN SEIS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN"

REVISADO Y APROBADO POR:



Ing. Nelson Monar Gavilanez M Sc.

TUTOR



Ing. Kleber Espinoza Mora Mg.

DOCENTE LECTOR



Ing. Carlos Taco Taco Mg.

DOCENTE LECTOR

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Juan Carlos Guamán Castillo, con CI: 0250369907 y Nelly Mariana Toro Prado, con CI: 0202150926 declaramos que el trabajo y los resultados en este informe, no han sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor (es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

.....

Juan Carlos Guamán Castillo

AUTOR.

CI: 0250369907.

.....

Nelly Mariana Toro Prado

AUTORA.

CI: 0202150926.

.....

Ing. Nelson Monar Gavilanez M Sc.

TUTOR.

C.I. 0201089836

NOTARIA PRIMERA DEL CANTON CHIMBO

DECLARACION JURAMENTADA
OTORGADO POR:
JUAN CARLOS GUAMAN CASTILLO
NELLY MARIANA TORO PRADO
CUANTIA: INDETERMINADA

DI: 2 COPIAS J.P.
ESCRITURA Nº 20240203001P00617

En la ciudad de San José de Chimbo, cantón Chimbo, provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy día MARTES VEINTICINCO (25) DE JUNIO DEL AÑO DOS MIL VEINTICUATRO ante mí, Doctor GUSTAVO ANTONIO CHAVEZ CHIMBO, NOTARIO PÚBLICO PRIMERO DE ESTE CANTON, comparecen por sus propios derechos, los señores JUAN CARLOS GUAMAN CASTILLO, de estado civil soltero, de ocupación estudiante, con cédula de ciudadanía número cero dos cinco cero tres seis nueve nueve cero siete, domiciliado en el Barrio San Blas, del cantón San Miguel, provincia Bolívar y de paso por este lugar, teléfono celular número 0990176465; NELLY MARIANA TORO PRADO, de estado civil soltera, de ocupación estudiante, con cédula de ciudadanía número cero dos cero dos uno cinco cero nueve dos seis, domiciliada en el Barrio Tumbiguan, del cantón San Miguel, provincia Bolívar y de paso por este lugar, teléfono celular número 0967107023. Los comparecientes son ecuatorianos, mayores de edad, legalmente capaces para obligarse y contratar, a quienes por haberme presentado sus cédulas de ciudadanía que a petición de los comparecientes se incorpora, de conocerlos Doy Fe y dicen: Que instruidos de la naturaleza, objeto y resultados legales de este instrumento y de una forma libre y voluntaria manifiestan que tiene a bien otorgar la presente **DECLARACION JURAMENTADA**. Al efecto, juramentados que fueron en legal y debida forma previa las explicaciones de la gravedad del juramento, de las penas de perjurio y de la obligación que tienen de decir la verdad exponen: Nosotros JUAN CARLOS GUAMAN CASTILLO, con cédula de ciudadanía número cero dos cinco cero tres seis nueve nueve cero siete; y, NELLY MARIANA TORO PRADO, con cédula de ciudadanía número cero dos cero dos uno cinco cero nueve dos seis, manifestamos que los criterios e ideas emitidas en el presente Proyecto de Investigación "**EVALUACION FÍSICA QUÍMICA DE LOS SUELOS DE LA GRANJA EXPERIMENTAL EL TRIUNFO, EN SEIS SISTEMAS DE PRODUCION"**, es de nuestra exclusiva responsabilidad en calidad de Autores. Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad.- Leída que les fue esta su Declaración a los comparecientes, quienes se afirman y se ratifican en la misma; suscribiéndola libre y voluntariamente juntamente conmigo el Notario en unidad de acto. De todo lo cual Doy Fe.

JUAN CARLOS GUAMAN CASTILLO
C.C. 0250369907

NELLY MARIANA TORO PRADO
C.C. 0202150926

NOTARÍA PRIMERA * NIHIL PRIUS FIDE * CANTÓN CHIMBO * REPÚBLICA DEL ECUADOR

DR. ANTONIO CHAVEZ CHIMBO. MSc.
NOTARIO PRIMERO DEL CANTON CHIMBO

Notaría Primera
Cantón Chimbo
DR. ANTONIO CHÁVEZ CHIMBO MSc.

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO	AUTOR
Mariana_II30.docx	Guamán Castillo y Toro Prado
RECUENTO DE PALABRAS	**RECUENTO DE CARACTERES**
16644 Words	90450 Characters
RECUENTO DE PÁGINAS	**TAMAÑO DEL ARCHIVO**
92 Pages	3.0MB
FECHA DE ENTREGA	**FECHA DEL INFORME**
Jun 26, 2024 10:14 AM GMT-5	Jun 26, 2024 10:18 AM GMT-5

10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados

Resumen



Ing. Nelson Monar Gavilanez M.Sc.

TUTOR

DEDICATORIA

A, mis queridos padres, a quienes debo todo mi amor y gratitud, por ser mi fuente inagotable de inspiración y apoyo incondicional a lo largo de esta travesía académica. A, mi familia y amigos, cuyo aliento y confianza han sido pilares fundamentales en cada etapa de este camino.

Dedico también este trabajo al Arcángel San Miguel de Bolívar, símbolo de protección y fortaleza que me ha acompañado en cada desafío. Y al Señor del Terremoto, guía espiritual en momentos de incertidumbre, agradezco su constante bendición y resguardo.

Con profunda gratitud y amor.

Juan Guamán

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de investigación a Dios, por haberme guiado y dado la suficiente fortaleza para poder culminar con éxito mi carrera.

A, mis queridos padres por creer en mí, por brindarme su apoyo incondicional con ejemplo de superación humildad y sacrificio, creando en mí, las ganas de superación en la vida.

A, mis hermanos, mi abuelita quienes siempre tuvieron una palabra de aliento en los momentos difíciles, a mi esposo e hijo quien son mi motor y motivo, este logro se los dedico a todos ustedes porque se lo orgullosos que se sientes de poderme ver profesional.

Mariana Toro

AGRADECIMIENTO

Un sincero agradecimiento a la Universidad Estatal de Bolívar en especial a la facultad de ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y de Ambiente por habernos abierto las puertas de la institución y podernos formar como profesionales capaces de presentar un servicio a la sociedad.

A, las autoridades, docentes y personal administrativo que con sus palabras y conocimientos que nos brindaron una formación académica de excelencia para alcanzar nuestra meta propuesta; de manera muy especial a los ingenieros: Nelson Monar, Klever Espinosa y Carlos Taco por ser nuestra guía y brindarnos sus conocimientos y disposición durante todo este proceso experimental del proyecto de investigación.

Juan - Mariana

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido **Pag.**

CAPÍTULO I....1
1.1. INTRODUCCIÓN....1
1.2. PROBLEMA....3
1.3. OBJETIVOS....4
1.3.1. Objetivo general....4
1.3.2. Objetivos específicos....4
1.4. HIPOTESIS....5
CAPÍTULO II....6
2. MARCO TEÓRICO....6
2.1. Suelo....6
2.2. Importancia del suelo....6
2.3. Calidad del suelo....6
2.4. Perfil del suelo....7
2.4.1. Horizonte A....7
2.4.2. Horizonte B....7
2.4.3. Horizonte C....7
2.5. Propiedades físicas del suelo....7
2.5.1. Color del suelo....8
2.5.2. Textura....8
2.5.3. Estructura....9
2.6. Propiedades químicas....10
2.6.1. Ph....10
2.6.2. Densidad aparente....10
2.6.3. Materia Orgánica....10
2.6.4. Macronutrientes....11
Primarios....11
Nitrógeno (N)....11
Fosforo (P)....12
Potasio (K)....12

Secundarios....13
Calcio (Ca)....13
Magnesio (Mg)....14
2.6.5. Micronutrientes....15
Hierro (Fe)....15
Cobre (Cu)....16
Azufre (S)....16
Molibdeno (Mo)....17
Boro (B)....18
2.7. Muestreo de suelo....18
2.8. Tipos de muestra....18
2.8.1. Muestra simple....18
2.8.2. Muestra compuesta....19
2.9. Técnicas del muestreo....19
2.10. Profundidad de muestreo....20
2.10.1. Calicata....20
2.10.2. Análisis del suelo....21
2.11. Sistemas de producción....23
CAPÍTULO III....27
3. MARCO METODOLÓGICO....27
3.1. Ubicación de la investigación....27
Localización de la investigación....27
Situación geográfica y climática....27
Zona de vida....27
3.2. Metodología....27
3.2.1. Material experimental....27
3.2.2. Factor en estudio....28
3.2.3. Tratamientos....28
3.2.4. Manejo del experimento en campo o laboratorio....28
Identificación de la zona de muestreo....28
Selección de sitios....28
Calicatas....28

Toma de muestras....29
Etiqueta de muestras....29
Traslado de muestras....29
Ingreso de las muestras....29
Estimación del índice de infiltración....29
Estimación del índice de penetración....30
3.2.5. Métodos de evaluación (variables respuesta)....30
Textura (T)....30
Humedad (HC)....30
pH....30
Porcentaje de materia orgánica....30
Determinación de infiltración (DI)....31
Determinación de penetración (DP)....32
Contenido de macro y micro nutrientes del suelo (Suelo 4)....31
3.2.6. Análisis de datos....32
CAPÍTULO IV....33
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN....33
4.1. Análisis de indicadores físicos....33
4.2. Análisis de indicadores químicos....38
4.3. Análisis de macro y micro nutrientes....41
4.4. Comprobación de hipótesis....57
CAPÍTULO V....58
5.1. Conclusiones....58
5.2. Recomendaciones....59
BIBLIOGRAFÍA....60
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Detalle	Pag.
1	Determinación de textura	33
2	Determinación de humedad	34
3	Determinación de infiltración (DI)	36
4	Determinación de penetración (DP)	37
5	Determinación de pH	38
6	Determinación de porcentaje de materia orgánica	40
7	Determinación de Nitrógeno (N)	41
8	Determinación de Fósforo (P)	43
9	Determinación de Potasio (K)	44
10	Determinación de Calcio (Ca)	46
11	Determinación de Magnesio (Mg)	47
12	Determinación de Azufre (S)	48
13	Determinación de Boro (B)	50
14	Determinación de Hierro (Fe)	51
15	Determinación de Cobre (Cu)	52
16	Determinación de Manganeso (Mn)	54
17	Determinación Zinc (Zn)	55

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Detalle	Pag.
1	Determinación de textura	33
2	Determinación de humedad	35
3	Determinación de infiltración	36
4	Determinación de penetración	37
5	Determinación de pH	39
6	Determinación de porcentaje de materia orgánica	40
7	Determinación de Nitrógeno	42
8	Determinación de Fósforo	43
9	Determinación de Potasio	45
10	Determinación de Calcio	46
11	Determinación de Magnesio	47
12	Determinación de Azufre	49
13	Determinación de Boro	50
14	Determinación de Hierro	51
15	Determinación de Cobre	53
16	Determinación de Manganeso	54
17	Determinación Zinc	55

ÍNDICE DE ANEXOS

N°. **Detalle**

1. Mapa de la ubicación de la investigación
2. Croquis del ensayo
3. Resultados de Análisis físico químico del suelo
4. Base de datos
5. Fotografías del proyecto de investigación
6. Glosario de términos técnicos

RESUMEN

El suelo se define como el medio natural para el crecimiento de las plantas que se encuentra formado por capas de suelo (horizontes) y están compuestas de materiales como; minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El análisis de suelos es una herramienta de gran utilidad para diagnosticar problemas nutricionales y establecer recomendaciones de fertilización. Entre sus ventajas se destaca por ser un método rápido y de bajo costo, que le permite ser utilizado ampliamente por agricultores y empresas. La presente investigación denominado "Evaluación física química de los suelos de la granja experimental el Triunfo, en seis sistemas de producción" en el cual se plantearon tres objetivos específicos: i) Determinar los caracteres físicos de los suelos de la granja el Triunfo en los diferentes sistemas de producción, ii) Establecer los niveles de contenidos en los elementos químicos del suelo en cada uno de los tratamientos, iii) Identificar la calidad del suelo en cada uno de los sistemas de producción en relación a las propiedades químicas. Evaluado en seis sistemas de producción a una profundidad de 0-50 cm, dos muestras por tratamientos, donde se obtuvieron 12 unidades de muestras homogenizadas. Muestras analizadas en el laboratorio de suelos y aguas en la Estación Experimenta Sanata Catalina del INIAP. Para las variables físicas como; la textura se establece que el suelo en la zona del Triunfo, tiene una clase textural de tipo arcilloso en los seis sistemas de producción en estudio. La humedad registra una media general de 29.53 %. Referente al análisis físico-químico, el pH registró una media general de 6.67 encontrándose en la escala moderadamente ácido a neutro, al determinar el porcentaje de M.O. se registró un promedio de 2.09 %, gracias a esto se logró evidenciar que el suelo en la zona de estudio tiene poco contenido de materia orgánica. El contenido de los nutrientes primarios NPK, en los seis sistemas de producción se mantuvo en un rango medio alto, estos minerales son indispensables en los suelos agrícolas. Mientras que el análisis de los nutrientes secundarios como Ca, Mg, y S igual se encuentra en un rango similar

Palabras claves: Sistemas de producción, Nutrientes, Muestras, Suelo.

SUMMARY

Soil is defined as the natural medium for plant growth that is formed by soil layers (horizons) and is composed of materials such as weathered minerals, organic matter, air and water. Soil analysis is a very useful tool to diagnose nutritional problems and establish fertilization recommendations. Among its advantages, it stands out for being a fast and low-cost method, which allows it to be widely used by farmers and companies. The present research is called "Physical-chemical evaluation of the soils of the experimental farm El Triunfo, in six production systems" in which three specific objectives were set: i) To determine the physical characteristics of the soils of the farm El Triunfo in the different production systems, ii) To establish the levels of contents in the chemical elements of the soil in each of the treatments, iii) To identify the quality of the soil in each of the production systems in relation to the chemical properties. Evaluated in six production systems at a depth of 0-50 cm, two samples per treatment, where 12 homogenized sample units were obtained. Samples were analyzed in the soil and water laboratory at the Santa Catalina Experimental Station of INIAP. For physical variables such as texture, it was established that the soil in the Triunfo area has a textural class of clayey type in the six production systems under study. Moisture recorded a general average of 29.53%. Regarding the physical-chemical analysis, the pH registered a general average of 6.67, being in the moderately acid to neutral scale, when determining the percentage of OM, an average of 2.09 % was registered, thanks to this it was possible to demonstrate that the soil in the study zone has little organic matter content. The content of primary NPK nutrients in the six production systems remained in the medium-high range; these minerals are indispensable in agricultural soils. While the analysis of secondary nutrients such as Ca, Mg, and S were in a similar range.

Key words: Production systems, Nutrients, Samples, Soil.

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

El análisis de suelos es una herramienta de gran utilidad para diagnosticar problemas nutricionales y establecer recomendaciones de fertilización. Entre sus ventajas se destaca por ser un método rápido y de bajo costo, que le permite ser utilizado ampliamente por agricultores y empresas. También permite definir la capacidad de uso de los suelos y de la misma manera brindan información central para la planificación de los cultivos y las rotaciones y así permitirá realizar un monitoreo de variables de fertilidad, es imprescindible realizar un muestreo adecuado de suelos, ya que en esta etapa es donde se define la exactitud de los resultados del análisis (Infoagro, 2020).

El suelo juega un papel preponderante en el mantenimiento de la vida en el planeta, la mayor parte de alimentos que los humanos consumimos, excepto aquellos que se cosecha en ambientes marinos, se cultivan en los suelos de la Tierra, por lo cual este es un componente crítico en casi todos los ecosistemas, puesto que la productividad del mismo determina cómo se verá un ecosistema en términos de la vida tanto vegetal como animal que puede soportar, en el caso de los bosques también es fundamental para mantener la calidad del agua y la productividad del sitio a largo plazo, en los campos cultivados la calidad del suelo es determinante ya que los nutrientes y las propiedades físicas propias del mismo, pueden afectar directamente el rendimiento (Samaniego, 2019).

El suelo se define como el medio natural para el crecimiento de las plantas que se encuentra formado por capas de suelo (horizontes) y están compuestas de materiales como; minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo es el resultado final de la influencia del tiempo, combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, FAO, 2023)

El sector agrícola es uno de los ejes principales sobre los que se desenvuelve la economía, el 40% de la población que vive en el área rural se dedica a actividades agrícolas, las dos terceras partes corresponde a productores agropecuarios de tal modo, que más del 25% de la localidad ecuatoriana está relacionada a la actividad agropecuaria, ciertamente, el 62% de la población rural, trabaja en agricultura. (Avila, 2020)

Los suelos ecuatorianos debido a la frecuencia e intensidad del laboreo en la preparación del suelo, han alterado las propiedades físicas, químicas y biológicas, cambios que se verán reflejados en la sustentabilidad y sostenibilidad del sistema productivo.

El escenario actual de la agricultura ha demostrado ampliamente que los elementos esenciales para el desarrollo de todas las plantas son dieciséis, conocidos como macronutrientes y micronutrientes, los cuales desempeñan funciones específicas en la vida de la planta, razón por la que, si su presencia es insuficiente, puede generar alteraciones durante el desarrollo. (Ninabanda, 2021)

Los sistemas de producción agrícola se definen como el conjunto de técnicas, mano de obra, tenencia de la tierra y organización de la población para producir uno o más productos agrícolas. Estos sistemas, complejos y dinámicos, están fuertemente influenciados por el medio rural externo, incluyendo mercado, infraestructura y programas. La caracterización de los sistemas de producción a escala regional permite tener una perspectiva espacial integral del uso del territorio, de sus recursos (suelo, agua, vegetación), del manejo actual y por ende de las posibles externalidades para la cuenca. (Vargas, 2018)

1.2. PROBLEMA

Actualmente los suelos de nuestra provincia Bolívar se encuentran en estado de desertificación, de tal manera afecta directamente a los agricultores, debido a que no se realiza una fertilización. La erosión y la compactación de los suelos se trasforma en uno de los problemas ambientales más críticos de esta zona, pudiendo deberse a varios factores como: el minifundio, el nivel de pendiente, la dependencia total de insumos externos, el cambio de los sistemas de producción de cultivos asociados a monocultivos, deficientes prácticas de conservación de suelos, entre otros.

En el Cantón Caluma la producción y productividad de los cultivos (café, cacao, cítricos, guaba y musáceas) han ido decayendo de manera significativa debido a la prevalencia de plantaciones viejas y poco productivas; además de la incidencia de plagas y enfermedades, a esto se suman los bajos precios, y falta de investigaciones para determinar la adaptabilidad de nuevas variedades y las densidades poblacionales apropiadas para la zona agroecológica de la zona de estudio.

Una de las problemáticas en los diferentes sistemas de producción es la erosión del suelo, siendo este un proceso que conlleva pérdida del material edáfico, así como también la escases de los macros y micros nutrientes que se encuentran con normalidad en los suelos, siendo indispensables para el desarrollo normal de los principales cultivos producidos en la provincia en general.

Por tal motivo, la presente investigación tuvo como propósito generar un documento con información útil que sirva como fuente de consulta para todos los involucrados en el ámbito agrícola y ambiental, y también nos permitirá impulsar alternativas de manejo para el suelo, a partir de una estrategia agropecuaria que contribuya a la equidad y sostenibilidad haciendo buen uso de la tierra, mano de obra y de los recursos naturales irremplazables que cada vez son más escasos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Evaluar física y químicamente los suelos de la granja experimental el Triunfo, en seis sistemas de producción.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los caracteres físicos de los suelos de la granja el Triunfo en los diferentes sistemas de producción.
- Establecer los niveles de contenidos en los elementos químicos del suelo en cada uno de los tratamientos.
- Identificar la calidad del suelo en cada uno de los sistemas de producción en relación a las propiedades químicas.

1.4. HIPOTESIS

H_o: La calidad físico química del suelo no depende del sistema de producción.

H_a: La calidad físico química del suelo depende del sistema de producción.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Suelo

El suelo es un material poroso constituido de partículas sólidas de tamaños variables 1µm hasta 2000 µm, sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, fundamental e irreemplazable, desarrollado a partir de una mezcla de materia orgánica, minerales y nutrientes capaces de sostener el crecimiento de los organismos y los microorganismos (Chicaiza, 2020).

El suelo es un componente vital del ambiente natural. Su disponibilidad es limitada y se encuentra constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro, meso y macroorganismos que desempeñan procesos fundamentales de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones indispensables para la sociedad y el planeta (FAO, 2023).

2.2. Importancia del suelo

El suelo es indispensable y determinante para la estructura y el funcionamiento de los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes. Las funciones específicas que un suelo proporciona se rigen en gran medida por el conjunto de propiedades químicas, biológicas y físicas que se hallan en dicho suelo. Así mismo, los suelos son una reserva clave de biodiversidad mundial que abarca desde los microorganismos hasta la flora y la fauna. Esta biodiversidad tiene una función fundamental en el respaldo a las funciones del suelo y, por tanto, a los bienes y servicios ecosistémicos asociados con los suelos (Armas, 2022).

2.3. Calidad del suelo

La calidad del suelo se utiliza en relación a las funciones que desempeña el suelo, considerándolo como un substrato básico que debe funcionar adecuadamente dentro de los límites del ecosistema del cual forma parte y con el que interactúa.

Se manifiesta que la calidad del suelo se relaciona con su capacidad para desarrollar funciones en el ecosistema. Es importante conocer que la calidad no solo depende de un factor y debido a que es un concepto holístico depende de sus características físicas, químicas y biológicas (Delli, 2022).

2.4. Perfil del suelo

En geología, se define al perfil del suelo como un corte vertical en el terreno que se realiza para tener una descripción completa del mismo. Los suelos correctamente desarrollados presentan tres horizontes principales denominados con letras A, B y C (MGAP, 2019).

2.4.1. Horizonte A

El horizonte A, es el más importante desde el punto de vista productivo pues en él se alcanza el máximo desarrollo de actividad biológica (presencia de microorganismos y pequeños animales); es el que presenta el contenido más elevado en el perfil de materia orgánica, elemento altamente responsable del potencial productivo de un suelo (Instituto Nacional de Innovación Agraria, INIA, 2020).

2.4.2. Horizonte B

El horizonte B, es una capa de acumulación generalmente enriquecida de arcillas y sales provenientes de infiltración de agua en el perfil, característica muy relevante para definir el potencial productivo de un suelo.

2.4.3. Horizonte C

El horizonte C, se compone de material mineral formado por la descomposición de las rocas; incorpora paulatinamente materia orgánica que con el transcurso de muchísimos años permitirá la formación del suelo (MGAP, 2019).

2.5. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo son el resultado de la interacción entre sus diferentes fases (suelo, agua y aire) y las proporciones que existen en ellas. La

condición física del suelo determina, en particular, su capacidad de almacenamiento, penetración de raíces, movimiento de aire, capacidad de almacenamiento de agua, drenaje y retención de nutrientes. Las primordiales propiedades físicas que influyen en el crecimiento de los cultivos se detallan a continuación: Color, Textura y Estructura (Delli, 2022).

2.5.1. Color del suelo

Es una de las características que permite describir a los distintos tipos de suelos. El color del suelo no tiene un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, pero indirectamente afecta la temperatura y la humedad del mismo. Mientras mayor cantidad de energía calorífica se encuentre en el suelo, se tendrá una mayor temperatura y evaporación. Se ha comprobado que los suelos oscuros bajo las mismas condiciones ambientales y sin cubierta vegetal, tienden a secarse más rápido.

Por otro lado, los suelos húmedos son más oscuros que aquellos que se encuentran secos, además de que absorben mayor cantidad de luz que ayuda al incremento de temperatura del suelo y un desarrollo más acelerado del cultivo. El color del suelo también nos puede indicar de manera general el estado actual del mismo (INTAGRI, 2020).

2.5.2. Textura

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades.

El triángulo de textura de suelos según la FAO se usa como una herramienta para clasificar la textura. Partículas del suelo que superan tamaño de 2.0mm se definen como piedra y grava y también se incluyen en la clase de textura. Cuando predominan componentes orgánicos se forman suelos orgánicos en vez de minerales (FAO, 2023).

Clasificación de la textura del suelo.

TEXTURA DEL SUELO	CLASE
Arenoso (fina, media, gruesa)	Gruesa
Arenoso franco	Gruesa
Franco arenosos (fino a grueso)	Moderadamente Gruesa
Franco limoso	Moderadamente Gruesa
Franco	Media
Limoso	Media
Franco arcilloso (<35% de arcilla)	Media
Franco arcillo arenoso	Media
Franco arcillo limoso	Media
Franco arcilloso (>35%)	Fina
Arcillosos (40 - 60% de arcilla)	Fina
Arcillo arenosos	Fina
Arcillo limoso	Fina
Arcilloso (>60%)	Muy Fina

Fuente: (FAO, 2020)

Arcilla. - Mineral secundario del tipo cristalino, con una estructura compleja en capas en el caso de las arcillas cristalinas; arcillas de bajo grado de cristalinidad, como el alofán y la imogolita y las llamadas arcillas hidróxidos u óxidos de hierro y aluminio (Samaniego, 2019).

Limo. - Mineral fragmentado de rocas, dominando en la fracción fina los minerales primarios individuales y eventualmente minerales secundarios del tipo arcilla de tamaño grueso como la caolinita (FAO, 2020).

Arena. - Fragmentos de roca o minerales, en la arena fina predominan partículas individuales de minerales primarios y en la arena gruesa fragmentos de rocas.

2.5.3. Estructura

Se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de

partículas mayores y se denominan agregados. La forma más provechosa de describir la estructura del suelo es en función del grado (grado de agregación), la clase (tamaño medio) y el tipo de agregados (forma). En algunos suelos se pueden encontrar juntos distintos tipos de agregados y en esos casos se describen por separado. (FAO, 2020)

2.6. Propiedades químicas

Están relacionadas con la eficacia y disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, para comodidad de las mismas entre estas se puede destacar: pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, extractos de fósforo, nitrógeno y potasio; del mismo modo, las propiedades físicas reflejan la forma en que el suelo almacena agua, y la suministra a las plantas y permite la evolución de las raíces, entre ellas tenemos: estructura, densidad aparente, estabilidad general, permeabilidad, profundidad, conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento. (Delli, 2022)

2.6.1. pH

El pH del suelo mide la acidez o alcalinidad de una muestra de suelo. El pH puede presentar un valor comprendido en una escala entre 0 a 14, de este modo cuando el valor es 7 se dice que es neutro, con valores menores a 7 se considera que el suelo es ácido y con valores mayores a 7 el suelo es alcalino (Samaniego, 2019).

2.6.2. Densidad aparente

La densidad aparente se describe como la masa de las partículas de suelo seco por unidad de volumen (g/cm^3 o t/m^3), y esta analiza la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (FAO, 2023).

2.6.3. Materia Orgánica

La materia orgánica es una mezcla variada y compleja de substancias orgánicas. Todas las sustancias orgánicas, por definición, contienen el elemento carbono, y, en promedio, el carbono comprende casi la mitad de la masa de la materia orgánica del suelo.

La materia orgánica de los perfiles del suelo del mundo contiene, de cuatro a seis veces más carbono respecto a lo encontrado en toda la vegetación mundial. Por lo tanto, la materia orgánica del suelo juega un rol crítico en el balance global del carbono (FAO, 2020).

2.6.4. Macronutrientes

Los macronutrientes se pueden definir como los elementos necesarios en grandes cantidades para asegurar el crecimiento y la supervivencia de las plantas. Es importante afirmar que la presencia de una cantidad suficiente de elementos nutritivos en el suelo no asegura por sí misma la correcta nutrición de las plantas, ya que estos elementos se tienen que encontrar en una forma asimilable los cultivos y haya un correcto desarrollo de esta (Alvarez, 2022) .

- **Primarios**

Este grupo se denomina así porque, normalmente, la tierra no puede suministrarlos a las plantas en las cantidades relativamente altas que estas necesitan para desarrollarse en forma saludable.

En la mayoría de los cultivos las necesidades de las plantas son superiores a las reservas existentes en forma asimilable de los elementos en el suelo, por lo que es necesario realizar aportes mediante el uso de fertilizantes (Samaniego, 2019).

Nitrógeno (N)

Es un componente integral que tiene varios compuestos esenciales para las plantas, entre los más importantes se destacan: Componente de los aminoácidos, que son las unidades estructurales de las proteínas. Componente de moléculas de enzimas, vitaminas, hormonas y ácidos nucleicos (Zamora, 2020).

Función del Nitrógeno en las plantas

Una de las principales funciones del nitrógeno en las plantas es la de ser constituyente estructural de un sin número de componentes celulares como

aminoácidos, péptidos, polipéptidos, proteínas, enzimas, coenzimas, nucleótidos, amidas, clorofila entre muchos otros.

El nitrógeno participa en los siguientes procesos biológicos realizados por la planta: absorción de iones, respiración celular, fotosíntesis, síntesis biológica, división y diferenciación celular, y en general en todo el metabolismo. Esto indica la indispensable necesidad de abastecer con las cantidades adecuadas de nitrógeno a las plantas de una producción agrícola (Agroproductores, 2019).

Fosforo (P)

Es un elemento fundamental para la nutrición de las plantas. Es absorbido por éstas en forma de fosfatos mono y diácidos, es un elemento que da calidad y precocidad a las plantas, ya que adelanta la maduración, a diferencia del nitrógeno, que tiende a prolongar el crecimiento vegetativo, el nitrógeno es bastante móvil dentro de la planta y, cuando el suministro en el suelo es inadecuado, se transfiere a hojas jóvenes, provocando que las hojas viejas muestren clorosis, envejezcan prematuramente y caigan (Delli, 2022).

Función del Fosforo en las plantas

El fósforo, junto al nitrógeno y el potasio, es uno de los nutrientes esenciales que necesitan nuestros campos. Es un actor principal en la fotosíntesis y el transporte de nutrientes a la planta, esto se traduce en que es fundamental para:

- Crear las raíces.
- Potenciar la floración.
- Cuajado de los frutos.

En resumen, sin la cantidad adecuada de él no seremos capaces de tener campos productivos y rentables (Zoberbac, 2023).

Potasio (K)

Es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, y son necesarios para su desarrollo y reproducción, y tienen un papel fundamental en la

apertura y el cierre de tormentas, y el control del consumo que absorbe una distancia de la distancia desde la transmisión de azúcar y almidón para mantener la presión de las células de las células lo que significa que impide que la planta se marchite (Agrovitra, 2020).

Función del Potasio en las plantas

Tiene un rol fundamental en la apertura y cierre estomático, regulando la absorción de CO^2 y por ende actuando a nivel de fotosíntesis, está involucrado en el transporte de azucares y almidones, mantiene la presión de turgencia de las células (lo que significa que evita que la planta se marchite prematuramente), ayuda a la absorción de nitrógeno y la síntesis de proteínas.

Por último, también actúa como un activador de enzimas y es esencial para la producción de ATP, fuente de energía importante para muchos procesos químicos que tienen lugar en las plantas (Agrovitra, 2020).

- **Secundarios**

Las cantidades de estos elementos presentes en el suelo suelen cubrir las necesidades de los cultivos, por lo que generalmente no es preciso realizar aportes.

Calcio (Ca)

El Ca y su cantidad en el suelo van a depender del tipo de suelo. Los beneficios sobre las plantas son numerosos ya que estimula el desarrollo de las raíces y de hojas, forma compuestos en las paredes celulares, ayuda a reducir el nitrato NO3 en las plantas, activa varios sistemas de enzimas, neutraliza los ácidos orgánicos en la planta, influye indirectamente en el rendimiento al reducir la acidez del suelo (esto reduce la solubilidad y toxicidad del manganeso, cobre y aluminio) y es requerido en grandes cantidades por las bacterias fijadoras de N (INTAGRI, 2023)

Funciones del Calcio en las plantas

Las funciones críticas del calcio (Ca2+) en las plantas son bien conocidas desde hace mucho tiempo, y se le relaciona directamente con el crecimiento de la raíz y

la calidad de los frutos después del amarre, aunque es un nutriente que está involucrado en un mayor número de procesos. En la producción de cultivos un aporte nutricional completo contempla la adición de este elemento esencial, ya que las deficiencias de este nutriente en los vegetales provocan: un mal desarrollo radical, desarrollo anormal de hojas y enrollamientos, deformación y falta de tamaño de frutos, pudrición apical, depresión amarga, rajado de frutos, mala vida de anaquel y frutos aguados. Tanto en la planta como nutriente estructural y en el suelo como mejorador, el calcio cumple funciones de gran importancia que son irremplazables (INTAGRI, 2023).

Magnesio (Mg)

Este no se encuentra libre en la naturaleza, sino que se encuentra distribuido en forma mineral por lo cual en las rocas se halla estrechamente asociado a numerosos minerales, mayoritariamente silicatos (olivino, piroxeno, biotita) y otros de arcilla (clorita, vermiculita), sin embargo la fuente más común de este elemento es la dolomita, presente en los suelos alcalino, cabe mencionar que la arcilla retiene el magnesio de forma menos resistente que el calcio, razón por la cual es lixiviado fácilmente del suelo (Samaniego, 2019).

Funciones del Magnesio en las plantas

- Es la base estructural de la molécula de clorofila y por ello, esencial en el proceso de la fotosíntesis y la fijación de CO2 como coenzima.
- Es esencial en todos los procesos de fosforilación de la planta, promoviendo la transferencia, conversión y acumulación de la energía. Esto es, en la fotosíntesis, síntesis de carbohidratos, proteínas, ruptura de los carbohidratos en ácido pirúvico (respiración).
- Tiene un efecto activador sobre diversas enzimas, como la Glutamina sintetasa, esencial en la unión del Amonio con carbohidratos en la formación de aminoácidos como la Glutamina.
- Regula el balance energético de las plantas, porque es necesario para la formación de puentes entre enzimas y el portador de energía ATP. En dónde haya necesidad de ATP, es imprescindible la presencia de Mg.

- Influencia la formación de RNA y con ello la transformación de la información genética en proteínas.
- Es un componente de substancias pécticas importantes para la estabilidad de la estructura celular, así como de la fitina, la cual es un acumulador de fósforo de baja energía (fósforo de fitina) de gran significado para la germinación de la semilla.
- Es un componente estructural integrado en los ribosomas y la matriz del núcleo celular y contribuye a la estabilización de la membrana celular.
- Participa en la formación de las paredes celulares.
- Tiene propiedades hidratantes e influencia con ello el balance hídrico y la eficacia de las enzimas (Cakmak, 2019).

2.6.5. Micronutrientes

Hierro (Fe)

El hierro en las plantas es un microelemento esencial para su desarrollo. Su papel es clave porque interviene en la síntesis de la clorofila y participa en otros procesos enzimáticos y metabólicos sin los cuales las plantas no pueden llevar a cabo su ciclo vital. La deficiencia de hierro se manifiesta en forma de clorosis férrica, pero ésta no se produce por su ausencia en el suelo sino a causa de su baja disponibilidad como hierro asimilable por la planta. Se emplea estrategias que combinan el aporte de quelatos de hierro de la máxima calidad, solubilidad y estabilidad como los que comercializa. A ello conviene añadir el uso de otras soluciones que estimulen el desarrollo radicular, consiguiendo una mejor absorción de los micronutrientes clave (SEIPASA, 2019).

Funciones del hierro en las plantas

El hierro en las plantas es un microelemento esencial para su desarrollo. Su papel es clave porque interviene en la síntesis de la clorofila y participa en otros procesos enzimáticos y metabólicos sin los cuales las plantas no pueden llevar a cabo su ciclo vital (SEIPASA, 2019).

Cobre (Cu)

El cobre es un componente integral de los cloroplastos por lo tanto participa en la fotosíntesis. Es esencial en la formación de encimas involucradas en la respiración, la producción de energía y crecimiento (Agroactivo, 2020).

Funciones del cobre en las plantas

La planta absorbe al Cu en su forma iónica o quelatada y lo almacena como sales. Es un nutrimento inmóvil en la planta y el contenido promedio dentro de esta puede ir de 1 a 25 ppm. Existen diferencias entre especies vegetales en cuanto a la demanda de Cu, por un lado, las plantas con alta demanda tienen valores críticos de 7 ppm; mientras que, las plantas de baja demanda presentan un valor crítico de solo 4 ppm.

La función principal del Cu en la planta es la de participar como coenzima en varios sistemas enzimáticos involucrados en la formación y conversión de aminoácidos, así como en la desintoxicación de radicales superóxidos. Es componente de los cloroplastos (hasta 70 % de Cu total) y participa activamente en la síntesis de clorofila, proteínas y polifenoloxidasas. También se le atribuye un papel importante en el desarrollo de color y sabor a los frutos. Está involucrado en la formación de la pared celular y, como otros micronutrimentos, en el trasporte de electrones y reacciones de óxido-reducción. El cobre ayuda a formar lignina en las paredes celulares, que proporcionan soporte para mantener las plantas en posición vertical. Es particularmente importante para la formación de polen viable, la formación de semillas y la resistencia al estrés. Debido al antagonismo que el Cu guarda con algunos nutrimentos, puede ser utilizado como auxiliar para atenuar toxicidades, como la de Zn (INTAGRI, 2021).

Azufre (S)

Las plantas pueden sufrir la carencia de este elemento bien por la falta del elemento o bien a que el elemento está presente pero no se encuentra en una forma asimilable directamente por las plantas. Cuando está disponible, actúa sobre el contenido de azúcar de los frutos, en la formación de la clorofila y contribuye a un desarrollo

más acelerado del sistema radicular y de las bacterias nodulares, que asimilan el nitrógeno atmosférico. Por otro lado, un déficit de este conlleva una disminución de la fijación del nitrógeno atmosférico y altera los procesos metabólicos y la síntesis de proteínas (Thompson, 2019).

Funciones del Azufre en las plantas

Es importante también para algunas vitaminas y coenzimas, y actúan como grupo funcional directamente involucrado en reacciones metabólicas. Tiene funciones que sirven a la planta como sistema de defensa y detoxificación. El azufre es importante en la protección de las células, ya que evita la deshidratación por calor y sequía y también juega un papel en la protección de los daños de las células por frio (Infoagro, 2020).

Molibdeno (Mo)

El Molibdeno (Mo) es un elemento esencial para la planta, ya que participa en dos sistemas enzimáticos fundamentales en la asimilación de nitrógeno: nitrato-reductasa y nitrogenasa. Estas enzimas son las responsables de convertir el nitrato en nitrito y finalmente en NH3 forma asimilable. Además, la presencia de Molibdeno es importante para la fijación del nitrógeno atmosférico ya sea por las bacterias que lo hacen directamente (*Azotobacter* spp.) o en simbiosis (*Rhizobium* sp), algas cianofíceas, angiospermas fijadoras… etc. Las plantas también usan el molibdeno para convertir el fósforo inorgánico a formas orgánicas dentro de ellas mismas (Fertiberia, 2020).

Funciones del Molibdeno en las plantas

El molibdeno es un elemento fundamental, ya que todos los sistemas biológicos de fijación de nitrógeno requieren enzimas que contienen molibdeno en su estructura. De esta manera es como el molibdeno es un elemento clave en el metabolismo del nitrógeno, pero también cumple otras funciones como: síntesis de ácido ascórbico, disponibilidad de hierro, y tiene un efecto benéfico cuando los niveles de cobre, boro, cobalto, manganeso y zinc son demasiados altos (Fertilab, 2021).

Boro (B)

El Boro es asociado con las auxinas (Hormonas de crecimiento), la síntesis y movimiento de los azúcares, se involucra en la producción de carbohidratos; el Boro es esencial para la germinación y la viabilidad del polen, la calidad de las semillas, la actividad meristemática y los procesos de fructificación, por lo tanto, influye en el rendimiento del cultivo. Está presente en los suelos tanto en forma orgánica como inorgánica (Agroactivo, 2020).

Funciones del Boro en las plantas

Desempeña un papel fundamental en la estabilidad de las paredes y membranas celulares, donde el 90 % del B contenido en la planta se asocia con la pared celular, al formar enlaces con pectinas y polisacáridos.

El boro participa en el metabolismo de fenoles, protegiendo a las membranas celulares e impidiendo que se acumulen en los tejidos de las plantas, ya que los fenoles son inhibidores de la elongación de raíces (INTAGRI, 2020).

2.7. Muestreo de suelo

El muestreo de suelo es la actividad de recolección de las muestras de suelo (representativas), que permiten caracterizar el suelo en estudio. La muestra es definida como una parte representativa que presenta las mismas características o propiedades del material que se está estudiando. Y, las muestras enviadas al laboratorio constituyen las muestras elegidas para ser analizadas de acuerdo a los objetivos establecidos (Pérez, 2020).

2.8. Tipos de muestra

2.8.1. Muestra simple

Es la muestra obtenida de una sola extracción del suelo. Son usadas en trabajos de investigación, extensión, y en suelos muy homogéneos. Se recomienda tomar una muestra de un kg por hectárea suelo, para fines de nutrición de plantas (Mendoza, 2018).

2.8.2. Muestra compuesta

Se refiere a la muestra de suelo obtenida de varias extracciones o muestras simples, reunidas en un recipiente codificado por profundidad, si es el caso, y luego bien mezcladas, de donde se retira un kg de suelo. Es el muestreo más utilizado para planificar fertilización. Se recomienda entre seis y doce submuestras por unidad de muestreo (Espinoza, 2019).

2.9. Técnicas del muestreo

La técnica del muestreo a aplicar depende, entre otros, del objetivo del estudio, de las condiciones edáficas, meteorológicas, geológicas e hidrogeológicas en el sitio, la profundidad y accesibilidad de la contaminación en estudio y de los requerimientos analíticos acerca de la cantidad y calidad de las muestras (FAO, 2020).

Los equipos, las herramientas y los instrumentos a usarse en el muestreo estarán en función de:

- La profundidad máxima a la que se va a tomar la muestra.
- El tipo de textura del suelo.
- El tipo de contaminante (volátil, semivolátil, no volátil) que se presuma en el sitio.
- La accesibilidad al punto de muestreo.
- El tamaño de muestra necesaria para los análisis requeridos, con base en la(s) característica(s) o propiedad(es) de interés del contaminante y del sitio, así como las especificaciones de los métodos analíticos.
- Los instrumentos para la colecta de muestras en campo, deben ser fáciles de limpiar, resistentes al desgaste y no deberán contener sustancias químicas que puedan contaminar o alterar las muestras. (Samaniego, 2019)
- En el caso de contaminantes orgánicos, los instrumentos de muestreo y los envases o contenedores para la conservación de la muestra no deberán contener sustancias químicas que puedan producir interferencias al momento de realizar las pruebas analíticas.

- Cuando se trata de suelos contaminados con metales, se recomienda utensilios de plástico, teflón o acero inoxidable para el muestreo. Los más comunes son: palas rectas y curvas, picos, barrenas y barretas, nucleadores, espátulas, navajas y martillo de geólogo, considerar lápices, marcadores y etiquetas, así como, cinta métrica o flexómetro, planos o fotografías aéreas de la zona con la ubicación tentativa de los puntos de muestreo.
- Durante las actividades de muestreo, es importante incluir como material de apoyo, cartas topográficas, edafológicas, climáticas y geológicas, un plano cartográfico del sitio y mapas de carreteras, con toponimia actualizada. Además, es recomendable incluir una libreta para registrar las acciones de campo, una cámara fotográfica y la cadena de custodia para las muestras (Delli, 2022).

2.10. Profundidad de muestreo

La profundidad del muestreo está determinada por el tipo de cultivo (desarrollo radicular) y el propósito del análisis de suelo. En el caso de los cultivos, los resultados de los análisis de suelos se utilizan para gestionar el manejo de la fertilización, basados en la oferta nutricional del suelo y la demanda de los cultivos. En la Tabla 1, se indica las diferentes profundidades de muestreo por cultivos.

La CORPOICA recomienda las siguientes profundidades:

- 0 a 10 cm para pastos utilizados en pastoreo
- 0 a 25 cm para cultivos comerciales y pastos de corte
- 0 a 25 y 25 a 50 cm para frutales y especies forestales, en general. (Mendoza, 2018)

2.10.1. Calicata

Es una técnica de prospección que consiste en la exploración de un terreno mediante excavación o perforación a profundidad baja o media para la toma de muestra de tierra. También es denominada como cata, y su objetivo es el de realizar algún tipo de estudio sobre dicho terreno. El objetivo de esta calicata puede ser diverso, y es

lo que debe gobernar la técnica o metodología a seguir durante todo el proceso, que pueden ser muy diferentes según el estudio que se quiera realizar (Espinoza, 2019)

La calicata es el único medio disponible que realmente permite ver y examinar un perfil de suelo en su estado natural. Puede excavarse a mano o con equipos especiales, como una excavadora de zanjas. De ser necesario, podrá obtener muestras no alteradas de horizontes seleccionados de una calicata (FAO, 2022).

2.10.2. Análisis del suelo

El análisis de suelos agrícolas es una técnica compleja que une diversos métodos analíticos con sus respectivas extracciones, básicamente remueve los nutrientes más importantes del suelo (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, azufre, boro, hierro, cinc y manganeso) y mide su disponibilidad para la planta. El análisis de suelos también mide el pH del mismo, el cual está directamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes (AGQLabs, 2020).

Basado en la información obtenida por el análisis de suelos se puede hacer un cálculo de la cantidad de fertilizante a aplicar. La ventaja de realizar un análisis de suelos es que el programa de fertilización se hace en base a lo que la planta requiere, disminuyendo así la perdida de fertilizantes.

La profundidad normal para la toma de muestras es de 15 a 30 cm en una superficie recientemente establecida y el número de muestras debe ser representativo del área. La muestra a enviar al laboratorio de análisis es una mezcla de 10 a 15 submuestras (AGQLabs, 2020).

Importancia del análisis del suelo

El análisis del suelo es parte integrante de la agricultura. Todos los años, los agricultores toman muestras de sus suelos y evalúan el crecimiento de sus cultivos. El análisis del suelo es importante en la agricultura para determinar los niveles de nutrientes en el suelo, lo que es fundamental para un crecimiento sano de las plantas y un alto rendimiento de los cultivos.

Los resultados pueden revelar niveles, deficiencias o excesos de nutrientes en el suelo, lo que permite a los agricultores tomar decisiones sobre la aplicación de fertilizantes y otras prácticas de gestión del suelo. Por ejemplo, si la interpretación de análisis de suelo revela niveles bajos de potasio, los agricultores pueden añadir un fertilizante rico en potasio para mejorar el contenido de nutrientes (Plaman, 2022).

Por otra parte, el exceso de nutrientes puede provocar problemas medioambientales, como la escorrentía de nutrientes y la consiguiente contaminación del agua. Los análisis del suelo pueden ayudar a los agricultores a evitar la aplicación excesiva de fertilizantes, reduciendo el riesgo de impacto ambiental y manteniendo al mismo tiempo unas condiciones del suelo saludables para el crecimiento de los cultivos (AGQLabs, 2020).

Ventajas del análisis de suelo

- **Mejora del rendimiento de los cultivos:** Los análisis de suelo pueden identificar deficiencias o desequilibrios de nutrientes que pueden estar limitando el crecimiento y el rendimiento de las plantas, lo que permite a los agricultores ajustar sus prácticas de fertilización y optimizar el rendimiento de los cultivos.
- **Reducción de los costes de fertilizantes:** Los análisis del suelo también pueden ayudar a los agricultores a evitar la aplicación excesiva de fertilizantes, que puede resultar costosa y tener repercusiones negativas en el medio ambiente. (Plaman, 2022)
- **Mejora de la salud del suelo:** Los análisis del suelo pueden proporcionar información valiosa sobre su salud, como el contenido de materia orgánica, el pH y la textura. Gestionando adecuadamente la salud del suelo, los agricultores pueden mejorar su estructura, el ciclo de los nutrientes y la retención de agua.
- **Agricultura de precisión:** Los análisis de suelo pueden ayudar a los agricultores a identificar las zonas con diferentes características de suelo y

necesidades de nutrientes, lo que permite una fertilización más específica y otras prácticas de gestión agrícola.

- **Protección del medio ambiente:** Al evitar la aplicación excesiva de fertilizantes y otras enmiendas del suelo, los agricultores pueden reducir el riesgo de escorrentía de nutrientes y los problemas medioambientales asociados.

En general, el análisis del suelo es una herramienta rentable que puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones sobre las prácticas de gestión del suelo, lo que mejora el rendimiento de los cultivos, la protección del medio ambiente y la sostenibilidad a largo plazo (AGQLabs, 2020).

2.11. Sistemas de producción

Los sistemas de producción agropecuarios se definen como el conjunto de insumos, técnicas, mano de obra, tenencia de la tierra y organización de la población para producir uno o más productos agrícolas y pecuarios. Estos sistemas, complejos y dinámicos, están fuertemente influenciados por el medio rural externo, incluyendo mercado, infraestructura y programas, por lo que facilitan la evaluación ex ante de inversiones y políticas concernientes con la población rural (Hernández, 2022).

La caracterización de los sistemas de producción a escala regional permite tener una perspectiva espacial integral del uso del territorio, de sus recursos (suelo, agua, vegetación), del manejo actual y por ende de las posibles externalidades para la cuenca. La dominancia de monocultivos, acentuada por el uso de variedades mejoradas, sugiere el desplazamiento de variedades locales, lo cual incrementa la vulnerabilidad ambiental, agrícola, social y económica (Vargas, 2018).

En el Ecuador, la erosión de los suelos es un problema que afecta aproximadamente al 50% de las tierras. Más o menos 15% de las tierras degradadas, se encuentran en el callejón interandino y sobre las vertientes que lo bordean. Las pérdidas de suelo por erosión, en tierras netamente agrícolas llegan a 80 Tm de la capa superficial del suelo, cada año por hectárea de acuerdo a un cálculo de la Fundación Natural (INIAP, 2022).

En la actualidad, las personas han empezado a entender que la agricultura no solo debe tener una alta productividad, sino también ser sustentable. Se ha propuesto a la agricultura de conservación como un conjunto de principios de manejo ampliamente adaptado que pueden asegurar una producción agrícola más sustentable. Es una práctica agrícola sostenible y rentable que busca la protección del medio ambiente, como también brindar un soporte a los agricultores en la reducción de costos de producción y mano de obra a través de sus tres principios: reducir al mínimo el movimiento del suelo (sin labranza); dejar el rastrojo del cultivo anterior en la superficie del terreno para que forme una capa protectora; practicar la siembra de diferentes cultivos, uno después de otro, o sea, la rotación de cultivos (INIA, 2020).

Los sistemas de producción son actividades que garantizan el normal avance y buen desarrollo desde la plantación de cacao hasta cosecha. En los sistemas agroforestales en el cacao se realizan cuatro cosas importantes, aplicando y haciendo uso de diferentes técnicas, como el deshierbe y el corte de las malezas, poda, fertilización y el control de la sombra. De igual forma, otro de los sistemas implementados por los agricultores es diseñar cultivos estacionales y anuales en las zonas cacaoteras que permitan reducir los costos de establecimiento y manejo en los primeros años de vida del cultivo, porque producen en pocos meses y algunos de los productos se venden, para con ello mismo solventar otros requisitos del cultivo del cacao.

Para el establecimiento de los sistemas de producción de café de alta productividad, se debe considerar como criterios determinantes: la selección de variedad adaptadas a la zona del cultivo y aplicación de tecnologías sostenibles (fertilización, manejo de suelos, control fitosanitario y otras medidas) y amigables con el ambiente, con el fin de obtener cafetos de excelente calidad y de producciones sostenibles, que favorezcan ingresos adecuados a la familia productora (Vargas, 2018).

Principales beneficios de los sistemas agroforestales

El Sistema Agroforestal (SAF) es la forma de usar la tierra, que implica la combinación de especies forestales, en tiempo y espacio, con especies agronómicas,

en procura de la sostenibilidad del sistema. Al establecer un SAF se deben aplicar técnicas de manejo de uso del suelo, combinando árboles de uso múltiple y maderables con cultivos agrícolas perennes y/o producción animal en el mismo sistema, lo cual se logra utilizando un "arreglo" o secuencia temporal de cultivo, según las prioridades del productor (Barrantes, 2021).

Entre los beneficios reportados para los SAF, se destacan los siguientes:

- Aprovechamiento óptimo del espacio físico.
- Aumento de los niveles de materia orgánica del suelo.
- Captura de dióxido de carbono.
- Conservación de la biodiversidad.
- Conservación del agua.
- Control de malezas.
- Mejoramiento del microclima.
- Protección de los suelos contra la erosión y la degradación.
- Reciclaje de nutrimentos.
- Diversificación de la producción.
- Sostenibilidad de los componentes agrícolas y forestales.
- Producción de madera.
- Promoción de una mayor estabilidad socioeconómica (Barrantes, 2021).

Manejo y evaluación de los sistemas agroforestales

El establecimiento de un sistema agroforestal involucra la selección y elección de las especies de cada componente, su diseño sobre el terreno y a lo largo de una secuencia temporal, las actividades de manejo y la evaluación de su funcionamiento.

Por lo anterior, las técnicas generales de manejo están dirigidas a:

- Proteger el suelo contra la pérdida de la capacidad productiva.
- Mantener el balance del ciclo de nutrimentos.
- Asegurar el suministro de agua y nutrimentos para los cultivos.

- Lograr un buen nivel de producción (INIAP, 2022).

El manejo incluye:

- El establecimiento y cuidados de cultivos y de otras plantas asociadas.
- El uso de los suelos.
- El control de plagas y, en un sentido amplio.
- El uso óptimo del sistema desde el punto de vista de los beneficios por obtener (Agroactivo, 2020).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación de la investigación

- **Localización de la investigación**

Se realizó en la provincia Bolívar, cantón Caluma, Parroquia Caluma en el sector Granja el Triunfo.

- **Situación geográfica y climática**

Altitud promedio	350 msnm
Latitud	01º 37´ 40"S
Longitud	79º 15´ 25″ O
Temperatura media anual	22,5 °C
Temperatura máxima	27 °C
Temperatura mínima	18 °C
Precipitación mínima anual	1 700 mm
Heliofanía promedio	720/horas/luz/año
Humedad relativa	81%

Fuente: (PDOT Caluma, 2022)

- **Zona de vida**

La vegetación según el sistema de zonas de vida de Holdridge, corresponde al bosque húmedo subtropical, (bh - ST). (Holdridge, 1979)

3.2. Metodología

3.2.1. Material experimental

Muestras de suelo en seis sistemas de producción

3.2.2. Factor en estudio

Calidad físico química de los suelos

3.2.3. Tratamientos

Tratamientos	Sistemas de producción
T1	M1. Cítricos
T2	M2. Cítricos – Cacao
T3	M3. Café robusto
T4	M4. Café - Guaba
T5	M5. Café arábigo
T6	M6. Cacao – Musáceas

3.2.4. Manejo del experimento en campo o laboratorio

- **Identificación de la zona de muestreo**

Para la identificación de la zona se procedió a la visita in situ en la zona de la granja experimental El Triunfo, mediante un recorrido, se reconoció los diferentes sistemas de producción, teniendo en consideración aspectos como relieve y vegetación.

- **Selección de sitios**

Se realizó la identificación de los espacios a ser estudiados dentro de la granja experimental el Triunfo, mediante la visita in situ tomando encuenta cada sistema de producción mismas que se seleccionó para realizar las calicatas.

- **Calicatas**

Se realizaron dos calicatas a profundidades de 0.50 cm por sistemas y se tomó 4 submuestras en los bordes de las calicatas con una pala plana en cada sistema, luego se procedió a homogenizar para así obtener 2 muestras, en cada uno de los sistemas.

- **Toma de muestras**

Para la toma de muestras se efectuó con la utilización de una pala plana cuadrada, las mismas que se extrajeron muestras a una profundidad de 0 - 50 cm en las calicatas realizadas, para lo cual se procedió a tomar 12 muestras, las mismas que correspondieron a los seis sistemas de producción a evaluar, las cuales fueron homogenizadas y colocadas en una funda transparente previamente identificadas. El proceso se llevó de manera sistemática, donde cada muestra correspondió a cada uno de los sistemas de producción en estudio.

- **Etiqueta de muestras**

Se realizará el etiquetado para tener un mejor manejo de las muestras en el laboratorio e identificación oportuna de los resultados, se etiquetaron cada una de las muestras obtenidas en la investigación.

- **Traslado de muestras**

Las 12 muestras tomadas en la granja experimental El Triunfo fueron llevadas al laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP-Santa Catalina, en donde se procedió a desarrollar la siguiente fase de análisis.

- **Ingreso de las muestras**

Para el respectivo ingreso de las muestras que fueron obtenidas de la zona en estudio, se realizó una correcta codificación y un etiquetado para llevar al laboratorio de suelos en lo que se desarrolló el análisis de sus propiedades físicas y químicas.

- **Estimación del índice de infiltración**

Para esta actividad se realizó con la ayuda de una regadera milimétrica y se procedió a colocar un anillo de 0.40 cm en cada uno de los estratos, donde se anotaron 3 registros para promediar y tener el dato de infiltración.

- **Estimación del índice de penetración**

Para establecer el índice de penetración se procedió a retirar cualquier residuo de la superficie del suelo para poder ver visiblemente el indicador de profundidad del penetrómetro, esto se realizó en una calicata de 0.50 cm, para lo cual se sube la pesa deslizante al nivel más alto y se deja caer, se registró el número de impactos que se pidió para empujar el cono a una distancia pre establecida internamente del suelo y valorar la resistencia a la penetración en diferentes profundidades.

3.2.5. Métodos de evaluación (variables respuesta)

- **Textura (T)**

Se evaluó las 12 muestras tomadas a la profundidad de 0 – 50 cm de acuerdo al laboratorio, se empleó el método de Bouyoucos y se clasificó mediante el esquema triangular de texturas de la U.S.D.A (United States Department of Agriculture), el análisis de esta variable se realizó en el Laboratorio del INIAP.

- **Humedad (HC)**

Para este parámetro se tomó una muestra en cada una de las calicatas, en los sistemas de producción, seguidamente se envió al laboratorio de suelos del INIAP para su análisis respectivo, los resultados serán expresados en porcentaje (%).

- **pH**

El potencial de hidrógeno (pH), fue determinado en el laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, de cada una de las muestras de los sistemas de producción, el resultado fue expresado de acuerdo a lo establecido en los niveles de pH del suelo para acidez, alcalinidad y basicidad.

- **Porcentaje de materia orgánica**

Se determinó mediante el contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black, la misma que requirió pesar 1 g de cada muestra y se les añadió 5 ml de dicromato de potasio a la 1 normal, más 10 ml de ácido sulfúrico concentrado lo

cual generó la oxidación del carbono orgánico del suelo, después se dejó reposar por 30 minutos y se añadió en el siguiente orden, 100 ml de agua destilada, 5 ml de ácido fosfórico y 5 gotas de di fenilamina obteniendo un color obscuro, el cual fué cambiando mediante la titulación con la sal de Mohr (sulfato ferroso) hasta que se torne de color azul obscuro hacia el verde, y finalmente se empleó la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de materia orgánica.

$$\%MO = \frac{(Vo - V)xNx0{,}39x1{,}72x1{,}1}{PM}$$

En donde:

Vo. - Volumen gastado en la titulación del blanco.

V. - Volumen gastado en la titulación de la muestra.

N. - Normalidad exacta del sulfato de hierro (0,5).

0,39. - Peso químico equivalente del carbono.

1,72. - Constante de conversión de C a MO.

1,1. - Error de conversión de C a MO (10%).

PM. - Peso de la muestra.

- **Contenido de macro y micro nutrientes del suelo (Suelo 4)**

Para determinar el contenido de macro y micro nutrientes en el suelo se tomó muestras de 1 kg, se procedió a enviar muestras de suelos para que se realize el servicio de **Suelo 4** en el Laboratorio del INIAP**,** dentro de este servicio se evaluó determinaciones como: pH, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre, Hierro, Cobre, Manganeso, Zinc, Boro, Suma de bases, Materia orgánica, Textura.

- **Determinación de infiltración (DI)**

Variable que se evaluó en los seis sistemas de producción de la granja experimental el Triunfo. Por ende, la determinación de infiltración se calibró en una regadera para registrar valores exactos de agua que se vertieron desde los 500 ml hasta los 5 l, esto se logró agregando volúmenes de agua conocidos en la regadera y se midió con una regla adherida a la misma, para saber el nivel que alcanza el agua, para lo cual se colocó un aro de alambre (40 cm de diámetro) en el suelo, sin impedir que

el agua salga del área y se aplicó la siguiente ecuación:

$$Flujo = \frac{V\ inicial - V\ final}{t}$$

Donde:

Flujo = velocidad de flujo (L s^{-1})

V inicial = volumen de agua en la regadera antes de la medición (L)

V final = volumen de agua en la regadera después de la medición (L)

t = tiempo de saturación (s)

- **Determinación de penetración (DP)**

Parámetro que se evaluó con la ayuda de un penetrómetro construido artesanalmente, luego se procedió a calcular la resistencia a la penetración según la metodología expresada por el CIMMYT, de tal manera se visualizó los impactos que se requieran para empujar el cono a una distancia ya establecida y los resultados se expresó en megapascales (Mpa), utilizando la siguiente formula:

$$R = \frac{(NxMxgxSD}{AxPD}$$

Donde:

R = la resistencia a la penetración (Pa)

N = el número de impactos

M = la masa de la pesa (5 kg)

g = la gravedad = 9.81 m/s^2

SD = la distancia que se desliza el martillo (m)

A = el área de la superficie del cono (m^2)

PD = la distancia de penetración (m)

3.2.6. Análisis de datos

- Estadística descriptiva
- Máximos
- Mínimos
- Medias

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de indicadores físicos

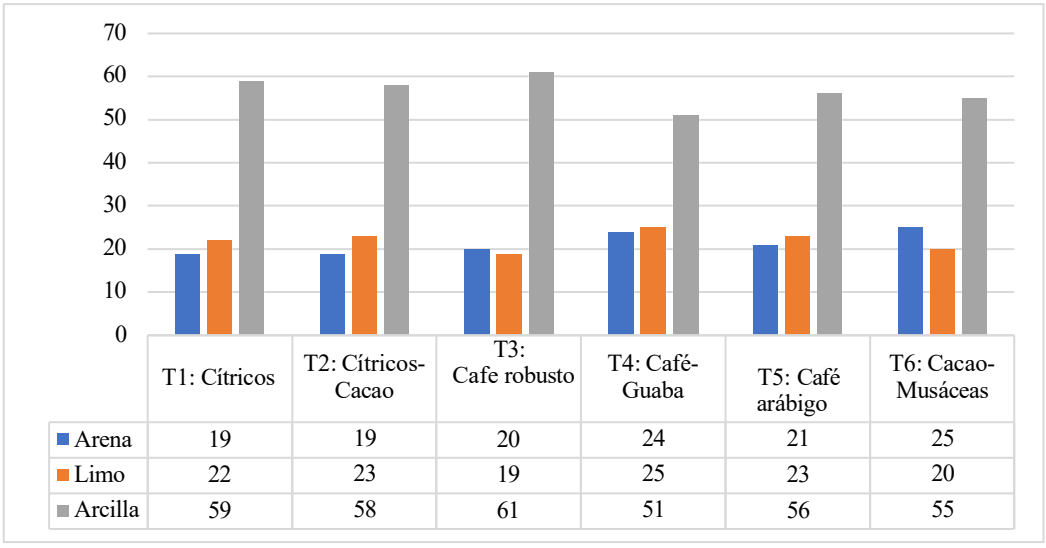
Tabla 1

Determinación de textura

Trat.	Sistemas de producción	Textura			
		Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
T1	Cítricos	19	22	59	Arcilloso
T2	Cítricos – Cacao	19	23	58	Arcilloso
T3	Cefé robusto	20	19	61	Arcilloso
T4	Café – Guaba	24	25	51	Arcilloso
T5	Café arábigo	21	23	56	Arcilloso
T6	Cacao – Musáceas	25	20	55	Arcilloso
M.G.		21.33 %	22 %	56.67 %	Arcilloso

Figura 1

Determinación de textura



Los resultados en relación a la textura se determinaron que los suelos de los seis sistemas de producción presentaron un suelo arcilloso, demostrando que no existio diferencias entre sistemas, se identificó que el sistema café robusto presentó la mayor concentración de arcilla en un 61%, mientras que el sistema de producción Café-Guaba se observó una concentración de arcilla con el 51%, y concentraciones menores de arena con 24%, y limo del 25 %. De tal manera las muestras analizadas en los seis sistemas permiten observar un alto contenido de arcillas, seguido de limo y arena.

En base a los datos obtenidos del análisis de laboratorio, nos da el tipo de suelo que presentan los seis sistemas de producción, el mismo que se identificó como un suelo arcilloso, cabe mencionar que, en los sistemas de producción, debido a ciertos factores, influyen directamente en la concentración y disponibilidad de nutrientes en el suelo.

El predominio de partículas de suelos arcillosos en suelos subtropicales no tiene implicaciones a la erosión de partículas, por diferentes factores como el agua y viento. La textura de un suelo es una propiedad que permite tener información sobre varios factores como; circulación del agua, erosión, ya que determina en gran parte la estructura, porosidad, capacidad de intercambio catiónico (Moreno, 2022).

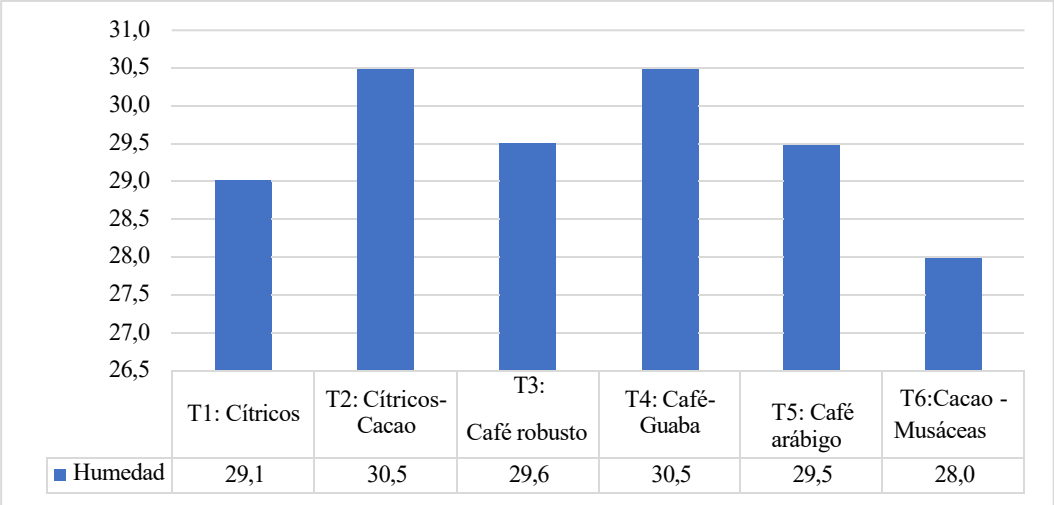
Tabla 2

Determinación de humedad

Tratamientos	Sistemas de producción	Humedad (%)
T1	Cítricos	29.1
T2	Cítricos – Cacao	30.5
T3	Café robusto	29.6
T4	Café – Guaba	30.5
T5	Café arábigo	29.5
T6	Cacao - Musáceas	28.0
M.G.		29.53

Figura 2

Determinación de humedad



En base a los resultados obtenidos del análisis de laboratorio, se puede determinar que existió diferencias numéricas para este indicador físico, donde el suelo del sistemas de producción de Cítricos-Cacao como de Café-Guaba obtuvieron el mayor contenido de humedad con 30,5%, mientras que el sistema de producción Cacao-Musáceas registró el valor mínimo de humedad con 28,0 %, resultados que demuestran que la capacidad de retención de humedad (CC), está en un rango del 28% al 30,5%.

Lo que permite deducir que el contenido de humedad en los suelos arcillosos presente en los sistemas tiene la capacidad de almacenar mayor cantidad de agua, por el tamaño de partículas, mismas partículas al ser muy finas generar compactación y dificulta la velocidad de infiltración, generando que no se desarrolle el sistema radical de los cultivos.

El exceso de humedad presente en los suelos arcillosos suele ser perjudicial, ya que causa estrés en el sistema radicular, conduciendo a su muerte. Además, produce grandes cantidades de aluminio durante las épocas de invierno, la capacidad de campo de un suelo arcilloso se encuentra entre el 30% y 45%. Esto significa que, después de haber sido saturado y dejado drenar libremente, un suelo arcilloso puede retener entre 30 y 45 gramos de agua por cada 100 gramos de suelo seco. *(INTAGRI, 2020)*

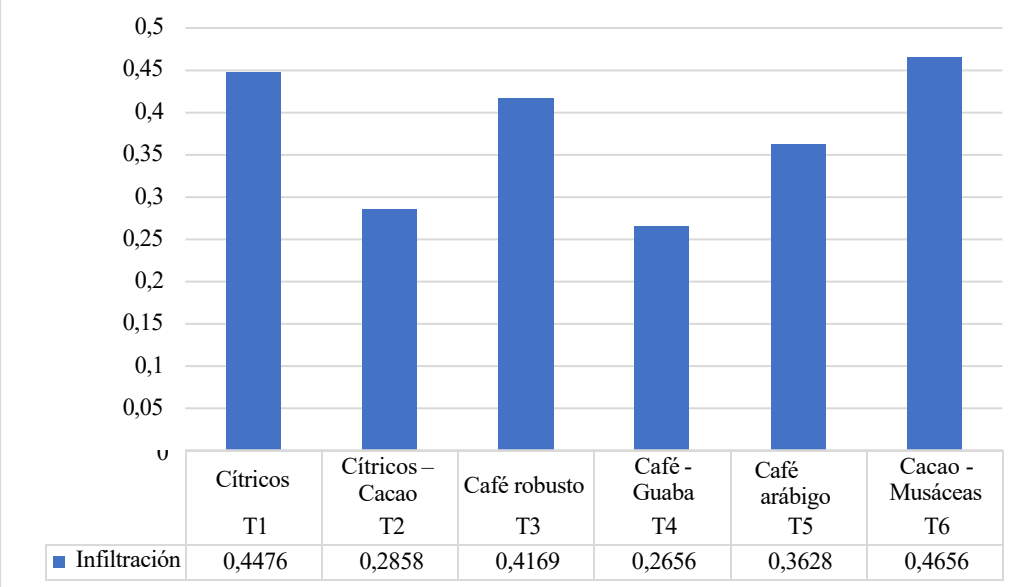
Tabla 3

Determinación de infiltración (DI)

Tratamientos	Sistemas de producción	Flujo L/s
T1	Cítricos	0.4476
T2	Cítricos – Cacao	0.2858
T3	Café robusto	0.4169
T4	Café – Guaba	0.2656
T5	Café arábigo	0.3628
T6	Cacao - Musáceas	0.4656
M.G.		0.3741

Figura 3

Determinación de infiltración



En base a los datos obtenidos del análisis del suelo, para la determinación de infiltración, se observó que el suelo del sistema de Cacao-Musáceas obtuvo la mayor infiltración con un valor de 0.4656 L/s, mientras que el sistema de Café-Guaba con 0.2656 L/s fue el que obtuvo la menor infiltración. Existen características que influyen de manera directa en la velocidad de infiltración tales

como: la textura, estructura de suelo arcillosos presentes en los sistemas en forma laminares además de pequeñas grietas y expansión del suelo cuando se humedece.

La velocidad de infiltración se define como la velocidad con la cual el agua penetra en el suelo, también se conoce como un proceso complejo que depende de las propiedades físicas e hidráulicas del suelo, como el contenido de humedad, la cantidad de agua recibido en el pasado debido a los cambios estructurales "laminares" y de cuanto aire se encuentra atrapado en el suelo (PROAIN, 2021).

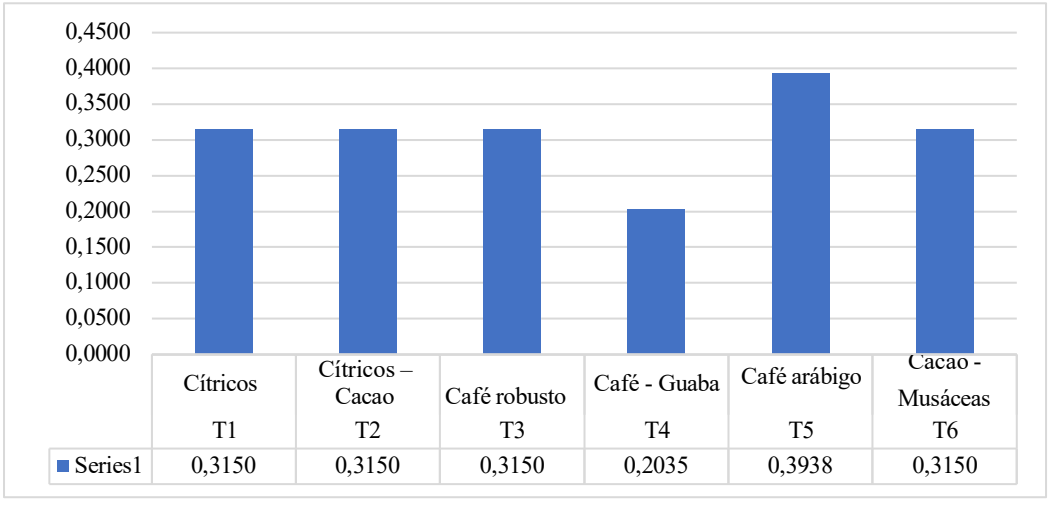
Tabla 4

Determinación de penetración (DP)

Tratamientos	**Sistemas de producción**	MPa
T1	Cítricos	0.3150
T2	Cítricos – Cacao	0.3150
T3	Café robusto	0.3150
T4	Café – Guaba	0.2035
T5	Café arábigo	0.3938
T6	Cacao - Musáceas	0.3150
M.G.		0.3096

Figura 4

Determinación de penetración



La resistencia a la penetración es un indicador del nivel de compactación de un suelo. La compactación limita el crecimiento radicular y la cantidad de aire y agua que disponen las raíces, se puede determinar que los suelos de la granja experimental el Triunfo, se encuentra con un promedio de 0,3096 Megapascales.

Se puede determinar que los suelos de los seis sistemas de producción el T5: Café obtuvo el valor máximo de penetración de 0.3938 Mpa, seguido de los tratamientos T1, T2, T3, y T6, que registraron un valor de 0.3150 mientras que el T4: Café-Guaba tiene el valor mínimo de penetración de 0.2035 Mpa, resultados que demuestran que los valores críticos son variables que dependen de muchos factores.

Se considera que los valores superiores a 2 MPa ocasionan que se reduzca significativamente el crecimiento de las raíces, de la mayoría de las especies cultivadas. Además, se determina que si se encuentra en una escala de $0 \leq RP \leq 0,9MPa$ permite que la planta no tenga restricciones para su desarrollo. La resistencia a la penetración se define como un indicador del nivel de compactación del suelo, en si la compactación limita el crecimiento radicular de cada planta y también la cantidad de aire y agua que disponen las raíces (Cubides, 2019).

4.2. Análisis de indicadores químicos

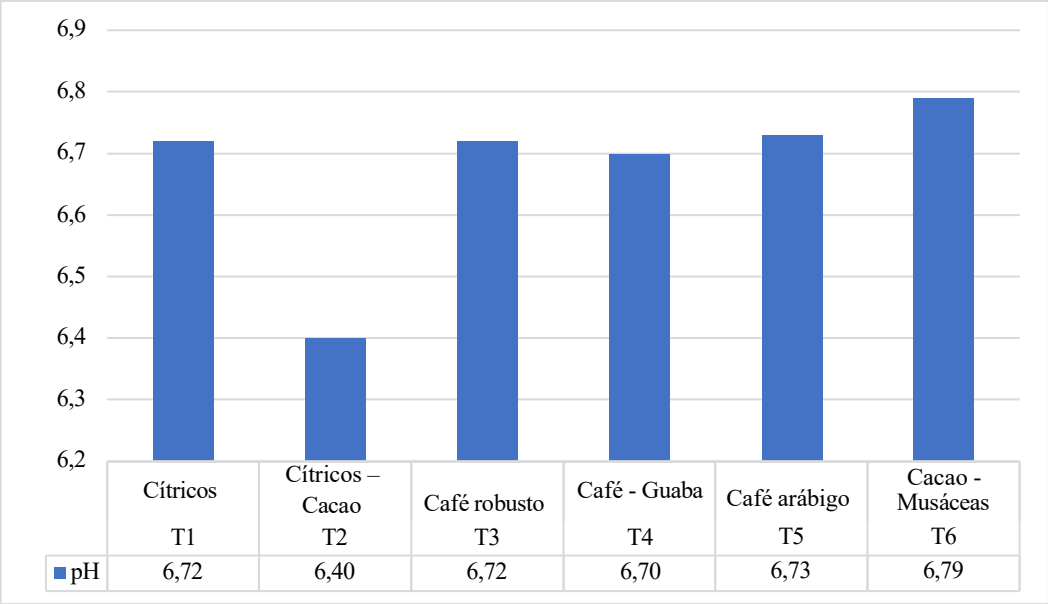
Tabla 5

Determinación del pH

Tratamientos	Sistemas de producción	pH
T1	Cítricos	6.72
T2	Cítricos – Cacao	6.40
T3	Café robusto	6.72
T4	Café – Guaba	6.70
T5	Café arábigo	6.73
T6	Cacao – Musáceas	6.79
M.G.		6.68

Figura 5

Determinación de pH



La determinación del pH, en la granja experimental el Triunfo, presentó un promedio de 6.68 pH, suelos poco ácidos a neutro, mismo que influye para la disponibilidad de nutrientes y pueden ser absorbidos en un 90 a 100%. El suelo del sistema de producción de Cacao-Musáceas registró el mejor resultado con 6.79, mientras que el sistema Cítricos-Cacao con 6.40 registrando el promedio más bajo de pH.

Se puede inferir que el suelo de la zona agroecológica en estudio se clasifica en suelos moderadamente ácidos a neutros siendo un rango adecuado donde las plantas se adaptan al nivel de este, y asi aprovecha la disponibilidad de los nutrientes.

Se considera que el pH óptimo de los suelos debe variar de 6.5 a 7.0 para conseguir los mejores rendimientos y mayor productividad en el cultivo, considerándose como lixiviados por acciones de la lluvia como factor principal de este proceso. El pH en el suelo, es una de las variables más importantes en la determinación de calidad de los productos, se encuentra vinculado a los procesos químicos que tiene lugar en el mismo, fundamentalmente con disponibilidad de nutrientes para las plantas (FA0, 2022).

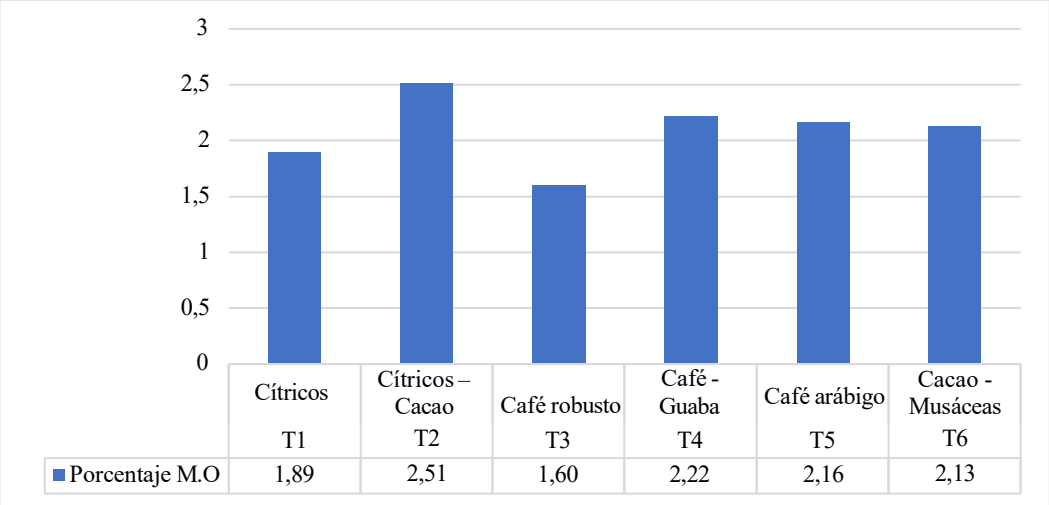
Tabla 6

Determinación del porcentaje de materia orgánica

Tratamientos	Sistemas de producción	Materia orgánica (%)
T1	Cítricos	1.89
T2	Cítricos – Cacao	2.51
T3	Café robusto	1.60
T4	Café – Guaba	2.22
T5	Café arábigo	2.16
T6	Cacao - Musáceas	2.13
M.G.		2.09 %

Figura 6

Determinación de porcentaje de materia orgánica



La determinación de materia orgánica, se observó que el suelo del sistema de Cítricos-Cacao obtuvo el mayor porcentaje de materia orgánica con 2.51%, cabe mencionar que el suelo en este sistema de producción tiene mayor presencia de limo y arcilla, datos que corroboran con el análisis de suelo.

Se determina que el menor porcentaje de materia orgánica presentó el sistema de Café robusto con 1.60% esto se debe a diversos factores como; mal uso de insumos

químicos debido a los factores antes mencionados el suelo va perdiendo su fertilidad.

Lo que permite deducir que el sistema Cítricos-Cacao presenta el mayor nivel de materia orgánica, mencionando que las plantas de estos sistemas mediante los pelos absorbentes absorben H_2O, sales minerales presentes en el suelo y en la MO.

La materia orgánica del suelo se conoce como uno de los elementos importantes para determinar la productividad del suelo en forma sostenida, además, la presencia de MO es de gran importancia en la agricultura; debido a que las partículas minerales individuales del suelo forman agregados estables, mejorando así la estructura del suelo y facilitando su laboreo. Las principales fuentes de materia orgánica en suelos de producción agropecuaria son los residuos de la actividad ganadera, agrícola, forestal, industrial y de actividad humana (Grand, et al 2022).

4.3. Análisis de macro y micro nutrientes

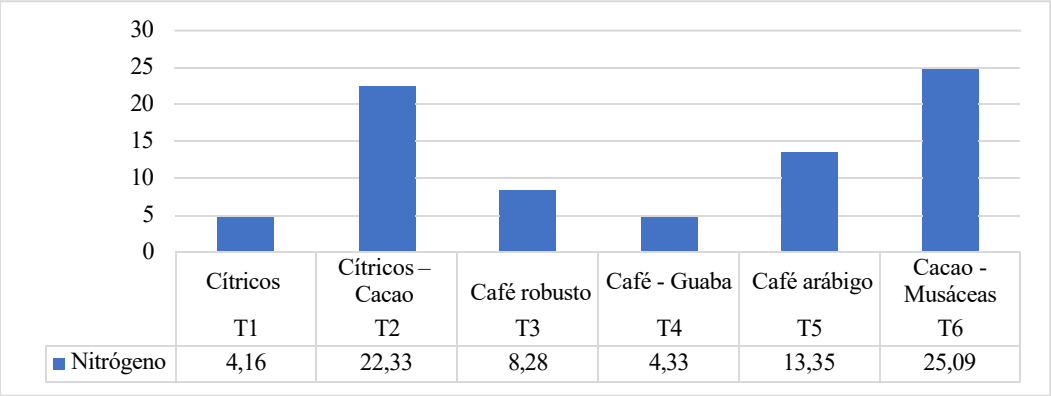
Tabla 7

Determinación de Nitrógeno (N)

Tratamientos	Sistemas de producción	Nitrógeno (ppm)
T1	Cítricos	4.16
T2	Cítricos – Cacao	22.33
T3	Café robusto	8.28
T4	Café – Guaba	4.33
T5	Café arábigo	13.35
T6	Cacao - Musáceas	25.09
M.G.		12.93

Figura 7

Determinación de Nitrógeno



Los resultados obtenidos en la determinación de nitrógeno, presentó una media general del contenido de N de 12.93 ppm, siendo calculado un suministro de suelo de 84,05 kg/N. El mayor contenido de nitrógeno se presentó en el suelo del sistema de Cacao-Musáceas con un valor de 25.09 ppm, y el menor porcentaje en el sistema Cítricos con 4.16 ppm según los cálculos de requerimiento nutricional.

Se puede inferir que el sistema Cacao-Musáceas presentó el mejor nivel de N con un suministro del suelo de 163,08 kg/N, a una profundidad de 50 cm, esto se debe en gran parte al manejo de rastrojos vegetales que han pasado por un proceso de desintegración y mineralización por el efecto de factores bióticos (microorganismos que se encuentran en el suelo) y abióticos (temperatura, humedad), una vez calculado el requerimiento nutricional de este sistema presenta un déficit de este nutriente de 182,88 kg/N mismo que debe ser enmendado para la próxima campaña de fertilización con un 25% adicional siendo así la aplicación a realizar de 228,63 kg/N

Cuando los suelos presentan un excelente contenido de N permite que la planta se desarrolle de la mejor manera, permitiendo el desarrollo de nuevas hojas con un excelente vigor de la planta. El N fundamental, para cacao y musáceas es de 285 kg/N, la eficiencia es nutriente es 1,5, por lo que participa en diferentes funciones como en la formación de proteínas vegetales, en la síntesis de proteínas y en proceso de fotosíntesis (Agrovitra, 2020).

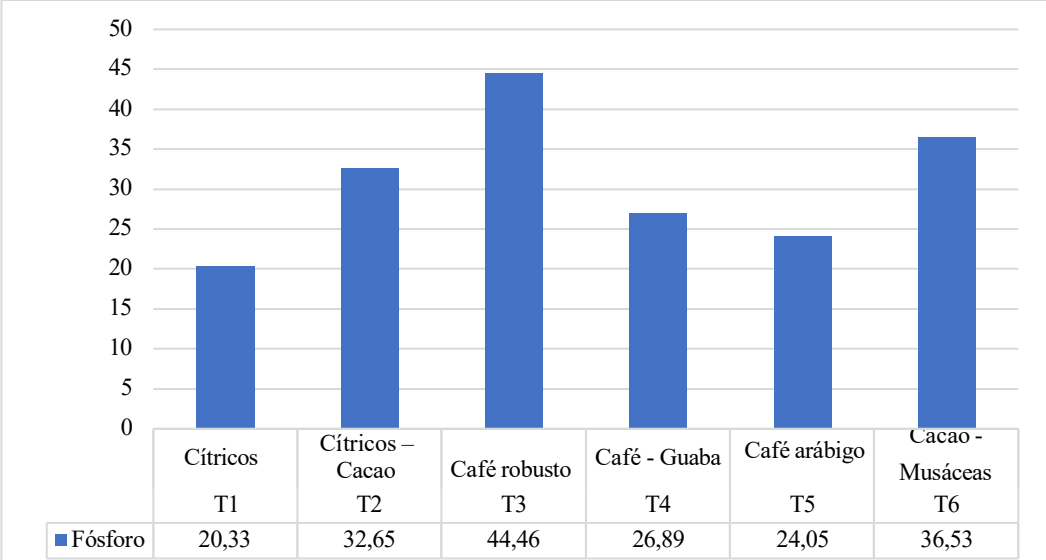
Tabla 8

Determinación de Fósforo (P)

Tratamientos	Sistemas de producción	Fósforo (ppm)
T1	Cítricos	20.33
T2	Cítricos – Cacao	32.65
T3	Café robusto	44.46
T4	Café – Guaba	26.89
T5	Café arábigo	24.05
T6	Cacao - Musáceas	36.53
M.G.		30.82

Figura 8

Determinación de Fósforo



En base los resultados obtenidos del análisis de laboratorio para la determinación de fósforo a una profundidad de 0 a 50 cm, se registró un valor de 44.46 ppm de contenido de P en el suelo del sistema de producción Café robusto, mientras que el

menor contenido de fósforo presenta el sistema de Cítricos con un valor de 20.33 ppm.

Se puede inferir que el fósforo en estos sistema están estables y por ende no necesitan una fertilización fosfatada, el fósforo presente en los sistemas ayuda a las plantas a un desarrollo rápido, mejora su resistencia a plagas y enfermedades.

El P es un macro nutriente de alta importancia para los cultivos agrícolas, luego del nitrógeno. Por ello, es muy transcendental que existan alta cantidades de este macro nutrientes. Ayuda a la formación de las raíces, se localiza, en estado mineral, al igual que en compuestos orgánicos fosforados con lípidos y glúcidos así por ejemplo la lecitina o fitina. Es un nutriente primario, lo cual supone que sea defectuoso comúnmente en la producción agrícola y cultivos, por lo que demandan de gran cantidad para un óptimo desarrollo de los cultivos. Ademas, la deficiencia de P se debe a diversos factores como el mal uso de insumos químicos, mala fertilización, rotación de cultivos, absorción de este nutriente por parte de las plantas, en si gracias a eso va perdiendo la fertilidad el suelo (Palomares, 2020).

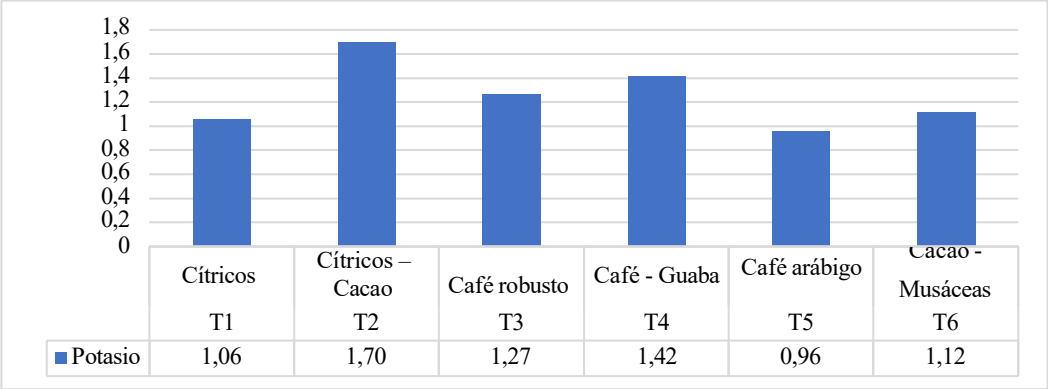
Tabla 9

Determinación de Potasio (K)

Tratamientos	Sistemas de producción	Potasio (meq/100g)
T1	Cítricos	1.06
T2	Cítricos – Cacao	1.70
T3	Café robusto	1.27
T4	Café – Guaba	1.42
T5	Café arábigo	0.96
T6	Cacao - Musáceas	1.12
M.G.		1.26

Figura 9

Determinación de Potasio



En el reporte de potasio, se obtuvó una media general de 1,26 meq/100g, siendo calculado un suministro de suelo de 384,93 kg K_2O. Se registró que el suelo del sistema de producción Cítricos-Cacao obtuvó la mayor concentración de potasio con un valor de 1.70 meq/100g, mientras que el sistema Café presentó el más bajo contenido de potasio con un valor de 0.96 meq/100g. La respuesta de los seis tratamientos evaluados en la presente investigación resultó ser casi iguales entre sí, mostrando altas cantidades de K.

En la zona agroecológica en estudio para el sistemas cítrico- cacao se encuentran con un nivel de potasio notorio con un suministro del suelo de 519,93 kg K_2O, a una profundidad de 50 cm, una vez calculado el requerimiento nutricional de este sistema presenta un déficit de este nutriente de 15,24 kg K_2O, mismo que debe ser enmendado para la próxima campaña de fertilización con un 25% adicional siendo asi la aplicación a realizar de 19,05 kg K_2O,

El Potasio se encuentra presente en la solución del suelo en pequeñas concentraciones, comprendidas de 0,5%, siendo renovado constantemente, y estando disponible para las plantas. Se dice que K al estar en bajas cantidades necesita enmiendas para reponer el K absorbido por las plantas. Por otra parte, diversos autores como (Moscatelli et al. 2020) mencionan que los análisis químicos ratifican que el contenido de potasio total del suelo no es un índice de fertilidad para los cultivos ya que los suelos contienen potasio en diferentes formas.

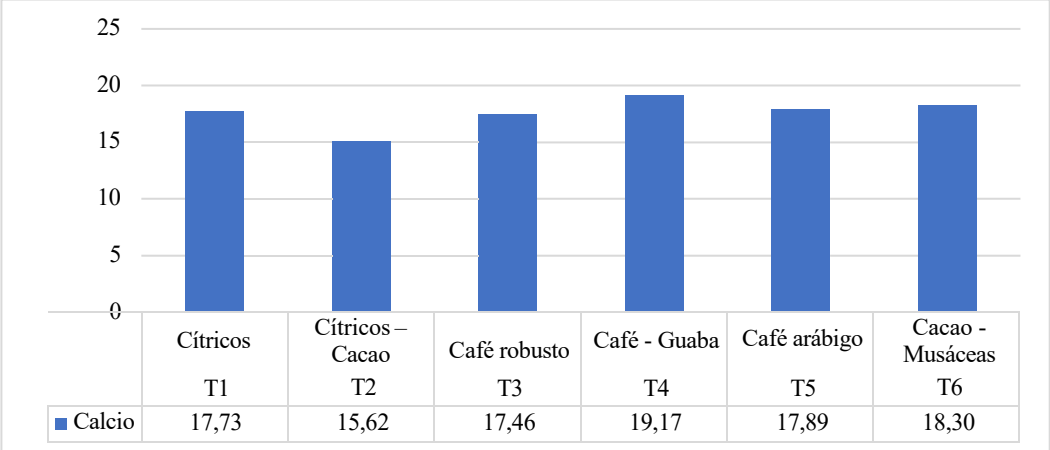
Tabla 10

Determinación de Calcio (Ca)

Tratamientos	Sistemas de producción	Calcio (meq/100g)
T1	Cítricos	17.73
T2	Cítricos – Cacao	15.62
T3	Café robusto	17.46
T4	Café – Guaba	19.17
T5	Café arábigo	17.89
T6	Cacao - Musáceas	18.30
	M.G.	17.70

Figura 10

Determinación de Calcio



Al evaluar el Calcio, presentó un efecto similar entre tratamientos, reportando una media general de 17,70 meq/100g. Para el reporte de calcio en el ensayo en los sistemas de producción, se encontraron diferencias mínimas entre tratamientos, no obstante, el contenido de Ca es alto de acuerdo a los análisis realizados.

El mayor contenido de Ca se obtuvo el suelo del sistema de Café-Guaba con un valor de 19.17 meq/100g, el menor contenido de calcio presenta el sistema Cítricos-

Cacao con un valor de 15.62 meq/100g. El Ca es un elemento que participa en el desarrollo y crecimiento del sistema radical, así como de tallos, hojas y frutos; ya que está a fín con la formación de la rizosfera y con los microorganismos que viven en el suelo.

El calcio es el nutriente encargado de mejorar la acides del pH de los suelos agrícolas. Con una correcta congregación de partículas, aire y agua pueden entrar a través de los poros, beneficiar el crecimiento, desarrollo de las raíces, contribuir a absorber los nutrientes y agua del suelo.

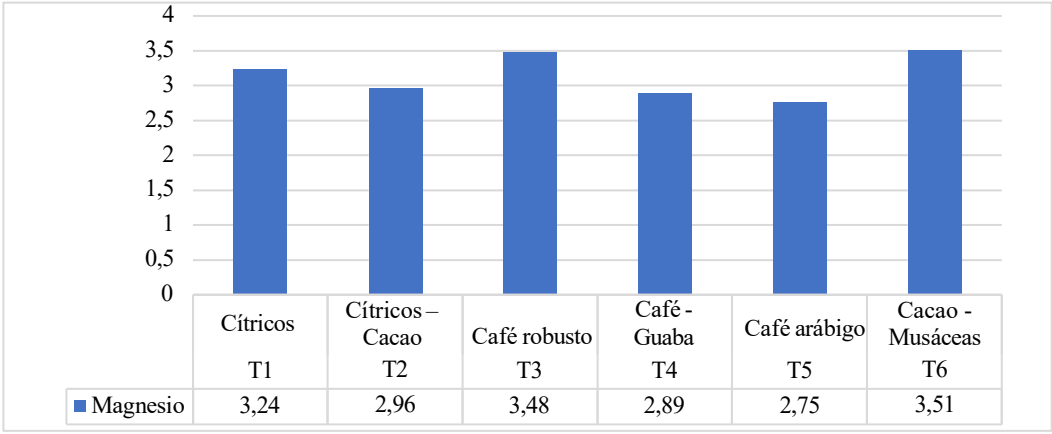
Tabla 11

Determinación de Magnesio (Mg)

Tratamientos	Sistemas de producción	Magnesio (meq/100g)
T1	Cítricos	3.24
T2	Cítricos – Cacao	2.96
T3	Café robusto	3.48
T4	Café – Guaba	2.89
T5	Café arábigo	2.75
T6	Cacao - Musáceas	3.51
M.G.		3.14

Figura 11

Determinación de Magnesio



En respuesta de los seis tratamientos evaluados para el magnesio se determinó una media general de 3.14 meq/100g, el suelo del sistema de producción Cacao-Musáceas obtuvo la mayor concentración de Magnesio con un valor de 3.51 meq/100g, mientras que, el suelo del sistema de producción Café presenta el más bajo contenido de magnesio con un valor de 2.75 meq/100g.

Se puede deducir que los tratamientos T3, T6 y T1 mantienen un alto contenido de este nutriente necesarios para el desarrollo de las plantas en estos sistemas, mismas que son requeridas en un 3.73 meq/100g en cultivos como Cacao- musáseas -Café y Citricos.

El Mg se encuentra asociado al pH y a los contenidos de elementos como K y Ca, siendo importantes para mantener el equilibrio de los nutrientes mencionados y que puedan ser asimilados por las plantas.

Los suelos subtropicales, poseen alto contenido de Mg, sin embargo, para mayor eficiencia influyen las concentraciones de bases Ca/Mg, Ca/K, así como del pH y factores bióticos y abióticos, sin embargo, estos no se encuentran disponibles en el suelo, debido a un desequilibrio en la relación de nutrientes; Ca, K y Mg añadiendo a esto la humedad por el cambio catiónico (INCOSAL, 2021).

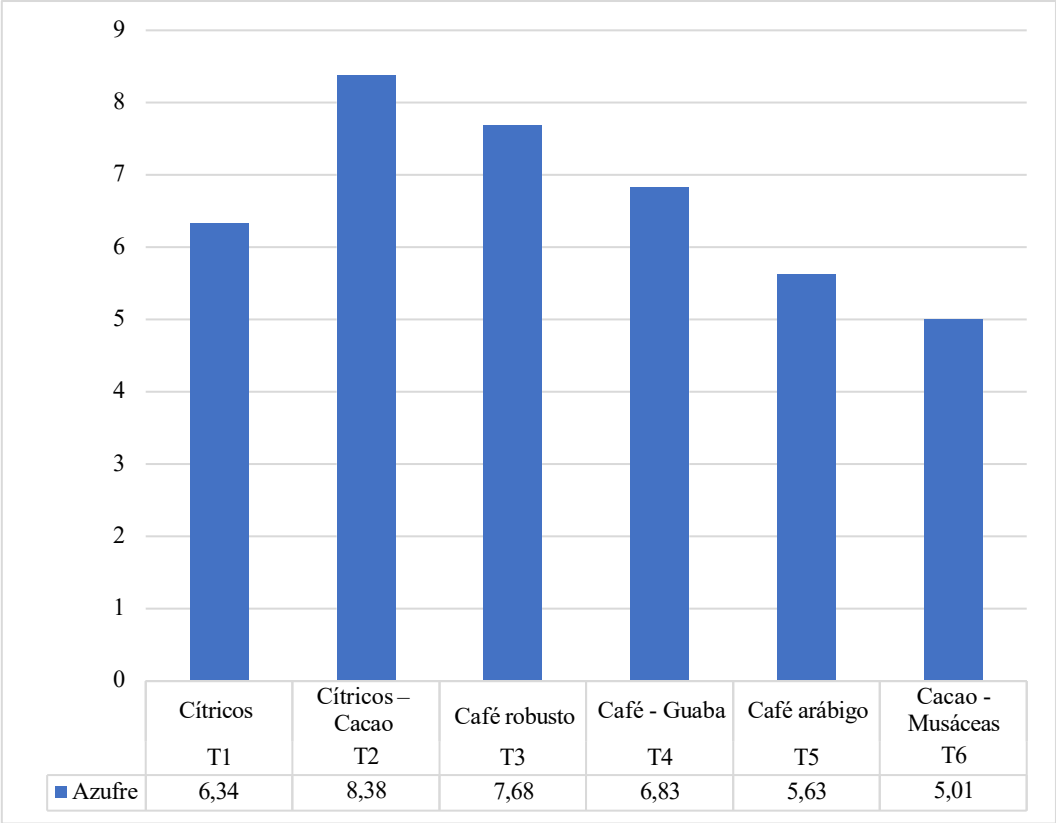
Tabla 12

Determinación de Azufre (S)

Tratamientos	Sistemas de producción	Azufre (ppm)
T1	Cítricos	6.34
T2	Cítricos – Cacao	8.38
T3	Café robusto	7.68
T4	Café – Guaba	6.83
T5	Café arábigo	5.63
T6	Cacao - Musáceas	5.01
M.G.		6.65

Figura 12

Determinación de Azufre



En base los resultados obtenidos del análisis de laboratorio para la determinación de Azufre a una profundidad de 0 a 50 cm se registró una media general de 6.65 ppm, se registró que el mayor contenido de S obtuvó el suelo del sistema de producción Cítricos-Cacao con un valor de 8.38 ppm, mientras que el sistema que presentó el más bajo contenido de S fue el Cacao-Musáceas con un valor de 5.01 ppm.

Los suelos agrícolas en su mayoría presentan niveles bajos de azufre extraíble. Los valores de S habitualmente son menores de 0.1 a 0.2%. Referente a los resultados obtenidos podemos inferir que este elemento es de gran importancia; en si la mayor parte de los agricultores no le consideran debido a que no es un nutriente primario. El azufre juega un papel muy importante, sobre todo en el equilibrio que presenta junto a otro nutriente como es el N, los requerimientos de azufre para cada cultivo van a depender mucho del tipo de suelo (Alvarez, 2022).

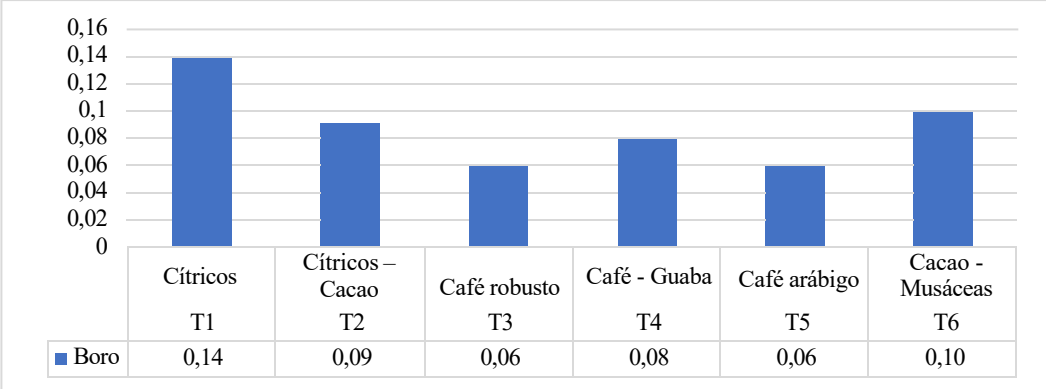
Tabla 13

Determinación de Boro (B)

Tratamientos	Sistemas de producción	Boro (ppm)
T1	Cítricos	0.14
T2	Cítricos – Cacao	0.09
T3	Café robusto	0.06
T4	Café – Guaba	0.08
T5	Café arábigo	0.06
T6	Cacao - Musáceas	0.10
M.G.		0.09

Figura 13

Determinación de Boro



Al realizar el análisis para la determinación de Boro se obtuvó una media general en los sistemas de 0.09 ppm, se determinó que el mayor contenido de B obtuvó el suelo del sistema de producción Cítricos con un valor de 0.14 ppm, mientras que los suelod del sistemas de producción que presentan un menor contenido de boro fueron Café robusto y el sistema de Café arábigo con un valor de 0.06 ppm.

En base a los resultados obtenidos se deduce que los suelos arcillosos, con textura pesada contiene generalmente menos cantidad de boro asimilable que los suelos limosos. Existe una estrecha relación entre el contenido de M.O. y el boro

asimilable presente en los suelos evaluados. El Boro asimilable para las plantas se encuentra concentrado en las capas superficiales de los suelos que tengan un buen drenaje y este ligado de manera estricta con la materia orgánica.

El boro en el suelo puede estar en un contenido 20 ppm, pero todo el boro presente no puede ser asimilado por las plantas, en general la cantidad de boro que puede ser asimilado es menos del 5%. Esto se debe a que es un componente habitual de los minerales del grupo de turmalina, granitos y otras rocas eruptivas (Espinoza, 2019).

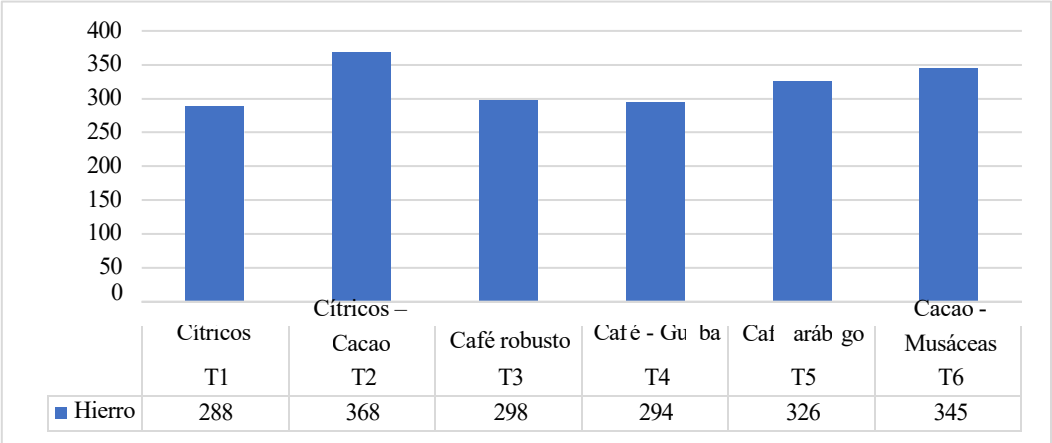
Tabla 14

Determinación de Hierro (Fe)

Tratamientos	Sistemas de producción	Hierro (ppm)
T1	Cítricos	288
T2	Cítricos – Cacao	368
T3	Café robusto	298
T4	Café – Guaba	294
T5	Café arábigo	326
T6	Cacao - Musáceas	345
M.G.		319.83

Figura 14

Determinación de Hierro



En base al análisis de laboratorio en relación a la determinación de Hierro, se registró que el suelo del sistema de producción Cítricos-Cacao obtuvó la mayor concentración de Hierro con un valor de 368 ppm, mientras que el sistema Cítricos presenta el más bajo contenido de Hierro con un valor de 288 ppm.

El Fe al presentar altas cantidades puede causar deficiencias de P, K y Zn, además no solo se necesita este nutriente para el desarrollo de las plantas de los sistemas, también esta distribuido de dos formas diferentes, siendo que en el horizonte superficial los patrones de distribución de este elemento son distintos a los horizontes subsuperficiales y también dependería de las prácticas realizadas por el agricultor.

El hierro a pesar de ser el cuarto elemento más concentrado en la tierra, los suelos en general solo contienen entre el 1 a 5% de hierro total, la mayor parte de este nutriente se encuentra en minerales de silicatos u óxidos e hidróxidos de hierro, formas que no están disponibles para las plantas, ocasionando deficiencia de Fe en los cultivos y pueden bajar los rendimientos (Fertilab, 2021).

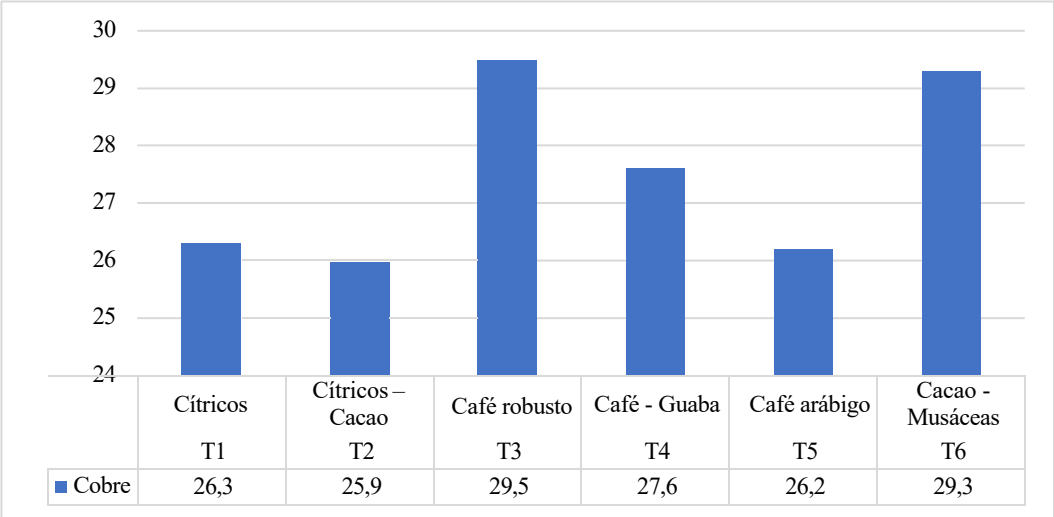
Tabla 15

Determinación de Cobre (Cu)

Tratamientos	Sistemas de producción	Cobre (ppm)
T1	Cítricos	26.3
T2	Cítricos – Cacao	25.9
T3	Café robusto	29.5
T4	Café – Guaba	27.6
T5	Café arábigo	26.2
T6	Cacao - Musáceas	29.3
M.G.		27.5

Figura 15

Determinación de Cobre



En respuesta de los seis tratamientos evaluados para el cobre se determinó una media general de 27.5 ppm, el mayor contenido de Cu obtuvó el suelo del sistema Café robusto con un valor de 29.5 ppm, mientras que el sistema de producción que presentan un menor contenido de cobre fue el Cítricos-Cacao con un valor de 25.9 ppm.

En relación a los resultados presentados se deduce que la presencia de cobre es un factor importante para la formación de clorofila y un crecimiento idóneo para las plantas, mientras que en el sistema cacao – musáceas es muy importante para la prevención de enfermedades, presentando alto requerimiento de este nutriente. La deficiencia de cobre ocasiona diferentes aspectos como una clorosis intervenal, necrosis y un curvado en las hojas jóvenes donde ellas presentan una escasa distribución de cobre.

El Cu es uno de los micronutrientes necesarias en pequeñas dosis para que las plantas se desarrollen de la mejor manera. En el suelo o sustrato el rango normal es de 0.05 – 0.50 ppm, mientras que la mayor parte de los tejidos presenta de 3-10ppm. Comparando el índice ideal de hierro en el tejido se demuestra que es 20 veces más elevado que el Cu. Rara vez en los cultivos se presenta una deficiencia o toxicidad del cobre, pero de igual forma se debe evitar los extremos debido a que puede afectar en el crecimiento y calidad de los cultivos (Hernández, 2022).

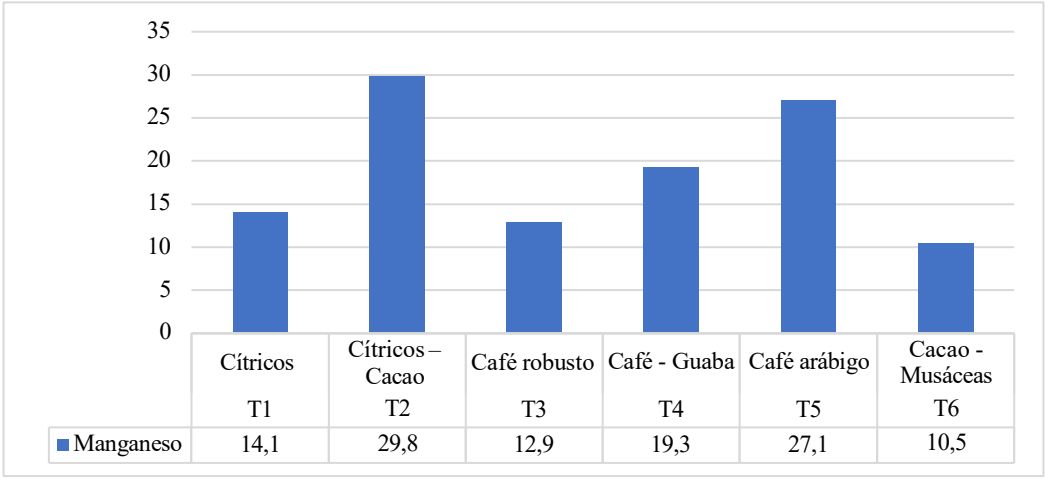
Tabla 16

Determinación de Manganeso (Mn)

Tratamientos	Sistemas de producción	Manganeso (ppm)
T1	Cítricos	14.1
T2	Cítricos – Cacao	29.8
T3	Café robusto	12.9
T4	Café – Guaba	19.3
T5	Café arábigo	27.1
T6	Cacao - Musáceas	10.5
M.G.		19.0

Figura 16

Determinación de Manganeso



De acuerdo a los resultados registrados en esta investigación en relación a la determinación de Manganeso se obtuvó una media general de 19 ppm, el suelo del sistema de producción Cítricos-Cacao obtuvó la mayor concentración de Mn con un valor de 29.8 ppm.

Se observa que el sistema Cacao-Musáceas presenta el más bajo contenido de manganeso con un valor de 10.5 ppm. Los síntomas de deficiencia pueden presentar en las hojas intermedias, debido a la preferencia de transporte del Mn desde la raíz a las hojas intermedias y no a las hojas jóvenes.

El Mn es de gran importancia en la agricultura, siendo reportado como unos de los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. De la misma manera este mineral es clasificado como un micronutriente por la cantidad pequeña que necesita la planta, pero así es muy importante, por ejemplo, la necesidad de Mn es tan significativa para la planta, así como el Nitrógeno o Potasio. El contenido total de Mn oscila entre 20 a 50 ppm (INTAGRI, 2020).

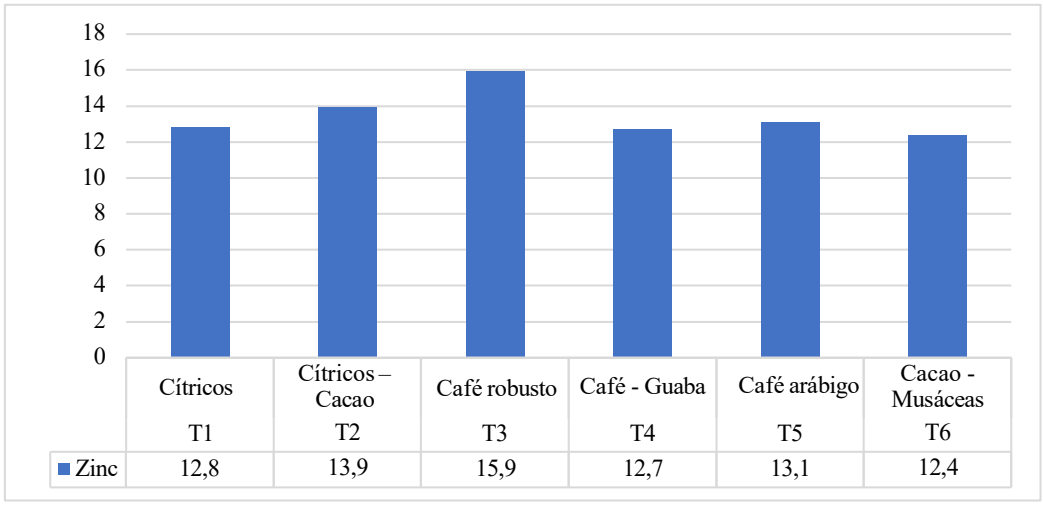
Tabla 17

Determinación Zinc (Zn)

Tratamientos	Sistemas de producción	Zinc (ppm)
T1	Cítricos	12.8
T2	Cítricos – Cacao	13.9
T3	Café robusto	15.9
T4	Café – Guaba	12.7
T5	Café arábigo	13.1
T6	Cacao - Musáceas	12.4
M.G.		13.5

Figura 17

Determinación de Zinc



El contenido de zinc presente en la zona del Triunfo en los sistemas de producción, mostró una media general de 13.5 ppm, el suelo del sistema Café robusto registró el mayor contenido de Zn con un valor de 15.9 ppm, mientras que el sistema de producción Cacao-Musáceas presentó un menor contenido de zinc con un valor de 12.4 ppm.

La respuesta de los seis tratamientos evaluados mostró ser iguales, sin embargo, de acuerdo a la metodología usada, el contenido de Zn es alto.

El Zinc se encuentra vinculado al pH y a la disponibilidad de elementos entre ellos el Ca y Mg, ya que son indispensables para alcanzar el equilibrio y de esta manera sean asimilados para las plantas. Además, es un micronutriente que cumple funciones importantes como son: la fotosíntesis, síntesis de proteínas, la estructura de membranas y defensa frente al ataque de enfermedades

Varios investigadores han reportado que la concentración de Zn total en los suelos es de 55 mg/kg, donde el rango distintivo oscila entre las 10 a 300 ppm. Este contenido total se halla distribuido en tres fracciones; soluble (vigente en la solución del suelo); intercambiable (adsorbido a los coloides); y fijado. De las tres fracciones solo en solución del suelo puede estar disponible para las plantas (4 a 270 $\mu g/L^{-1}$), pero además, es fácilmente lixiviado en los suelos tropicales con altas precipitaciones (Palomino, 2019).

4.4. Comprobación de hipótesis

En base a los resultados obtenidos mediante la evaluación física química de los suelos en los seis sistemas de producción en la granja experimental el Triunfo. Se puede comprobar que existieron diferencias numéricas en los sistemas de producción, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, misma que señala "la calidad física química del suelo depende del sistema de producción.

CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES

- Se determinó para la variable física textura; presentó una clase textural de tipo arcilloso en los suelos de los sistemas de producción, este resultado se debe a los contenidos concisos de arena, limo y arcilla. En el parámetro humedad se registra una media general de 29.53 %, evidenciando excelentes condiciones en los diferentes sistemas evaluados y relacionados con la actividad agrícola.

- Referente al análisis físico-químico, el pH registró una media general de 6.67 que se encuentra en la escala moderadamente ácido a neutro. También al determinar el porcentaje de M.O. se registró un promedio de 2.09 %, gracias a esto se evidenció que el suelo en la zona del Triunfo tiene poco contenido de materia orgánica en la profundidad de 0 – 50 cm.

- Para la determinación de macro y micro nutrientes, se registraron ser dependientes del sistema de producción establecidos en la zona de estudio, como también del grado de erosión al que se encuentra expuesto, el piso altitudinal del muestreo de suelos entre otros aspectos.

- El contenido de los nutrientes primarios NPK, en los seis sistemas de producción se mantuvo en un rango medio alto, estos minerales son indispensables en los suelos agrícolas, al permitir un mejor desarrollo de las plantas. Mientras que el análisis de los nutrientes secundarios como Ca, Mg, y S igual se encuentra en un rango medio alto, permitiendo al agricultor tener una certeza de que su cultivo se va desarrollar de la mejor manera.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que los suelos que van destinados a la agricultura, deben partir siempre de un análisis de suelo, ya que es un método que permite conocer la realidad en cuanto a las propiedades físicas y químicas a la vez ayuda a tomar la mejor decisión previo a establecer un cultivo y realizar un excelente manejo de la plantación. Debido a esto el agricultor genera un programa de fertilización con el propósito de tener excelentes resultados en el desarrollo de la planta y su rendimiento.

- Realizar la continuidad con los procesos de validación en los seis sistemas de producción a una profundidad del suelo de 50 a 100 cm, con el propósito de determinar el estado físico - químico de la zona en estudio. De la misma manera exponer los resultados obtenidos en la presente investigación a la población con la finalidad de que le sirvan como base para implementar cultivos netamente adecuados en la granja el Triunfo.

BIBLIOGRAFÍA

AGQLabs. (2020). La importancia del análisis de suelos agrícolas. Obtenido de https://agqlabs.co/2017/02/03/la-importancia-del-analisis-suelos-agricolas/#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20suelos%20tambi%C3%A9n,cantidad%20de%20fertilizante%20a%20aplicar.

Avila, J. (2020). Estudio del uso y manejo de los plaguicidas en cultivos de ciclo corto en Puerto . . Obtenido de http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2736/1/TESIS%20FINAL%20JOANTHAN%20AVILA%2005-12-2020.pdf#page=24&zoom=100,109,537

Agrovitra. (2020). La gran importancia del potasio en las plantas. Obtenido de https://www.agrovitra.com/media/2022/12/Potasio-Fernanda-Habit.pdf

Agroproductores. (2019). Funciones del nitrógeno en las plantas. Obtenido de https://agroproductores.com/funciones-del-nitrogeno-en-las-plantas/

Armas, X. (2022). Evaluación física - química de los suelos de Laguacoto III de la Universidad Estatal de Bolívar. Obtenido de https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/6146

Alvarez. (2022). Elementos del suelo esenciales para las plantas. Obtenido de https://www.infoagro.com/documentos/elementos_del_suelo_esenciales_plantas.asp

Agroactivo. (2020). Los micronutrientes del suelo. Obtenido de https://agroactivocol.com/nutricion-vegetal/los-nutrientes-del-suelo-segunda-parte-los-micronutrientes/

Barrantes, A. (2021). Guía técnica SAF para la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF) con árboles forestales maderables. Obtenido de Sistemas Agroforestales: https://www.biopasos.com/biblioteca/guia_sistemas_agroforestales.pdf

Chicaiza, J. (2020). Evaluación de indicadores de la calidad del suelo en áreas de producción de brócoli . Obtenido de http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7108/1/PC-001036.pdf

Cakmak. (2019). El Magnesio: Nutriente esencial en la producción de cultivos. Obtenido de Compo Expert: https://www.compo-expert.com/sites/default/files/2020-07/Journal%20Nutrici%C3%B3n%20Mineral.pdf

Delli, B. (2022). Caracterización físico-química del suelo en cultivos de ciclo corto comunidad, Corazón de Jesús. Obtenido de Universidad Nacional de Chimborazo: http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10246

Ecuaquimica. (2021). Ecuanoticias.com.ec. Obtenido de http://ecuanoticias.com.ec/pdf_agricola/VITAVAX.pdf

Espinoza, A. (2019). Guía Muestreo de Suelos. Fundación Haward Buffett (HGBF).

FAO. (2020). Importancia del suelo, Formación. Obtenido de Organización para las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Situación Alimentaria Mundial: http://www .fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/

FAO. (2020). Estructura del suelo. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: https://www.fao.org/fishery/static/faotraining/faotraining/general/x6706s/x6706s07.htm#: ~:text=la%20estructura%20del%20suelo%20se,mayores%20y%20se%20denomi nan%20agregados%20.

FAO. (2022). Planificación y realización de un levantamiento de suelos. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación:https://www.fao.org/fishery/static/fao-training/faotraining/general/x6706s/x6706s02.htm

FAO. (2023). ¿Qué es el suelo? Obtenido de Portal de Suelos de la FAO: https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/

Fertilab. (2021). Funciones del Molibdeno en las plantas. Obtenido de https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/Por_que_las_Plantas_Necesitan_Molibdeno.pdf

Fertiberia. (2020). La importancia del molibdeno y el cobalto en la planta. Obtenido de https://www.fertiberia.com/la-importancia-del-molibdeno-y-el-cobalto-en-la-planta/#:~:text=El%20Molibdeno%20(Mo)%20es%20un,%3A%20nitrato%2Dreductasa%20y%20nitrogenasa.

Graterón, A. (2020). Caracterización fisicoquímica y mineralógica de un suelo de uso agrícola ubicado en el campus El Limonal de la Universidad Santo Tomás, Piedecuesta.

Hernández, E. (2022). El impulso del desarrollo sustentable en los procesos de producción animal y su impacto económico. Sistema agroforestal. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/141/14173239004/14173239004.pdf

INIA. (2020). Programa Nacional de Investigación en suelos - agua. Obtenido de Instituto Nacional de Innovación Agraria: https://www.inia.gob.pe/pn-suelos-aguas/

INTAGRI. (2021). El cobre en la nutrición Vegetal. Obtenido de Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura: https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-cobre-en-la-nutricion-vegetal#:~:text=El% 20cobre%20ayuda%20a%20formar,y%20la%20resistencia%20al%20estr%C3%A9s.

Infoagro. (2020). Análiss del suelo y sus beneficios. Obtenido de https://www.infoagro.com/abonos/analisis_suelos.htm

INTAGRI. (2023). Funciones del Calcio (Ca) en la nutrición de los cultivos. Obtenido de Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura: https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/funciones-del-calcio-en-la-nutricion-de-los-cultivos

Infoagro. (2020). Importancia del Azufre (S) en las Plantas. Obtenido de https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/importancia-del-azufre-s-en-las-plantas#:~:text=Tiene%20funciones%20que%20sirven%20a,de%20las%20c%C3%A9lulas%20por%20frio.

INTAGRI. (2020). Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Obtenido de Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura: https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas

INIAP. (2022). Manejo de sistema agroforestal. Obtenido de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias : file:///C:/Users/ASUS/Downloads/unido%20sistemas.pdf

Legarda, R. (2015). Efecto de la omisión de nutrientes en cuatro variedades de Brachiaria. Santo Domingo, Ecuador. : Universidad Tecnológica Equinoccial, Campus Santo Domingo.

Mendoza, B. (2018). Guía Técnica para muestreo de Suelos. Mnagua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.

MGAP. (2019). Perfiles del suelo, concepto. Obtenido de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Uruguay: http://www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/Los%20Suelos.pdf

Ninabanda, A. (2021). Evaluación físico química del suelo bajo sistemas de labranza y niveles de nitrógeno para agricultura de conservación en el cultivo de maíz suave iniap – 111 en la provincia Bolívar. Obtenido de https://dspace.ueb.edu.ec/handle/1234006

MAG. (2019). Resumen Ejecutivo de los Diagnósticos Territoriales del Sector Agrario. Quito-Pichincha: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Obtenido de https://www.agricultura.gob.ec/wpcontent/uploads/2020/08/Resumen-Ejecutivo-Diagn%C3%B3

Pinareque, N. Vásquez, J. y Núñez, K. (2013). Manual de procedimientos de laboratorios de suelos. Santa Marta, Colombia: Universidad de la Magdalena.

Pérez, F. (2020). Muestreo y determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con bosque natural y plantaciones comerciales. Obtenido de Universidad Autónoma Chapingo: https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/a24d0ad5-350d-480c-a978-931f09c9d19d/content

Plaman, G. (2022). Guia completa sobre el analisis del suelo. Obtenido de https://biomemakers.com/es/la-guia-completa-sobre-el-analisis-del-suelo

SEIPASA. (2019). El hierro en las plantas: por qué es importante ponerlo a disposición para corregir la clorosis férrica. Obtenido de https://www.seipasa.com/es/blog/hierro-en-las-plantas-y-correccion-de-laclorosis-ferrica/

Samaniego, J. (2019). Caracterización de macro y micro nutrientes de suelos expuestos a procesos erosivos, en la parroquia Santa Fe. Provincia Bolívar. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e43ad745-6b7d-48e4-a016-b753fdd3b659/content

%B3n%20agr%C3%ADcola,uno%20o%20m%C3%A1s%20productos%20agr%C3%ADcolas.

Thompson, L. (2019). Los suelos y su fertilidad. Barcelona: Reverté. Obtenido de https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Losmicroelementosenlanutricionvegetal.pdf

Vargas, J. (2018). Estudio etnográfico sobre el sistema de producción agrícola . Obtenido de Universidad Nacional de San Augustin: https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/55afd6d9-57f2-47db-9479-aa78fe35b157/content#:~:text=Los%20sistemas%20de%20producci%C3

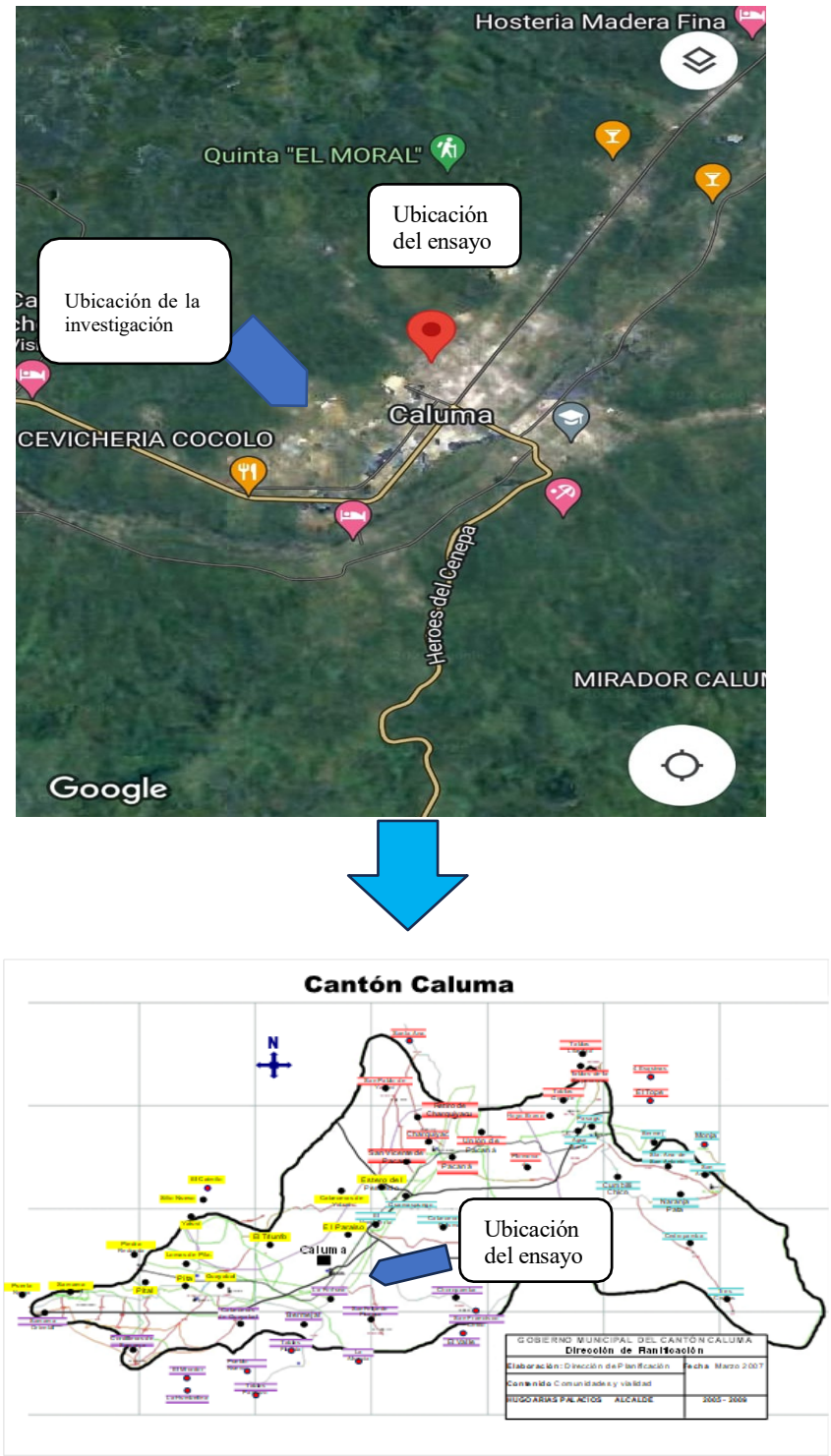
Zamora, E. (2020). Los macronutrientes y su relación en el suelo. Obtenido de https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/los-macronutrientes-y-su-relacion-en-el-suelo

Zoberbac. (2023). Todo lo que hay que saber del fósforo en los cultivos agrícolas. Obtenido de https://zoberbac.com/todo-lo-que-hay-que-saber-del-fosforo-en-los-cultivos-agricolas/#:~:text=%C2%BFPara%20qu%C3%A9%20sirve%20el%20f%C3%B3sforo,Crear%20las%20ra%C3%ADces.

ANEXOS

Anexo 1.

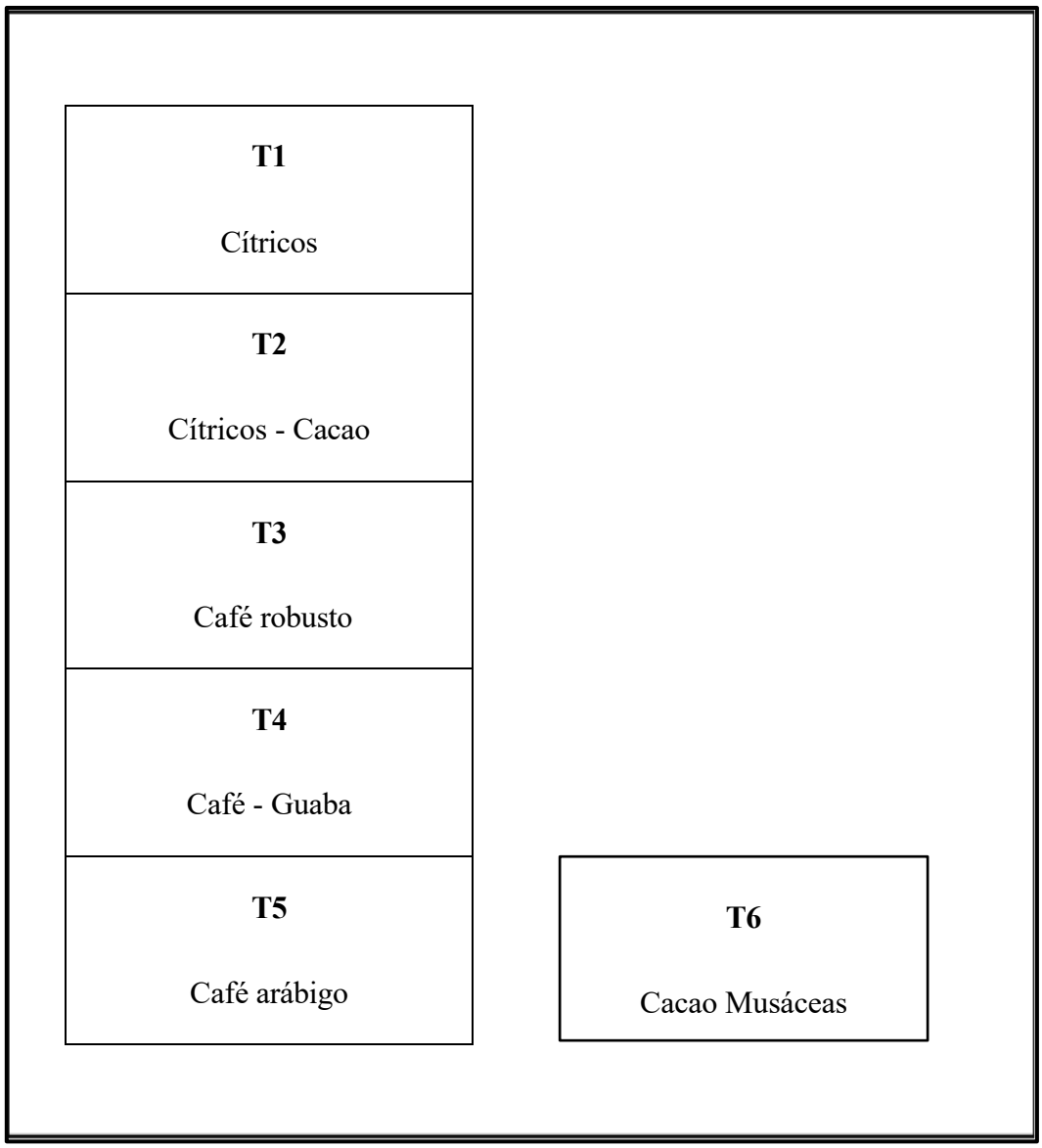
Mapa de la ubicación de la investigación



Fuente: Gobierno provincial de Bolívar 2023

Anexo 2.

Croquis del ensayo



Anexo 3.

Resultados de Análisis físico químico del suelo

MC,!.ASPA-221l1°01

INSTITUTO NACIONAL □E INVESTIGACIONES AGROPECLIARIIAS
ESTACIONIEXJPERIMENTAL SANTA CATAIJINA
Li<BORATOR'.íO **DE** ANAI..ISJS DE SUELOS A.S Y AGUAS
P,..amerio,..a Sur Km. 1. SJN Cuiugl"lJ.Ja.
Tlo.¡□2) 30072l14 / (02)25114240
1;1ejl: labaatodo.dsa@niap.goo.e.::

TT
QIAIPA

INFORME liiE ENISAYO No: Z:Mi330

NOMB RE DEL CLIEN1TLE: Mo;nar Gavltánez Nelson Airturo
PETICIONARIO: Mo;n,u Gavllánez N.!lson Airturo
EMP.RESAIINS.TITUCIÓN: Mo,..ni'lr Gavllánez N.!lson Anuro
DIRECCIÓN: Gua:randa

IFIECHA DE RECEPCIÓN DE IIIIUES.T1RA: 0:2,00/l!!l2l
HORA DE RECEPC'1ÓN IDE MUESTRA: 12:30
IFIECHA DE ANÁIJISIS: 141óáll!!l2l
IFIECHA DE EMISIÓN: 241óáll!!l2l
ANALISIS,SOLICITADO: S4

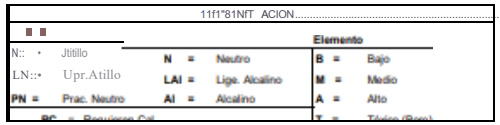
AmAll!ll Un'ldad	pH	N	P	S	B	K meql 10[1	Ca meql ,nn	Mg meqr 100.1	Zn	Cu	Fe	Mn ppm	Cflllg.1 Mg/K	C:a+Mgfil(	mf1:11 100g	MO	CO.* %	Tl!!l.:ftur.a(¾li Al9Ell	Limc	A.:.:1111	Cla,ie Ti!!'Xlllrilll	mENTIF11CACIÓN
l3-:t5 8	6.&!l	PN	S.04 e	19.(18 M	7,0 8	0,.14 A																
l3-:t5 9	6.7li	PN	3.2B B	/>,!;7 A	• .!4 8	O..u ,	1,4!J	n..s,	3,.U A	14,1	21.11	in A	'3..8 M	S.2B	l.2!1	14!_3-7	1l.&6	1,94 M	19	12	g	CILLOSO	Mu lrill
ll-l:540	6.3.!l	LA<	U,5-1 e	29.11• A.	g gs A	0..01 ji	O.!iS 1.!;:B	11.64 16,.17	3,.10 A 2,9 A	:U,4! B.6	Ió.li 26,-ol	297 A 3]l	14./3 M S,S3	S_l;I 4.lS	3:1,,73 12,00	11.40 20.67	1,84 M 2,'.lol	19 19	12 11	g 63	A.E:CILLOSO r6.BCILLOSO	Mu lril2 Mu trtil
.B-1:!i4!.J: 6,41	LA<	3lUS M	36,2S A	7Jil 8	0,.48 A	1,84	15:.8	2.80 A	14,2	Ió.5	.41:3.	A ig.9	S.02	1.66	10.00	19.16	2,71	19	IB		CILLOSO	Mu lri14!
						o_	n.2	3,2!>	B.8	27.3	3211	u,i; M	S,29	3.S1	22.0@	11.40	t!Aj M	21	11	61	r6.BCILLOSO	Mu trti!i
ll-:t5•2	fi,nt1	p:¡	7$1 e	3i..n Á	9.1S A	0.06 ji	1,00	17.70	3,.70 A	16,9	31.ti	lb A	11.2 M	4.79	1,31	11.as	n.gg	1,63 M	19	10	61	A.E:CILLOSO	Mu lrilfi
.l3-1:!i4B	6,14	PN	8.&B B	SVa A	6.18 8	O.O ,	1.1'12	H_.!;	2,.71 A	14.•	27.9	2/4	1..8	7,.81	1.si	11.41	26.	2,21	n	26	1	r6.BCILLOSO	Mul!5'trti7
ll-1:544	6.13	PN	3.02 e	311,30 Á	6,99 A	0.lO ji	1,0l	]6S9	3.00 A	:111,0	21.3	3l A	21..8	S,S7	l.9.5	l!:l.3-6	20.10	2,23	2	14	1	CILLOSO	Mu lri18
.B-1:!i4.S	6 7	PN	S,1;4 e	13.47 A	6.li6 8	O.O6 A	1,11	11.17	l,S8 A	B.	U.3	)6 A	ig.3	6.n	l.13	17.98	11.00	1,6"!1 M	19	1B	63	A.E:CILLOSO	Mu lri19
.l3-1:!i46	6.&!l	PN	l= B	30.lil A	6.liO 8	0.04 ,	O.!JO	18,40	2,91 A	U.6	24.1	3S6	g	6,l3	3,63	26,S6	1l.H	2.6-ol	n	21	4g	r6.BCILLOSO	Mu trt1101
ll-:t5<7	6.711	PN	16,26 e	17.-ol9 M	4.1i6 A	0..01 ji	1,16	16S	3,50 A	1.3,4!	3U	3]9 A	11.;9 M	4,lS	2.s1	1:;_79	:tl_4g	1,!iS M	H	1B	g	CILLOSO	Mu lrilll
.B-1:!i4B	6.]g	PN	j4i.,6,8 M	34,21 A	Jil B	O.Di A	o_	ig.96	3 1	u.1	26,li	37l	12.0	S,1;9	4.00	26,73	u.as	2.f.11	21	22	1	r6.BCILLOSO	Mu trti:12
ll-1:549	6.n	p:¡	15,5ü e	31,lil Á	4,21 A	0.lL ji																	

Anélisis	Al#I°	AJ°		e.ė.·	*H.* local'	N•N03"	K H20'	PH20'		pH KCl"	IDE.NTIFtCACION
23-1538									29		Mue!otrat
23-1539											Mue!otra2
21-1S40									32		Mue!otra3
23·1S41											Mue!otra4
21-1S42											Mue!otraS
23-lSO									29		Mue!otra6
23·1S44											Mue!otra7
23-15'S									3'),6		Mue!otra8
21-1S46									31,8		Mue!otra9
23-15'7									27		Mue!otrat0
21-1S48											Mue!otra 11
21-1S49									27		Mue!otra 12

OBSERVACK>NES:

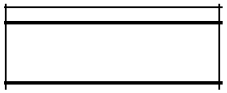
• Ensayos no solldtados por eldiente





C.E • Conductividad Oktrica

111.0 · Materia 0 nica





LASORATORISTA

Estedocumcnlo no p;ll!deser,ept'Oduddoni lltalni pan:¡lafmente sinla ;,plObilioiOnesaitadellaboratcno.
los teSUtado$ilFl'1» h:kados sdoes1111re1l/lObwd:li$conel ot,jt'lo de ensa)'O

RESPONSABLE DE LABORATORIO

HOYA DEDESCAAGO:La '11orl'lWldon oontenida en esle ...sotme deensa)'O esdeoaráclernd.11. es.!11dtlgjdoOnc.amen!ealdes.1lliillltl0delarrism;i,y solopodrlserusadapor . &cllectordeesle oorroo elecblOl'lkoo llunoeseldcestlna!anodd ll1ISIIIO. se le IIOltftcaq,.,ecualquWcoplil,o dsll'tluolOnde esleseen:IOUII'nenle p,oNbldo.Sius.'IC!dha rectido InlDrmede ensayoporenor.porla...:irnoljquelnmeda1lemkftle poresteMISIFIOmedoy elffinela lr'llorrnaelon.

• Optllones de Interpcetaelón,elc,quese indicanen es.le informe oonstiluye Lna 9Jtaperael Cliente.

Trat.	Textura (%)			H %	pH	MO	N	P	S	B	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn
	Arena	Limo	Arcilla														
T1	19	22	59	29,2	6,68	1,94	5,04	19,08	7,43	0,14	1,47	17,81	3,37	14,1	27,0	278	13,8
T1	19	22	59	28,9	6,76	1,84	3,28	21,57	5,24	0,13	0,65	17,64	3,10	11,4	25,6	297	14,3
T2	19	18	63	32,1	6,38	2,30	14,51	29,04	8,95	0,07	1,58	16,17	2,92	13,6	26,4	323	39,6
T2	19	28	53	28,8	6,41	2,71	30,15	36,25	7,81	0,10	1,81	15,06	3,00	14,2	25,5	413	19,9
T3	21	18	61	30,0	6,70	1,56	7,68	31,22	9,18	0,06	0,93	17,22	3,25	13,8	27,3	320	14,6
T3	19	20	61	29,2	6,74	1,63	8,88	57,70	6,18	0,05	1,60	17,70	3,70	16,9	31,6	276	11,2
T4	23	26	51	30,4	6,83	2,21	3,02	30,30	6,99	0,10	1,82	21,65	2,77	14,4	27,9	274	15,8
T4	25	24	51	30,6	6,57	2,23	5,64	23,47	6,66	0,06	1,02	16,69	3,00	11,0	27,3	313	22,8
T5	19	18	63	31,8	6,68	1,68	10,43	30,61	6,60	0,04	1,11	17,37	2,58	13,5	28,3	296	19,1
T5	23	28	49	27,2	6,78	2,64	16,26	17,49	4,66	0,08	0,80	18,40	2,91	12,6	24,1	356	15,9
T6	23	18	59	28,6	6,79	1,65	34,68	34,23	5,81	0,08	1,36	16,63	3,50	13,4	31,8	319	8,9
T6	27	22	51	27,4	6,77	2,60	15,50	38,83	4,21	0,12	0,88	19,96	3,51	11,3	26,8	371	12,0

Anexo 4.

Fotografías del proyecto de investigación



Recorrido en la zona de estudio



Elaboración de una calicata





Extracción de sub muestras



Homogenización de las muestras



Etiquetado de las muestras





Visita de campo



Determinación de infiltración



Determinación de penetración

Anexo 5. Glosario de términos técnicos

Arcilla. - Partícula de suelo cuyo tamaño es inferior a 0,002 milímetros.

Arcilloso. - Suelo que contiene una elevada proporción de arcilla.

Arenoso. - Suelo que contiene una elevada proporción de arena.

Barreno. - Herramienta utilizada para realizar agujeros cilíndricos extrayendo el material sólido perforado.

Calicata. - Exploración de un terreno mediante una barrena o una sonda para saber los minerales que contiene.

Cangahua. - Es una roca sedimentaria de origen volcánico, de textura no foliada, porosa y baja compactación.

Creeping (Progresivo). - Son los movimientos lentos casi imperceptibles que ocurren en el suelo.

Densidad aparente del suelo (DA). - La masa del suelo seco por unidad de volumen aparente. El volumen aparente se determina antes de secar a peso constante a 105 °C.

Desmenuzados. - Deshacer o trocear algo en partes muy pequeñas, generalmente con las manos y sin utilizar ningún instrumento cortante. Analizar o examinar algo pormenorizadamente teniendo en cuenta muchos elementos que lo integran.

Disgregación. - Reducción de una roca a sus componentes por acción de agentes externos.

Dolomita. - Es un mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio.

Enmienda. - Corrección o arreglo de los errores o defectos de una cosa o persona.

Lixiviación. - Extracción de la materia soluble de una mezcla mediante la acción de un disolvente líquido.

Materia orgánica. - Materia existente en el suelo que procede de la descomposición de residuos vegetales y animales.

Microelementos. - Son aquellos elementos nutritivos que las plantas necesitan en pequeña cantidad. Normalmente se encuentran en los suelos en las cantidades requeridas por las cosechas.

Mineralización. - Proceso por el cual los residuos orgánicos se convierten en sustancias minerales (agua, amoniaco, anhídrido carbónico, etc.).

Recurrente. - Que ocurre, o se realiza con cierta frecuencia o de manera repetida.

Silvinita. - Es un mineral del grupo de los haluros, químicamente es cloruro de potasio (KCl) cristaliza, como la sal gema, en el sistema regular, dominante en cubos.

Tectónica. - Parte de la geología que estudia los plegamientos, deformaciones y fallas de la corteza terrestre y las fuerzas internas que los originan.

Turbulencia. - Movimiento desordenado de un fluid, en el cual las moléculas, en vez de seguir trayectorias paralelas, describen trayectorias sinuosas y forman torbellinos.