UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Agronomía

Tema:

VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD AGRÍCOLA DEL SUELO EN BASE A SU CALIDAD FÍSICO – QUÍMICA EN DOS LOCALIDADES DEL CANTÓN GUARANDA.

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

Autores:

Brayan Joel Bayas Chicaiza

Poleth Estephania Robayo Carballo

Tutor:

Ing. Nelson Monar Gavilánez M.Sc.

Guaranda – Ecuador

2025

VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD AGRÍCOLA DEL SUELO EN BASE A SU CALIDAD FÍSICO – QUÍMICA EN DOS LOCALIDADES DEL CANTÓN GUARANDA.

REVISADO Y APROBADO POR:

Ing. Nelson Monar Gavilánez MSc.
TUTOR

Dra. Araceli Lucio Quintana PhD
DOCENTE LECTOR

Dr. Hugo Vásquez Coloma PhD
DOCENTE LECTOR

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Brayan Joel Bayas Chicaiza con C.I 1805343785 y Poleth Estephania Robayo Carballo con C.I 0202671822 declaramos que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados 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.

Brayan Joel Bayas Chicaiza

C.I 1805343785

AUTOR

NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA

Poleth Estephania Robayo Carballo

C.I 0202671822

AUTORA

Ing. Nelson Monar Gavilánez MSc.

C.I 0201089836

TUTOR

ESCRITURA Nº 20240201004P01388

DECLARACIÓN JURAMENTADA

OTORGAN:
POLETH ESTEPHANIA ROBAYO CARBALLO Y
BRAYAN JOEL BAYAS CHICAIZA
CUANTÍA: INDETERMINADA

Di 2 COPIAS

En el Cantón Guaranda, Provincia Bolivar, República del Ecuador, hoy lunes a los diecisies dias del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, ante mi **DOCTORA MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRIÓN, NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA,** comparece con plena capacidad, libertad y conocimiento: **POLETH ESTEPHANIA ROBAYO CARBALLO,** de estado civil soltera; y, **BRAYAN JOEL BAYAS CHICAIZA,** de estado civil soltero, por sus propios y personales derechos en calidad de OTORGANTES. Los comparecientes declaran ser de nacionalidad ecuatorianos, mayores de edad, de estado civil como se deja expresado, de ocupación ambos estudiantes, domiciliados la primera en la parroquia Guanujo, Cantón Guaranda, Provincia Bolivar, con teléfono celular número cero nueve ocho cero nueve uno ocho cero cero siete; y, con correo electrónico **vale.dayelin@gmail.com;** y, el segundo en la parroquia Huachi Chico, Cantón Ambato, y de paso por este Canton Guaranda, Provincia Bolivar, con teléfono celular número cero nueve seis siete uno dos ocho tres cuatro ocho; y, con correo electrónico **bryanjoelbayas@gmail.com,** hábiles en derecho para contratar y contraer obligaciones, a quienes de conocerles doy fe, en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación cuyas copias fotostáticas debidamente certificadas por mi, mismas que agrego a esta escritura como documentos habilitantes y además por petición expresa de los comparecientes adjunto sus documentos personales como es las cedulas y los certificados de votaciones. Advertidos los comparecientes por mí la Notaria de los efectos y resultados de esta escritura, asi como examinados que fueron en forma aislada y separada de que comparecen al otorgamiento de esta escritura sin coacción, amenazas, temor reverencial, ni promesa o seducción instruidos por mí de la obligación que tienen de decir la verdad con claridad y exactitud; y, advertidos sobre la gravedad del juramento y de las penas de perjurio, me solicitan que recepte su declaración juramentada: Nosotros: **POLETH ESTEPHANIA ROBAYO CARBALLO,** de estado civil soltera; y, **BRAYAN JOEL BAYAS CHICAIZA,** de estado civil soltero, declaramos que los criterios e ideas emitidos en el presente Proyecto de investigación de titulación es de nuestra absoluta autoria, titulado **VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD AGRÍCOLA DEL SUELO EN BASE A SU CALIDAD FÍSICO – QUÍMICA EN DOS LOCALIDADES DEL CANTON GUARANDA**, previo a la obtención del titulo de Ingenieros Agrónomos, otorgado por la Universidad Estatal de Bolivar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, carrera de Agronomía.- Es todo cuanto puedo declarar en honor a la verdad.- Para su otorgamiento se observaron los preceptos de ley y leida que les fue a las comparecientes íntegramente por mí la Notaria, aquellos se afirman y ratifican en todas sus partes y firman junto conmigo en unidad de acto, incorporando al protocolo de esta Notaria la presente escritura de Declaración Juramentada, de todo cuanto doy Fe.----------

SRTA. POLETH ESTEPHANIA ROBAYO CARBALLO.
C.C. 0202671822

SR. BRAYAN JOEL BAYAS CHICAIZA.
C.C. 180534385

NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA

DOCTORA MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRION
NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA

Brayan Joel Bayas Chicaiza Poleth Estephania Rob...

Proyecto_Bayas_Robayo_Agronomia.pdf

Universidad Estatal de Bolivar

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::3117:416686351

Fecha de entrega
16 dic 2024, 3:53 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
16 dic 2024, 5:30 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
Proyecto_Bayas_Robayo_Agronomia.pdf

Tamaño de archivo
2.2 MB

98 Páginas

21,346 Palabras

108,953 Caracteres

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Trabajos entregados
- Fuentes de Internet
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Fuentes principales

0% Fuentes de Internet
5% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Ing. Nelson Arturo Monar Gavilanez
Tutor

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Trabajos entregados
- Fuentes de Internet
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Fuentes principales

0% Fuentes de Internet
5% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Ing. Nelson Arturo Monar Gavilanez
Tutor

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios, quien ha sido mi guía durante todo este proceso, por haberme dado la sabiduría y fortaleza para afrontar cada uno de los obstáculos que se han presentado en mi vida para cumplir mi meta.

Con profundo amor y admiración, dedico este trabajo a mis queridos padres, Willian Robayo y María Carballo, ellos han sido el pilar de mi vida, dándome un ejemplo constante de superación, humildad y sacrificio. Gracias a sus enseñanzas, he aprendido a valorar lo más esencial de la vida: el esfuerzo, la perseverancia y la gratitud. Su lucha incansable y su amor incondicional me han permitido superar obstáculos y alcanzar cada una de mis metas, incluyendo esta, que hoy celebro con orgullo.

No solo me han ofrecido el apoyo necesario para seguir adelante, sino que también me han mostrado, día a día, la importancia del sacrificio, la disciplina y el compromiso. Sus acciones me han inspirado a no rendirme nunca, a entender que cada desafío es una oportunidad para crecer y que los logros más valiosos son fruto del trabajo constante y el amor sincero, por eso, este trabajo no es solo una meta personal, sino también un homenaje a su paciencia infinita, su dedicación incansable y, sobre todo, a ese amor tan puro que me han brindado desde el primer día, todo lo que soy y todo lo que he logrado, se lo debo a ustedes, gracias por ser mi mayor fuente de inspiración.

Y de manera muy especial, dedico este logro a mi amada hija, Valentina Durán. Gracias a ti, he encontrado la fuerza y la motivación para seguir creciendo tanto como persona y como profesional. Espero que, algún día, puedas comprender que una gran parte de lo que soy ahora te lo debo a ti, este logro no solo es mío, también es para ti.

De igual manera agradecerte a ti Cristhian Acosta por estar presente, no solo en momentos difíciles, sin tu amor y paciencia nada de esto fuera posible

Poleth Estephania Robayo Carballo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Nelson Bayas, Eugenia Chicaiza y a mí hermano Justin por el esfuerzo que me ha brindado en esta etapa.

En Honor a mí mamá Carmen (abuelita) que ya no está en este mundo, pero desde el cielo siempre me ha cuidado y me ha brindado sus bendiciones, también a mi abuelito Eduardo Chicaiza por abrirme las puertas de su casa.

Muy agradecido también con mi tía Gloria Toapanta y a sus hijos Jakeline y Richard que me ha brindado su cariño durante toda la etapa universitaria, de igual manera a mis tías paternas.

De igual manera agradecer a Vanessa Chicaiza y Mauricio Chicaiza por ese apoyo moral que me ha brindado con sus palabras.

Brayan Joel Bayas Chicaiza

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer primeramente a Dios por darnos la sabiduría y la capacidad para concluir con éxito nuestra carrera.

También agradecer a quienes formaron parte de nuestro proceso, a nuestra familia y a nuestros padres por darnos salud y vida, no existe palabras suficientes para expresar el profundo agradecimiento que sentimos hacia ustedes quienes desde el inicio de nuestra educación han sido nuestra inspiración se han esforzado mucho para darnos las mejores oportunidades, siempre confiando en nosotros y brindando su apoyo incondicional. Sus consejos y apoyo han sido nuestra fuerza en cada uno de los desafíos, agradecemos de todo corazón por todo lo que han hecho por nosotros.

A la Universidad Estatal de Bolívar, en especial a nuestra Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente, carrera de Agronomía, por abrirnos sus puertas y por brindarnos la oportunidad de adquirir conocimientos y crecer profesionalmente.

Finalmente, queremos expresar nuestros profundos agradecimientos a nuestro Tutor Ing Nelson Monar por habernos compartido sus conocimientos, para formarnos como profesionales, al Dr. Hugo Vásquez PhD y a la Dra. Araceli Lucio PhD quienes contribuyeron en la planificación y orientación desde el inicio de este proyecto, y para concluir de manera muy especial agradecer al Ing. David Silva por haber sido una guía fundamental y un gran amigo durante nuestro trayecto universitario, quien nos ayudó a formarnos personalmente y profesionalmente.

Brayan & Poleth

ÍNDICE GENERAL

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	Objetivo Específicos	4
1.4.	HIPÓTESIS	5
CAPÍTULO II		6
2.	MARCO TEÓRICO	6
2.1.	Suelo	6
2.2.	Importancia del suelo	6
2.3.	Perfil del suelo	7
2.3.1.	Horizonte O (Orgánico)	7
2.3.2.	Horizonte A (Horizonte superficial)	7
2.3.3.	Horizonte E (Eluvial)	7
2.3.4.	Horizonte B (Subsuelo)	8
2.3.5.	Horizonte C (Roca madre o material parental)	8
2.4.	Clasificación del suelo	8
2.4.1.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	8
2.5.	Propiedades físicas del suelo	8
2.5.1.	Color del suelo	9
2.5.2.	Textura del suelo	10
2.5.3.	Humedad	10
2.5.4.	Estructura	11
2.6.	Propiedades químicas	11
2.6.1.	pH	12
2.6.2.	Capacidad de Intercambio Catiónico	12
2.6.3.	Conductividad eléctrica del suelo	13
2.6.4.	Materia Orgánica	13

2.7.	Nutrientes del suelo	14
2.8.	Macronutrientes	14
2.8.1.	Macronutrientes primarios	14
2.8.2.	Macronutrientes secundarios	16
2.8.3.	Micronutrientes	16
2.9.	Muestreo de parcelas	18
2.10.	Tipos de muestras	18
2.10.1.	Muestra simple	18
2.10.2.	Muestra compuesta	19
2.11.	Técnicas del muestreo	19
2.12.	Profundidad de muestreo	20
2.13.	Calicata	20
2.14.	Infiltración	21
2.15.	Índice de penetración	21
2.16.	Análisis de la fertilidad	22
2.17.	Análisis del suelo	22
2.18.	Uso de suelo a nivel del país	22
2.19.	Descripción de uso de suelos	23
CAPÍTULO III		25
3.	MARCO METODOLÓGICO	25
3.1.	Ubicación de la investigación	25
3.2.	Metodología	25
3.2.1.	Material en estudio	25
3.2.2.	Factores en estudio	26
3.2.3.	Tratamientos	26
3.2.4.	Tipo de diseño experimental o estadístico	26
3.2.6.	Métodos de evaluación (variables respuestas)	28
3.2.7.	Tipos de análisis	32
CAPÍTULO IV		33
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1.	Interpretación de resultados	33
4.1.1.	Humedad (H)	33

4.1.2.	pH (pH)	35
4.1.3.	Porcentaje de materia orgánica (PMO)	37
4.1.4.	Porcentaje de nitrógeno (PN)	39
4.1.5.	Porcentaje de fosforo (PP)	41
4.1.6.	Porcentaje de potasio (PK)	43
4.1.7.	Porcentaje de azufre (PS)	45
4.1.8.	Porcentaje de boro (PB)	47
4.1.9.	Porcentaje de calcio (PCa)	49
4.1.10.	Porcentaje de magnesio (PMg)	51
4.1.11.	Porcentaje de zinc (PZn)	53
4.1.12.	Porcentaje de cobre (PCu)	55
4.1.13.	Porcentaje de hierro (PFe)	57
4.1.14.	Porcentaje de manganeso (PMn)	59
4.1.15.	Flujo (F)	61
4.1.16.	Resistencia a la penetración (RESP)	63
4.2.	Comprobación de hipótesis	65
CAPÍTULO V		66
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1.	CONCLUSIONES	66
5.2.	RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA		69
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Detalle	Pag.
1	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en la humedad	32
2	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el pH	34
3	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en la materia orgánica	36
4	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de nitrógeno	38
5	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de fosforo	40
6	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de potasio	42
7	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de azufre	44
8	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de boro	46
9	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de calcio	48
10	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de magnesio	50
11	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de zinc	52
12	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de cobre	54
13	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de hierro	56
14	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de manganeso	58

15	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos de flujo	60
16	Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en la resistencia a la penetración	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	Detalle	Pag.
1	Valores para humedad del suelo	32
2	Valores para pH del suelo	34
3	Valores para porcentaje de la materia orgánica	36
4	Valores para porcentaje de nitrógeno	38
5	Valores para porcentaje de fosforo	40
6	Valores para porcentaje de potasio	42
7	Valores para porcentaje de azufre	44
8	Valores para porcentaje de boro	46
9	Valores para porcentaje de calcio	48
10	Valores para porcentaje de magnesio	50
11	Valores para porcentaje de zinc	52
12	Valores para porcentaje de cobre	54
13	Valores para porcentaje de cobre	56
14	Valores para porcentaje de manganeso	58
15	Valores para el flujo de agua en el suelo	60
16	Valores para la penetración	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Nº	Detalle
1	Ubicación del experimento
2	Resultados de análisis
3	Base de datos
4	Manejo de ensayo
5	Glosario de términos técnicos

RESUMEN

Este estudio se llevó a cabo en las localidades de Naguán y Curgua, cantón Guaranda, Ecuador, con el objetivo de valorar la capacidad agrícola del suelo en base a sus propiedades físico-químicas, a fin de optimizar su uso en cultivos de interés agrícola. Los objetivos específicos incluyeron la determinación de la calidad del suelo en función de sus propiedades físicas y químicas y la evaluación de cómo estas características impactan su productividad agrícola. La investigación surge como respuesta a la falta de análisis de suelos en la región, lo que limita la eficiencia en la aplicación de fertilizantes y afecta la sostenibilidad del recurso suelo. La metodología utilizada consistió en un muestreo y análisis de suelos en tres estratos de cada localidad, con la evaluación de variables clave como la humedad, el pH, el porcentaje de materia orgánica y los niveles de nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, entre otros). A través de métodos de análisis estadístico, se evidencian estas variables para entender su influencia en la capacidad agrícola del suelo en cada área de estudio. Los resultados mostraron que, aunque la humedad y la materia orgánica presentaron niveles homogéneos en ambas localidades, el pH y la disponibilidad de ciertos nutrientes, especialmente el nitrógeno y el fósforo, exhibieron una variabilidad significativa. En particular, los suelos de Curgua - Bajo mostraron un pH cercano a neutro y mayores niveles de nutrientes, lo que favorece la disponibilidad de elementos esenciales para el desarrollo de los cultivos en comparación con los suelos de Naguán, donde se observaron valores de pH más ácidos y menor disponibilidad de nutrientes. Las conclusiones destacan que la capacidad agrícola del suelo está estrechamente vinculada a sus propiedades físico-químicas, validando así la hipótesis alternativa que dichas características afectan directamente la capacidad productiva del suelo. En base a estos resultados, se proponen recomendaciones prácticas para los agricultores de la región: la implementación de programas de capacitación en técnicas de manejo sostenible del suelo, la realización de análisis regulares de pH y nutrientes para ajustar la fertilización, y el fortalecimiento de alianzas con instituciones educativas para proporcionar a los agricultores el conocimiento necesario para optimizar el uso del suelo de manera sostenible.

Palabras clave: capacidad agrícola, Propiedades físico-químicas, nitrógeno, pH, sostenibilidad, fertilidad del suelo.

SUMMARY

This study was conducted in the localities of Naguán and Curgua, in the canton of Guaranda, Ecuador, with the objective of assessing the agricultural capacity of the soil based on its physicochemical properties to optimize its use for agriculturally significant crops. The specific objectives included determining soil quality in terms of its physical and chemical properties and evaluating how these characteristics impact its agricultural productivity. The research responds to the lack of soil analysis in the region, which limits the efficiency of fertilizer application and affects the sustainability of soil resources. The methodology involved soil sampling and analysis in three strata from each locality, evaluating key variables such as moisture, pH, organic matter content, and levels of essential nutrients (nitrogen, phosphorus, among others). Through statistical analysis methods, these variables were analyzed to understand their influence on the agricultural capacity of the soil in each study area. The results showed that, while moisture and organic matter levels were relatively homogeneous in both localities, pH and the availability of certain nutrients, particularly nitrogen and phosphorus, exhibited significant variability. Specifically, soils in Curgua - Bajo exhibited near-neutral pH levels and higher nutrient concentrations, enhancing the availability of essential elements for crop development compared to soils in Naguán, which presented more acidic pH values and lower nutrient availability. The conclusions emphasize that the agricultural capacity of the soil is closely linked to its physicochemical properties, validating the alternative hypothesis that these characteristics directly affect soil productivity. Based on these results, practical recommendations are proposed for farmers in the region: implementing training programs on sustainable soil management techniques, conducting regular analyses of pH and nutrient levels to adjust fertilization practices, and strengthening partnerships with educational institutions to provide farmers with the knowledge needed to optimize soil use sustainably.

Keywords: Agricultural capacity, physical-chemical properties, nitrogen, pH, sustainability, soil fertility.

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

Los suelos representan una de las principales reservas de biodiversidad a nivel global, albergando más del 25% de la diversidad biológica del planeta. Estos ecosistemas subterráneos no solo son fundamentales para nuestra nutrición y protección contra el cambio climático y enfermedades, sino que también desempeñan un papel crucial en la mejora de la producción de alimentos, la promoción de una alimentación nutritiva, la preservación de la salud humana, la restauración de zonas contaminadas y la mitigación del cambio climático (Altamirano, 2019).

Además, los suelos son hábitats vitales para una gran variedad de organismos, con más del 40% de los seres que conforman los ecosistemas terrestres dependiendo de ellos en algún momento de su ciclo de vida. En este sentido, la biodiversidad del suelo y una gestión sostenible de la tierra se vuelven condiciones esenciales para la consecución de múltiples objetivos de desarrollo sostenible (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP, 2022).

Los suelos de Ecuador destacan por su diversidad, situándose entre los más variados del mundo. Se clasifican en tres tipos principales según su composición: suelos aluviales, ubicados en áreas cercanas a los ríos y susceptibles a inundaciones; suelos sobre cenizas volcánicas; y suelos sobre otros materiales, como rocas antiguas. En las llanuras aluviales de la costa ecuatoriana, se han acumulado depósitos fértiles provenientes de tierras altas, lo que las convierte en suelos muy productivos (Delli, 2022).

En cuanto al uso de la tierra, aproximadamente el 9.9% de las zonas rurales están dedicadas a cultivos permanentes y temporales, que incluyen plátano, papa, maíz, caña de azúcar, palma africana, arroz, café, cacao, entre otros. Cerca del 19.4% del territorio ecuatoriano se destina a pastos, utilizados principalmente para la cría de ganado vacuno, porcino, aves de corral y otras especies en menor escala. Además,

aproximadamente el 17.3% se emplea para la actividad de tala. Por último, las zonas urbanas ocupan alrededor del 53.5% del territorio del país (Pinos, 2022).

Los suelos de la Provincia de Bolívar muestran una notable diversidad estructural, dando lugar a una amplia gama de tipos de suelos que varían en composición y estructura físico-química, influenciados por factores climáticos y topográficos. Sin embargo, esta diversidad enfrenta amenazas debido a los cambios en el uso del suelo, con aumentos significativos en áreas destinadas a pastos cultivables y cultivos de transición, pero también con reducciones preocupantes en áreas de brezales, bosques y zonas montañosas (Garrido, 2018).

El análisis físico y químico de suelos es fundamental para diversas aplicaciones agrícolas. Esta técnica permite determinar tanto los contenidos de macro y micronutrientes de interés para el cultivo, como las características físicas particulares del suelo. Además, mediante estos análisis, podemos evaluar la composición química de fertilizantes y abonos orgánicos. De esta manera, se obtiene información importante para optimizar las prácticas agrícolas, garantizando una nutrición adecuada de las plantas y una gestión eficiente de los recursos del suelo (Santillán, 2020).

Las propiedades físicas del suelo ejercen una influencia significativa en su capacidad para satisfacer las necesidades humanas. Estas características físicas determinan aspectos como la resistencia, la permeabilidad a las raíces, la aireación, el drenaje y la capacidad de retención de agua y nutrientes. Así mismo, definen la plasticidad y la fuerza de sostenimiento del suelo, aspectos esenciales para diversos usos humanos (Schweizer, 2019).

Las propiedades químicas del suelo son clave para ofrecer recomendaciones precisas sobre la fertilización con fósforo en los cultivos. Además, al analizar la materia orgánica y el pH, podemos obtener una evaluación confiable de la calidad del suelo (Pineda, 2021).

1.2. PROBLEMA

Con el paso del tiempo, la agricultura en la provincia de Bolívar ha experimentado diversos cambios, destacando la transición desde métodos de producción tradicionales hacia un uso más extenso de maquinaria y productos químicos. Sin embargo, esta evolución ha traído consigo algunos efectos adversos para el suelo, como reducción significativa en su capacidad productiva y aumento en la carga de sedimentos hacia los cuerpos de agua, lo que altera el ciclo hidrológico. La consecuencia de la erosión del suelo se ha convertido así en uno de los desafíos más apremiantes en la provincia de Bolívar en tiempos recientes, determinando la capacidad agrícola del suelo.

En el cantón Guaranda, los productores no realizan análisis de suelos, lo que conlleva a una falta de conocimiento sobre la cantidad adecuada de fertilizante que deben aplicar en sus cultivos. Por otro lado, en las localidades de Naguán y Curgua se han llevado a cabo investigaciones limitadas, principalmente debido a la escasa motivación por parte de los agricultores y la falta de información sobre esta técnica, ya que siguen prácticas ancestrales que no incorporan este tipo de tecnología.

Por lo tanto, la importancia de esta investigación se enfoca en contribuir al avance del conocimiento científico sobre las características físicas y químicas del suelo agrícola, así como los niveles de nutrientes presentes en tres estratos a diferentes profundidades. Para conocer la realidad del mismo en base a los análisis de laboratorio y posteriormente proponer recomendaciones, lo cual busca crear conciencia del cuidado del ambiente, específicamente sobre el manejo adecuado del suelo, para producir de mejor manera sus cultivos en una tierra más fértil, libre de plagas y enfermedades.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Valorar la capacidad agrícola del suelo en base a su calidad físico-química.

1.3.2 Objetivo Específicos

- Determinar la calidad del suelo en relación de las propiedades físicas.
- Evaluar la calidad del suelo de acuerdo a las propiedades químicas.
- Establecer la capacidad agrícola del suelo en base a su química y física.

1.4. HIPÓTESIS

Ho. La capacidad agrícola del suelo no depende de sus características física y química.

Ha. La capacidad agrícola del suelo depende de sus caracteristicas física y química.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Suelo

El suelo, esa capa que recubre la superficie terrestre y sostiene a plantas y animales, constituye la mayor fuente de energía en la naturaleza. Esto se debe a su riqueza en nutrientes y agua, elementos esenciales que alimentan a la vida vegetal y animal. Además de ser un sustento vital, el suelo también sirve como cimiento físico para las sociedades humanas, proporcionando los recursos naturales necesarios para una amplia gama de actividades económicas fundamentales (Loor, 2018).

El suelo no solo representa el hábitat natural fundamental para el desarrollo de las plantas, sino que también se caracteriza como un complejo sistema estratificado compuesto por diversas capas (llamadas horizontes del suelo). Estas capas se forman a partir de la meteorización de minerales, materia orgánica, aire y agua. En esencia, el suelo es el producto final de la interacción prolongada entre el tiempo y una serie de factores como el clima, la topografía, los organismos (tanto la flora y la fauna como la influencia humana) y los materiales parentales, que comprenden rocas y minerales originales (INIAP, 2022).

Debido a esta interacción compleja, el suelo se diferencia significativamente de su material parental en términos de textura, estructura, consistencia, color y amplia gama de propiedades químicas, biológicas y físicas. Esta diversidad y complejidad del suelo son fundamentales para su papel vital en el sustento y la nutrición de la vida en la Tierra (López, 2022).

2.2. Importancia del suelo

El suelo es un recurso vital para la vida en la Tierra, ya que proporciona el sustento necesario para el crecimiento de plantas y supervivencia de animales, alberga una gran diversidad de microorganismos que descomponen la materia orgánica y reciclan nutrientes, regula el ciclo del agua al actuar como un filtro natural y almacena grandes cantidades de carbono, contribuyendo a mitigar el cambio

climático. Además, sirve como base para la construcción de infraestructuras humanas. La conservación y manejo adecuado del suelo son imperativos para garantizar la seguridad alimentaria, la biodiversidad y bienestar de los ecosistemas y sociedades humanas (Insua, 2019).

2.3. Perfil del suelo

La Tierra está organizada en distintas capas o regiones denominadas horizontes, las mismas presentan una estratificación característica. Los perfiles verticales atraviesan todas estas capas del suelo, conformando lo que se conoce como perfil de suelo. Los suelos de regiones templadas, es común identificar cinco niveles principales etiquetados como O, A, E, B y C. Estos horizontes representan diferentes procesos y características que van desde la superficie hacia abajo, proporcionando una visión detallada de la composición y estructura del suelo (Zhunahula, 2021).

2.3.1 Horizonte O (Orgánico)

Este horizonte consiste principalmente en materia orgánica en descomposición, como hojas caídas y restos de plantas. Es comúnmente encontrado en la capa superior del suelo, conocida como la capa de hojarasca (Loor, 2018).

2.3.2 Horizonte A (Horizonte superficial)

Es la capa superior del suelo, rica en materia orgánica y minerales finamente divididos. Es aquí donde la mayoría de las raíces de las plantas se encuentran y donde tiene lugar una intensa actividad biológica (Quimagro, 2022).

2.3.3 Horizonte E (Eluvial)

Este horizonte se caracteriza por la lixiviación de minerales y materiales solubles hacia capas más profundas del suelo debido a la percolación de agua. Como resultado, a menudo es más pálido que los horizontes circundantes (Pinos, 2022).

2.3.4 Horizonte B (Subsuelo)

También conocido como subsuelo, este horizonte contiene minerales y materiales que se han acumulado por debajo de los horizontes superiores debido a la lixiviación y otros procesos de transporte. A menudo muestra una acumulación de minerales como arcilla, óxidos de hierro y carbonatos (Delli, 2022).

2.3.5 Horizonte C (Roca madre o material parental)

Este horizonte consiste en la roca madre o material parental del suelo, del cual se derivan los materiales que componen los horizontes superiores. La roca madre puede variar desde roca sólida hasta material no consolidado como arena o gravilla (Insua, 2019).

2.4. Clasificación del suelo

2.4.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Es un método ampliamente utilizado en ingeniería para clasificar y describir suelos con el fin de comprender sus propiedades físicas. Este sistema categoriza los suelos en dos grupos principales: suelos cohesivos, que incluyen arcillas, limos y mezclas de ambos, y suelos granulares, que comprenden arenas y gravas. A través de esta clasificación, se facilita la evaluación de la aptitud de los suelos para diversas aplicaciones (Zilio, 2018).

2.5. Propiedades físicas del suelo

Son atributos fundamentales que determinan su comportamiento y función en los ecosistemas. Estas propiedades incluyen la textura del suelo, que se refiere al tamaño de las partículas individuales y afecta la capacidad de retención de agua y aire; la estructura del suelo, que se relaciona con la disposición y organización de las partículas en agregados o grumos, influenciando la porosidad y la permeabilidad; la densidad aparente, que indica la cantidad de material presente en una unidad de volumen y afecta la facilidad de penetración de las raíces y la aireación del suelo; la capacidad de retención de agua, que determina la disponibilidad de agua para las plantas y otros organismos; y la capacidad de

intercambio catiónico, que se refiere a la capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes, influyendo en su fertilidad y productividad. Estas propiedades físicas son claves para comprender la salud y el funcionamiento de los suelos, así como para su manejo sostenible en la agricultura, la conservación de la biodiversidad y gestión ambiental (Graterón, 2020).

2.5.1 Color del suelo

Aunque este indicador no tiene un impacto directo en el crecimiento de las plantas, puede afectar indirectamente la temperatura y humedad del suelo a través de su influencia en la radiación solar. Cuanta más energía radiante esté disponible en el suelo, mayor será la evaporación. Por ejemplo, un suelo oscuro, con alta absorción de energía solar, se secará más rápidamente que uno de color más claro. La presencia de cobertura vegetal o residuos de cultivos anteriores puede atenuar naturalmente esta disparidad. En cuanto al color, los suelos presentan una amplia diversidad, con tonalidades que van desde blanco, rojo y café hasta gris, amarillo y negro. Los suelos húmedos o mojados tienden a mostrar tonos más oscuros que los suelos secos debido a las diferencias en las propiedades refractivas del suelo y agua. La luz que incide sobre un suelo seco tiende a ser reflejada casi por completo, mientras mayor cantidad de luz penetre en el suelo húmedo, resulta tonalidades más oscuras en estos suelos (Santillan, 2020).

2.5.2 Textura del suelo

Se refiere a la proporción relativa de partículas minerales de diferentes tamaños en el suelo, principalmente arena, limo y arcilla. Esta composición determina las propiedades físicas del suelo, como su capacidad de retención de agua y nutrientes, su capacidad de drenaje, aireación y susceptibilidad a la erosión. Los suelos con mayor contenido de arena tienden a ser más áridos y tienen una capacidad de retención de agua más baja, mientras que los suelos con alto contenido de arcilla retienen más agua, pero pueden ser propensos a la compactación y al encharcamiento. Los suelos con una proporción equilibrada de arena, limo y arcilla se consideran ideales para la mayoría de los cultivos, ya que ofrecen una buena

combinación de drenaje, retención de agua y aireación para el crecimiento saludable de las plantas (Altamirano, 2019).

- **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.

- **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.

- **Arena. -** Fragmentos de roca o minerales, en la arena fina predominan partículas individuales de minerales primarios y en la arena gruesa fragmentos de rocas (Quimagro, 2022).

2.5.3 Humedad

Es la cantidad de agua presente en el suelo en relación con su capacidad de retención de agua. Esta humedad puede variar dependiendo de factores como la precipitación, la evaporación, la infiltración y capacidad de retención de agua del suelo.

Existen diferentes formas de expresar la humedad del suelo:

- **Contenido de humedad volumétrica:** Es la relación entre el volumen de agua presente en el suelo y el volumen total del suelo, expresado como un porcentaje. Esta medida es importante para comprender la disponibilidad de agua para las plantas y otros organismos del suelo (Zhunahula, 2021).

- **Potencial hídrico del suelo:** Es una medida del potencial de energía del agua en el suelo y se expresa en unidades de presión, como megapascales (MPa) o bares (1 bar ≈ 100 kPa). El potencial hídrico del suelo indica la energía con la que el agua está retenida en el suelo y afecta la disponibilidad de agua para las plantas (Insua, 2019).

2.5.4 Estructura

La permanencia estructural de los agregados del suelo, hace referencia a la capacidad de éstos para mantener su forma al estar sometidos a fuerzas inducidas artificialmente, en concreto las derivadas de la humectación, impacto de las gotas de lluvia, el paso de agua o a un determinado proceso dispersivo, es decir representa la resistencia a toda modificación de los agregados (Mendoza R. , 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

Indica el grado de acidez o alcalinidad de la solución del suelo, siendo un factor crítico en el medio donde las raíces de las plantas absorben los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo. Este indicador se mide en una escala que va de 0.0 a 14.0, donde valores por debajo de 7.0 indican acidez, mientras que valores por encima de 7.0 indican alcalinidad. El pH del suelo es un indicador clave de diversas propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, las cuales influyen significativamente en la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. Mantener el pH dentro de un rango específico permite que la mayoría de los nutrientes conserven su máxima disponibilidad, lo que es fundamental para el éxito de los cultivos y la salud del suelo (Robles, 2020).

2.6.2 Capacidad de Intercambio Catiónico

Es una medida que indica la cantidad de carga negativa presente en la superficie de los minerales y componentes orgánicos del suelo, como la arcilla y la materia orgánica, también conocida como humus. Esta capacidad representa la cantidad de cationes como calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y amonio (NH4) que pueden ser retenidos por estas superficies y luego intercambiados con otros cationes o iones de hidrógeno presentes en la solución del suelo, los cuales son liberados para ser absorbidos por las raíces de las plantas. Los niveles de CIC son indicadores de la capacidad del suelo para retener nutrientes, la disponibilidad y cantidad de nutrientes para las plantas, así como los niveles potenciales de pH y otros factores relacionados. Los suelos con una CIC más baja generalmente muestran menor capacidad para retener nutrientes y pueden ser arenosos o tener poca materia orgánica. La CIC se expresa comúnmente en centimoles de carga por kilogramo de suelo (cmolc/kg) o miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo (meq/100g) (Loor, 2018).

2.6.3 Conductividad eléctrica del suelo

Es una medida de la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica. Se expresa típicamente en unidades de siemens por metro (S/m) o en milisiemens por centímetro (mS/cm). Esta propiedad del suelo está influenciada por factores como la concentración de sales disueltas en el agua del suelo y la cantidad de humedad presente (Zilio, 2018).

Una alta conductividad eléctrica del suelo puede indicar la presencia de altas concentraciones de sales solubles, como cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos, que pueden provenir de fuentes naturales o de actividades humanas como la irrigación excesiva o uso de fertilizantes. La baja conductividad eléctrica del suelo puede indicar una baja concentración de sales solubles (Zilio, 2018).

La conductividad eléctrica del suelo es importante en la agricultura porque puede afectar la disponibilidad de nutrientes para las plantas y calidad del agua subterránea. Además, puede influir en la selección de cultivos y en las prácticas de manejo del suelo, especialmente en áreas con problemas de salinidad. Monitorear

y gestionar la conductividad eléctrica del suelo es fundamental para garantizar la salud y productividad a largo plazo de los suelos agrícolas (Santillan, 2020).

2.6.4 Materia Orgánica

Se compone principalmente de residuos de plantas y animales en diferentes etapas de descomposición, así como de microorganismos vivos y materiales orgánicos más estables conocidos como humus. La presencia de materia orgánica enriquece el suelo al mejorar su estructura, aumentar su capacidad de retención de agua y nutrientes, y promover la actividad biológica beneficiosa. Además, la descomposición de la materia orgánica libera nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y ayuda a mantener un equilibrio saludable en el suelo. Por lo tanto, la materia orgánica es vital para la productividad agrícola, la conservación del suelo y la mitigación del cambio climático al actuar como un reservorio de carbono. Su preservación y manejo sostenible son fundamentales para mantener la salud y la productividad a largo plazo de los suelos (Zhunahula, 2021).

2.7. Nutrientes del suelo

Los nutrientes esenciales son elementos fundamentales para el crecimiento saludable de las plantas. Se reconocen dieciséis elementos como esenciales para las plantas, entre ellos el carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). Cabe destacar que las legumbres tienen la capacidad única de aprovechar el nitrógeno atmosférico. A través de una relación simbiótica con bacterias específicas, estas plantas son capaces de convertir el nitrógeno atmosférico en amoníaco y posteriormente en amonio, una forma de nitrógeno que puede ser absorbida por las plantas. Este proceso es conocido como fijación de nitrógeno, y destaca como un ejemplo notable de adaptación biológica que contribuye a la salud y productividad de los suelos agrícolas (López, 2022).

2.8. Macronutrientes

Son elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo saludable de las plantas, desempeñando una variedad de funciones vitales en su metabolismo. 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 encontrarse en su forma asimilable para los cultivos.

2.8.1 Macronutrientes 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 alto es 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.

- **Nitrógeno (N)**

Es un componente esencial que contiene una variedad de compuestos necesarios para el crecimiento y desarrollo saludable de las plantas. Entre los más destacados se encuentran su papel como componente de los aminoácidos, que son las unidades estructurales de las proteínas, así como su presencia en moléculas de enzimas, vitaminas, hormonas y ácidos nucleicos. Estos elementos son vitales para una amplia gama de procesos metabólicos y estructurales en las plantas, desde la síntesis de proteínas hasta la regulación hormonal y la transferencia de información genética. (Juan, 2019)

- **Fósforo (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 (LLuvichuzca, 2021).

- **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. La deficiencia de este nutriente presenta quemaduras o disparos a lo largo del borde de la cuchilla. Las plantas pobres crecen lentamente con un desarrollo pobre de las raíces. Tallos débiles con alojamiento de semillas y frutos comunes y pequeños. Baja tolerancia al estrés (Quimagro, 2022).

2.8.2 Macronutrientes 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 a ningún tipo de suelo.

- **Calcio (Ca)**

Esencial para el alargamiento y división celular. Requerido para el desarrollo y la función de las raíces y las hojas y la formación de membranas y paredes celulares. Implicado en la activación de enzimas. La deficiencia de este nutriente presenta un pobre crecimiento de las raíces que a menudo se vuelven negras y se pudren. Falta de desarrollo de yemas terminales y puntas apicales de las raíces para desarrollar.

- **Magnesio (Mg)**

Componente primario de la clorofila e importante para la fotosíntesis. Componente de ribosomas requerido para la síntesis de proteínas. Participa en el metabolismo del fosfato, la respiración y la actividad enzimática. La deficiencia ocasiona que las hojas muestren un color amarillento, bronce o rojizo mientras que las venas de las hojas permanecen verdes (Pinos, 2022).

2.8.3 Micronutrientes

Son elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, necesarios en cantidades relativamente pequeñas en comparación con los macronutrientes. Aunque son requeridos en menor cantidad, desempeñan funciones vitales en varios procesos metabólicos y fisiológicos de las plantas, como la síntesis de clorofila, la activación de enzimas y regulación del crecimiento y desarrollo (Robles, 2020).

- **Hierro (Fe)**

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 (Pinos, 2022).

- **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. El cobre ayuda a intensificar el sabor, el color en las hortalizas y en las flores (Santillan, 2020).

- **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 (Robles, 2020).

- **Molibdeno (Mo)**

Este elemento está involucrado en 2 enzimas fundamentales: El nitrato reductasa y nitrogenasa, estas enzimas son responsables de la fijación del Nitrógeno. Además, transforma el fósforo inorgánico a orgánico en la planta. El pH es el principal regulador de la disponibilidad de Mo se hace cada vez más disponible al aumentar el pH (INIAP, 2022).

- **Boro (B)**

Este elemento está involucrado en 2 enzimas fundamentales: El nitrato reductasa y nitrogenasa, estas enzimas son responsables de la fijación del Nitrógeno. Además, transforma el fósforo inorgánico a orgánico en la planta. El pH es el principal regulador de la disponibilidad de Mo se hace cada vez más disponible al aumentar el pH (Insua, 2019).

2.9. Muestreo de parcelas

Cada parcela debe ser submuestreada desde al menos tres puntos distintos. En parcelas extensas, que abarquen varias hectáreas, se puede tomar aproximadamente una planta de cada una de estas áreas. Es fundamental que los puntos de muestreo estén bien distribuidos en la parcela, abarcando áreas como el centro, los límites y las zonas con pendientes, dado que estas áreas son críticas en el contexto de la plantación. Además, es importante considerar la profundidad adecuada para recolectar las muestras. Por lo general, se recomienda tomar las muestras a una profundidad de 0 a 40 cm, ya que es en esta zona donde las raíces de las plantas se extienden. En otros casos, como en sistemas con raíces profundas, se sugiere recolectar muestras a una profundidad mayor, alrededor de 60 o 70 cm. Una vez obtenidas las muestras, el siguiente paso es mezclarlas. Se aconseja que el peso de esta mezcla sea de aproximadamente medio kilogramo. En caso de exceder esta cantidad, el exceso puede ser descartado adecuadamente (Mendoza R. , 2020).

2.10. Tipos de muestras

2.10.1 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 (Bernier, 2019).

2.10.2 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 (Pinos, 2022).

2.11. Técnicas del muestreo

La técnica del muestreo a aplicar depende, 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 (Delli, 2022).

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).
- 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 muestra.
- 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

2.12. 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
- 25 a 50 cm para frutales y especies forestales, en general (Graterón, 2020).

2.13. Calicata

Es una técnica de prospección que implica la exploración de un terreno mediante excavación o perforación a profundidades moderadas para la toma de muestras de suelo. También conocida como "cata", su propósito principal es llevar a cabo estudios específicos del terreno en cuestión. Los objetivos de una calicata pueden variar ampliamente, lo que determina la técnica o metodología a seguir durante el proceso. Esta técnica es única en su capacidad para proporcionar una visión directa y examinar el perfil de suelo en su estado natural. Puede realizarse mediante excavación manual o con el uso de equipos especializados, como excavadoras de zanjas. Cuando sea necesario, se pueden obtener muestras no alteradas de horizontes específicos durante el proceso de calicata (Quimagro, 2022).

2.14. Infiltración

El método implica saturar una porción específica de suelo delimitada por dos anillos concéntricos, seguido de la medición de la variación del nivel del agua en el cilindro interior. Esta información es crucial para determinar el tipo óptimo de riego para un suelo dado, la cantidad de agua que deben suministrar los goteros y las medidas necesarias para prevenir el exceso de agua en las plántulas durante la reforestación. Es probable que al inicio del experimento el suelo esté seco o parcialmente húmedo, lo que indica condiciones de no saturación. Sin embargo, los valores inicialmente elevados descenderán rápidamente debido a la presión ejercida por la columna de agua, la cual aumenta con la altura. El tiempo necesario para alcanzar las condiciones finales de saturación dependerá de diversos factores, como la humedad inicial, la textura y estructura del suelo, el espesor del horizonte a través del cual se desplaza el agua y la altura del agua en el anillo interior (LLuvichuzca, 2021).

La tasa o velocidad de infiltración es la velocidad con la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie. Normalmente la expresamos en mm/h y su valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo saturado (Delli, 2022).

2.15. Índice de penetración

Básicamente consiste en la hincada en el terreno con una punta metálica mediante golpes mostrando la resistencia del terreno ya que se contabilizan el número de golpes necesarios para clavar, pero debido a su amplio uso, este ensayo puede correlacionarse con numerosos parámetros geotécnicos. Puede definirse como un ensayo que contabiliza el número de golpes necesarios para introducir un toma de muestras tubular de acero hueco o con puntaza ciega, mediante una maza de 63.5 kg que cae repetidamente desde una altura de 76.2 cm. Son importantes estas medidas ya que sirven para diferenciarlos de otros ensayos de penetración. El tomamuestras debe introducirse en el terreno 60 cm y se contabilizan los golpes cada 15 cm. Tanto el tomamuestras tubular como la puntaza ciega y el varillaje necesario están estandarizados (Loor, 2018).

2.16. Análisis de la fertilidad

Es fundamental para comprender y mejorar las condiciones agrícolas. Este proceso implica la evaluación de diversos factores, como la concentración de nutrientes, el pH, la textura y estructura del suelo. Mediante pruebas químicas y físicas, se determina la capacidad del suelo para proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento óptimo de las plantas (Gutiérrez, 2018).

2.17. Análisis del suelo

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 (Bernier, 2019)

También mide el pH del mismo, el cual está directamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes. 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 el programa de fertilización se hace en base a lo que la planta requiere, disminuyendo así la perdida de fertilizantes (Bernier, 2019).

2.18. Uso de suelo a nivel del país

El uso del suelo, se refiere a la categoría de utilización de las tierras en el sector rural del país, se mencionan los siguientes valores del uso del suelo a nivel de Ecuador donde tenemos los siguientes datos: montes y bosques con un 30.10%, pastos cultivados con un 29.5%, pastos naturales con un 11.96%, cultivos permanentes con un 11.62%, cultivos transitorios y barbecho con un 8.58%, paramos con un 5.11%, otros usos 1.73% y de descanso con un 1.07 % (Loor, 2018).

2.19. Descripción de uso de suelos

Agrícola. - Esta categoría comprende agricultura tradicional y tecnificada, con fines de subsistencia (cultivos básicos) y comerciales (a gran escala).

Pasto. - (Pradera) Son áreas desprovistas de bosque y cultivadas con pastos, de uso predominante para ganadería extensiva.

Matorral. - Comprende a la superficie ocupada por vegetación de porte bajo, por lo general son terrenos agrícolas que se encuentran en estado de descanso o barbecho.

Bosque. - Esta categoría de uso está conformada por bosques de pino, bosques latifoliados y bosques mixtos. Se asigna esta categoría a las áreas cubiertas con más del 60% de vegetación arbórea.

Suelo desnudo. - En esta categoría se incluye las zonas de derrumbe, cauces de los ríos con evidencia de inundación reciente y las zonas de extracción de material selecto.

Zona poblada. - Incluye todas las zonas pobladas, áreas sometidas a uso intensivo, cubierto en gran parte por estructuras, a la vez incluye ciudades, poblados y aldeas (Graterón, 2020).

2.20. Características físicas de los suelos

Las características físicas del suelo son determinantes para su capacidad de sostener vida vegetal y su uso en actividades agrícolas o constructivas. Estas propiedades incluyen aspectos como la textura, la estructura, la densidad aparente, la porosidad, la capacidad de retención de agua y la temperatura del suelo (Correa, 2023).

La textura del suelo se refiere a la proporción de partículas de diferentes tamaños que lo componen: arena, limo y arcilla. Esta distribución influye directamente en la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, así como en su drenaje. Por ejemplo, los suelos arenosos tienen una alta capacidad de drenaje pero retienen poca agua, mientras que los arcillosos son más compactos y pueden almacenar mayor humedad (Loor, 2018).

La estructura del suelo describe cómo estas partículas se agrupan o forman agregados. Una buena estructura facilita el movimiento del agua, el aire y el crecimiento de las raíces, mientras que una estructura degradada puede provocar compactación y afectar negativamente la productividad (Rojo & Martínez, 2020).

La densidad aparente mide la masa del suelo en relación con su volumen, incluyendo los espacios porosos. Un suelo compactado tiene mayor densidad aparente, lo que dificulta el desarrollo radicular y la infiltración de agua (Rojo & Martínez, 2020).

La porosidad está relacionada con la cantidad y el tamaño de los poros del suelo. Estos espacios permiten el flujo de aire y agua esenciales para las plantas y los microorganismos del suelo. Un suelo equilibrado tiene una proporción adecuada de poros grandes y pequeños, lo que favorece tanto el drenaje como la retención de agua (Pineda, 2021).

La capacidad de retención de agua varía según el tipo de suelo. Los suelos arcillosos retienen más agua debido a sus partículas pequeñas y gran superficie, mientras que los arenosos pierden agua rápidamente (Altamirano, 2019).

La temperatura del suelo afecta los procesos biológicos y químicos que ocurren en él, así como la germinación de semillas y el crecimiento de las raíces. Factores como la exposición solar y el contenido de materia orgánica influyen en la regulación térmica del suelo (Pineda, 2021).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación de la investigación

- **Localización de la investigación**

La presente investigación se realizó en la provincia de Bolívar cantón Guaranda en los sectores Naguán y Curgua.

- **Situación geográfica y edafoclimática**

	Localidad I	Localidad II
Altitud promedio	2 632 msnm	2508 msnm
Latitud	01º 41´ 52"S	01º 38´ 26.68"S
Longitud	78º 59.54″ O	79º 00´ 25.25" W
Temperatura media anual	14.4 °C	14.4 °C
Temperatura máxima	22 °C	22 °C
Temperatura mínima	7 °C	7 °C
Precipitación mínima anual	980 mm	980 mm
Humedad relativa anual	70 %	70 %
Heliofanía promedio	900/horas/luz/año	900/horas/luz/año
Tipo de suelo	Franco arcilloso	Franco arenoso

Fuente: Estación Meteorológica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente UEB 2023.

- **Zona de vida**

De acuerdo con la clasificación de la zona de vida, el sitio corresponde a la formación bosque seco Montano Bajo (bs - MB). (Holdrige,1979)

3.2. Metodología

3.2.1 Material en estudio

Muestras de suelo por localidad.

3.2.2 Factores en estudio

Calidad física química del suelo en tres estratos agrícolas en dos localidades.

3.2.3 Tratamientos

Se consideró un tratamiento por calicata, según el siguiente detalle

Nº. Tratamientos	Descripción
T1	Naguán - alto
T2	Naguán - medio
T3	Naguán - Bajo
T4	Curgua - alto
T5	Curgua - medio
T6	Curgua – Bajo

3.2.4 Tipo de diseño experimental o estadístico

Estadística descriptiva e inferencial

3.2.5 Manejo de la investigación

- **Identificación de la zona de muestreo**

La identificación de la zona de muestreo se completó mediante una visita in situ en ambas localidades. Durante el recorrido, se reconocieron y seleccionaron los diferentes sitios de muestreo, considerando aspectos como el relieve y la vegetación, y relacionando esta información con la georreferenciación.

- **Selección de sitios**

Se seleccionaron dos sitios en cada localidad a lo largo de toda la zona de estudio, distribuyéndose en las áreas alta, media y baja.

- **Calicatas**

Se realizaron calicatas utilizando una pala plana, excavando a una profundidad de 0-20 cm. De cada calicata se extrajeron cuatro submuestras de suelo, que se homogenizaron para obtener dos muestras en cada estrato.

- **Toma de muestras**

Para la toma de muestras, se dividió cada transecto en partes alta, media y baja. En cada parte, se ubicaron dos calicatas a una distancia de 200 m entre sí. Con una pala cuadrada, se extrajeron 12 muestras de 1 kg cada una, correspondientes a los diferentes sitios. El proceso se realizó de manera sistemática para todas las muestras, raspándolas con un bailejo en una bandeja para homogenizar y obtener la muestra patrón.

- **Etiqueta de muestras**

Para enviar las muestras se realizó la identificación oportuna, que fueron debidamente etiquetadas de la siguiente manera:

Sitio- código	(…….)	Longitud:	(…….)
Profundidad	(…….)	Altura msnm	(…….)
Peso (Kg)	(…….)	Responsable	(…….)
Latitud:	(…….)	Fecha	(…….)

- **Traslado de muestras**

Una vez recolectadas las 12 muestras de suelo en las dos localidades, estas fueron trasladadas a los laboratorios del Centro de Investigación del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), donde se realizaron los análisis físicos y químicos correspondientes.

- **Ingreso de las muestras**

Cada muestra extraída de las localidades fue ingresada a los laboratorios, debidamente codificada y etiquetada, para proceder con las siguientes fases del análisis.

3.2.6 Métodos de evaluación (variables respuestas)

Variables físicas

- **Textura (T)**

Se evaluó en las 12 muestras tomadas a una profundidad de 0-20 cm, utilizando el método de Bouyoucos o la metodología aplicada en los laboratorios donde se realizó el análisis. La clasificación se realizó mediante el esquema triangular de texturas de la U.S.D.A. (United States Department of Agriculture), y los datos fueron expresados en tamaño de partículas.

- **Humedad (H)**

La humedad se determinó mediante el método de secado a una temperatura de 85°C durante 48 horas. El procedimiento consistió en pesar los crisoles vacíos con su tapa correspondiente, agregar 10 g de suelo de cada muestra, y colocarlos en una estufa durante 48 horas. Posteriormente, se enfriaron en un desecador y se volvieron a pesar. Este análisis se realizó siguiendo la metodología aplicada en cada laboratorio, y los resultados se expresaron en porcentaje.

Variables fisicoquímicas

- **pH**

El pH se determinó utilizando el método potenciométrico, que consistió en pesar 20 g de cada muestra, añadir 50 ml de agua destilada, y agitar la mezcla durante 5 minutos en un agitador orbital a 500 rpm. Luego, se dejó reposar por 30 minutos y se realizó la lectura con un pH-metro portátil.

- **Porcentaje de materia orgánica**

Las muestras enviadas al laboratorio del INIAP en la Estación Experimental Santa Catalina fueron analizadas siguiendo la metodología establecida en el laboratorio para determinar el porcentaje de materia orgánica.

Variables químicas

Cálculo de macro y micro nutrientes del suelo

Se realizó el análisis de suelo en el laboratorio del INIAP, utilizando el servicio Suelo 4, en el cual se evaluaron los siguientes parámetros:

- **Nitrógeno**

Se determinó siguiendo la metodología del laboratorio, considerando su importancia como elemento esencial para el crecimiento foliar y el desarrollo general de la planta. Este parámetro se expresó en ppm.

- **Fósforo**

Se analizó mediante la metodología establecida, dada su relevancia para la formación de raíces, flores y la producción de semillas, así como su papel en la formación de ATP (trifosfato de adenosina). Los resultados se expresaron en ppm.

- **Potasio**

Su determinación permitió evaluar su papel en la regulación del agua en las plantas y su contribución a la síntesis de proteínas, carbohidratos y resistencia a enfermedades. Los valores se expresaron en ppm.

- **Calcio**

Este parámetro se valoró debido a su función en las paredes celulares, la división celular y el crecimiento de raíces y brotes. Los resultados se expresaron en meq/100g.

- **Magnesio**

Se analizó por ser componente clave de la clorofila y esencial para la fotosíntesis y la activación de enzimas. Los valores se expresaron en meq/100g.

- **Azufre**

Se valoró como componente esencial de aminoácidos y coenzimas, además de su importancia para la síntesis de clorofila y proteínas. Los resultados se expresaron en ppm.

- **Hierro**

Se evaluó por su rol en la formación de clorofila y en los procesos de fotosíntesis y respiración celular. El hierro también participa en la transferencia de electrones durante la fotosíntesis y la respiración celular los valores se expresaron en ppm.

- **Manganeso**

Se valoró por su participación en la fotosíntesis y en la activación de enzimas importantes para la síntesis de carbohidratos, proteínas y ácidos nucleicos. Los resultados se expresaron en ppm.

- **Zinc**

Se determinó por su importancia en el crecimiento de las plantas y la formación de semillas, así como su papel en la síntesis de hormonas de crecimiento. Los valores se expresaron en ppm.

- **Cobre**

Este parámetro se valoró debido a su función en enzimas relacionadas con la fotosíntesis y la síntesis de lignina, y los resultados se expresaron en ppm.

- **Boro**

Se evaluó por ser esencial en la formación de paredes celulares, flores y división celular. Los resultados se expresaron en ppm.

- **Molibdeno**

Su análisis permitió valorar su papel en la fijación de nitrógeno, fundamental para la síntesis de proteínas. Los valores se expresaron en porcentaje.

- **Suma de bases**

Se referenció este indicador debido a su importancia en la determinación de la suma de bases en el suelo, considerada una parte fundamental del análisis de suelos. Proporcionó información valiosa sobre la capacidad del suelo para suministrar nutrientes a las plantas. Este análisis resultó especialmente útil para agricultores y profesionales en manejo de suelos, ya que facilitó la toma de decisiones informadas respecto a la aplicación de enmiendas y fertilizantes, optimizando así la fertilidad del suelo. Los resultados se expresaron en meq/100g.

- **Índice de penetración**

Se calculó la resistencia a la penetración del suelo utilizando un penetrómetro construido de forma artesanal, siguiendo la metodología descrita por el CIMMYT. Los resultados obtenidos fueron expresados en centímetros (cm).

- **Velocidad infiltración del agua**

Se determinó el nivel máximo de agua que el suelo pudo absorber, considerando sus propiedades físicas y el estado de humedad previo a la precipitación. Este parámetro se midió en función de la altura del agua infiltrada, y los resultados fueron expresados en milímetros por hora (mm/h).

- **Uso de suelo**

Se identificaron las diferentes áreas espaciales de las localidades, dividiéndolas en secciones y considerando diversos parámetros relacionados con el uso efectivo del

suelo. Se empleó una codificación específica para cada área y se evaluaron tres parámetros principales dentro del proyecto de investigación: agrícola, pradera natural y forestal, e infraestructura. El análisis se realizó con el apoyo de un paquete tecnológico.

3.2.7 Tipos de análisis

- Prueba Fisher 1 y 5 %
- Máximos y Mínimos

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Interpretación de resultados

4.1.1. Humedad (H)

Tabla 1

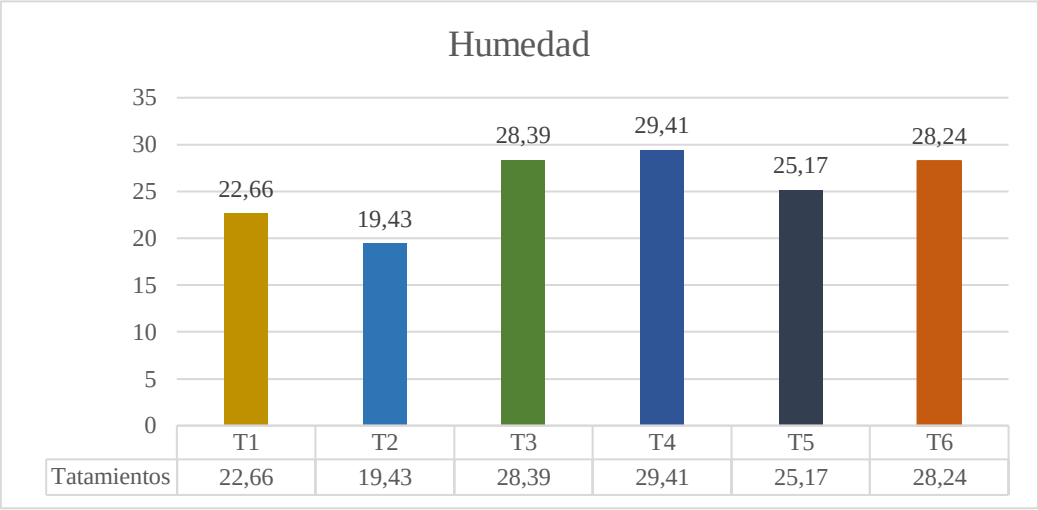
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en la humedad

Humedad (ns)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T4	29.41	A
T3	28.39	A
T6	28.24	A
T5	25.17	A
T1	22.66	A
T2	19.43	A
	Fisher 1.24	
	Media general 25.55	

Nota: ns = no existen diferencias estadísticas significativas. Las letras iguales indican que las diferencias estadísticas no son significativas

Figura 1

Valores para humedad del suelo



La humedad del suelo es un factor esencial para el desarrollo de cultivos, ya que influye directamente en la disponibilidad de agua para las plantas y en la actividad microbiológica, factores que condicionan la productividad agrícola. En este estudio, los valores de humedad oscilaron entre un 29.41% en T4 (Curgua - Alto) y un 19.43% en T2 (Naguán - Medio), con una media general de 25.55%. La prueba estadística de Fisher (F = 1.24) indicó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, lo que refleja una relativa uniformidad en la retención de humedad en ambas localidades.

El T4 (29.41%), correspondiente a la zona alta de Curgua, presentó la mayor retención de humedad. Este valor se considera alto y es favorable para la producción agrícola, especialmente en cultivos que requieren una disponibilidad constante de agua durante su ciclo vegetativo. Por ejemplo, cultivos como maíz, papa, fréjol y hortalizas como la lechuga y el brócoli son altamente beneficiados por estos niveles de humedad. Estas especies no solo son fundamentales para la seguridad alimentaria local, sino que también generan ingresos económicos en mercados rurales, contribuyendo al sustento de las familias.

Los niveles de humedad más altos observados en Curgua representan una oportunidad para mejorar la seguridad alimentaria y la calidad de vida de estas familias. Pérez y Hernández (2020) destacan que la implementación de sistemas de riego eficientes y técnicas de conservación de agua, como la captación de agua de lluvia y la mulching (cobertura del suelo con residuos vegetales), puede optimizar el uso de la humedad en el suelo, asegurando una producción agrícola sostenible incluso en periodos de sequía.

Estos resultados son consistentes con datos de otros estudios en sistemas agrícolas con suelos de texturas similares. Campoverde (2024) reporta que en suelos de textura franco-arcillosa en la región de los Andes, los niveles de humedad se mantuvieron uniformes bajo condiciones de manejo conservacionista, atribuyéndolo a la capacidad de dichos suelos para equilibrar la retención y el drenaje de agua.

4.1.2. pH (pH)

Tabla 2

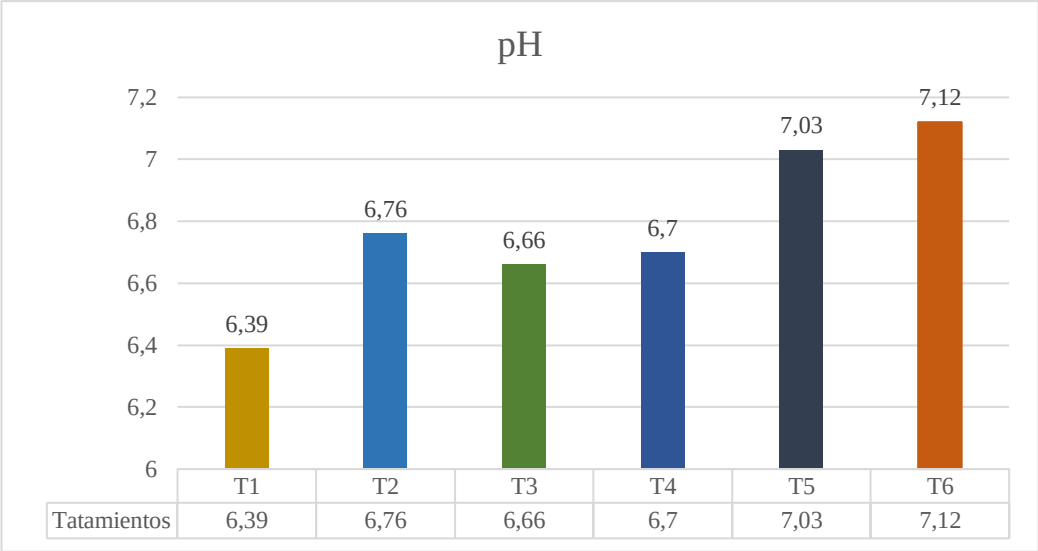
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el pH

pH (*)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T6	7.12	A
T5	7.03	AB
T4	6.70	AB
T2	6.76	AB
T3	6.66	AB
T1	6.39	B
Fisher	4.24	
Media general	6.81	

Nota: * = existen diferencias estadísticas significativas. Las letras distintas indican que las diferencias estadísticas son significativa

Figura 2

Valores para pH del suelo



El pH del suelo es una variable determinante en la disponibilidad de nutrientes esenciales para los cultivos y en la actividad microbiológica, factores que inciden

directamente en la productividad agrícola. En el presente estudio, los valores de pH oscilan entre 6.39 (T1 – Naguán Alto) y 7.12 (T6 – Curgua Bajo), con una media general de 6.81. La prueba de Fisher indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos, lo que evidencia una variación en la acidez o alcalinidad del suelo según la localidad y altitud.

El T6 (Curgua Bajo) presentó el valor de pH más alto (7.12), ubicándose en un rango ligeramente alcalino. Este nivel es favorable para la disponibilidad de nutrientes como calcio, magnesio y potasio, que son esenciales para el desarrollo óptimo de cultivos como maíz, trigo y alfalfa. Además, un pH cercano a la neutralidad favorece la actividad de microorganismos benéficos que mejoran la estructura del suelo y la disponibilidad de nitrógeno. Según Morales et al. (2021), suelos con pH entre 6.5 y 7.5 optimizan la absorción de nutrientes y la productividad de cultivos en sistemas agrícolas de montaña.

Por otro lado, el T1 (Naguán Alto) presentó el pH más bajo (6.39), lo que lo clasifica como ligeramente ácido. Aunque este nivel de acidez aún es adecuado para ciertos cultivos como papa, fréjol y cebada, puede limitar la disponibilidad de fósforo, hierro y manganeso, elementos cruciales para el desarrollo radicular. Esto podría afectar negativamente la productividad agrícola, especialmente en condiciones de estrés hídrico..

La influencia del pH sobre la fertilidad y la estructura del suelo determina el éxito a largo plazo de los sistemas agrícolas locales. Suelos con un pH adecuado (T6) permiten una mejor interacción entre el manejo agronómico y las características naturales del suelo, mientras que suelos con pH más bajos (T1) requieren una mayor intervención humana para mantener su productividad (Nuñez, 2023)

4.1.3. Porcentaje de materia orgánica (PMO)

Tabla 3

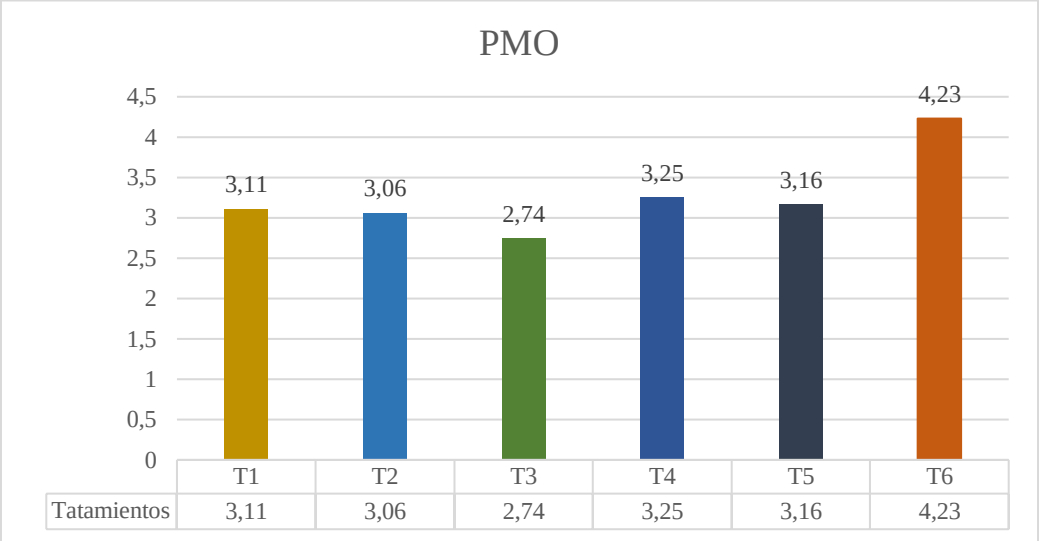
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en la materia orgánica

PMO (ns)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T6	4.23	A
T4	3.25	A
T5	3.16	A
T1	3.11	A
T2	3.06	A
T3	2.74	A
	Fisher 1.56	
	Media general 3.26	

Nota: ns = no existen diferencias estadísticas significativas. Las letras iguales indican que las diferencias estadísticas no son significativas

Figura 3

Valores para porcentaje de la materia orgánica



La materia orgánica en el suelo es un componente crucial para la calidad del mismo, ya que mejora la estructura del suelo, la retención de agua, la aireación y la disponibilidad de nutrientes. En este estudio, los valores de porcentaje de materia orgánica (PMO) varían entre 2.74% en T3 (Curgua Alto) y 4.23% en T6 (Curgua Bajo), con una media general de 3.26%. La prueba de Fisher muestra que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, lo que indica que el contenido de materia orgánica es relativamente homogéneo en las distintas zonas estudiadas.

El T6 (Curgua Bajo) presenta el mayor contenido de materia orgánica (4.23%), lo que es considerado alto en comparación con los demás tratamientos. La mayor presencia de materia orgánica es beneficiosa para la fertilidad del suelo, ya que esta contribuye a mejorar la estructura del suelo, favorece la retención de humedad y aumenta la disponibilidad de nutrientes esenciales para los cultivos. En este sentido, los suelos con mayor materia orgánica tienen una mejor capacidad agrícola, ya que permiten una mejor interacción entre las raíces de las plantas y los nutrientes.

El análisis del contenido de materia orgánica es fundamental para la valoración de la capacidad agrícola del suelo en el contexto de las dos localidades estudiadas en el cantón Guaranda. Los suelos con mayor materia orgánica (como en Curgua Bajo) tienen una mayor capacidad para sostener cultivos de alto rendimiento. Además, la alta materia orgánica contribuye a la mejor adaptación de los suelos a condiciones climáticas adversas, lo que es esencial para la seguridad alimentaria en estas zonas. La presencia de materia orgánica también promueve un entorno microbiológico saludable, lo que favorece el ciclo de nutrientes y la estabilidad del ecosistema agrícola.

Según Uvidia (2023), los suelos en zonas bajas de la región andina tienden a acumular mayores cantidades de materia orgánica debido a una menor erosión y a condiciones que favorecen la descomposición lenta de residuos vegetales. Además, en suelos agrícolas de montaña en Ecuador sugieren que la acumulación de materia orgánica es mayor en áreas con menor pendiente, lo que coincide con los valores más altos de PMO observados en los tratamientos de Curgua en el presente estudio.

4.1.4. Porcentaje de nitrógeno (PN)

Tabla 4

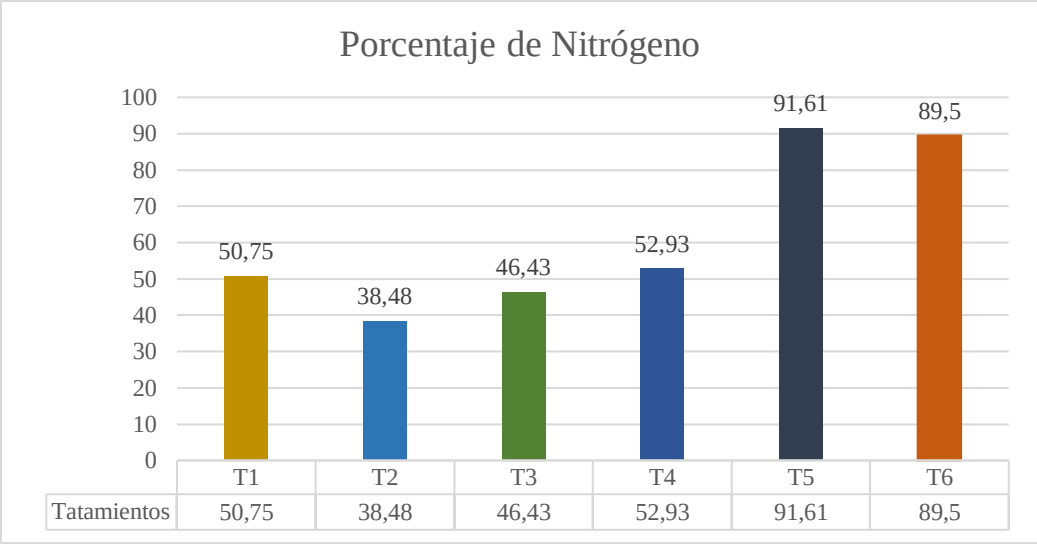
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de nitrógeno

PN (*)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T5	91.61	A
T6	89.50	A
T4	52.93	A
T1	50.75	A
T3	46.43	A
T2	38.48	A
	Fisher 5.30	
	Media general 61.62	

Nota: ns = no existen diferencias estadísticas significativas. Las letras iguales indican que las diferencias estadísticas no son significativas

Figura 4

Valores para porcentaje de nitrógeno



El nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, ya que forma parte de las proteínas, los ácidos nucleicos y otros compuestos clave para la fotosíntesis y el desarrollo general de los cultivos. En este estudio, los valores de porcentaje de nitrógeno (PN) varían entre 38.48% en T2 (Naguán Medio) y 91.61% en T5 (Curgua Medio), con una media general de 61.62%. La prueba de Fisher indicó que existen diferencias significativas entre los tratamientos, lo que muestra una importante variabilidad en el contenido de nitrógeno entre los diferentes suelos.

El T5 (Curgua Medio), con un 91.61% de nitrógeno, presenta el valor más alto, lo que es considerado muy alto en comparación con los otros tratamientos. Este alto contenido de nitrógeno es extremadamente beneficioso para los cultivos, ya que mejora el crecimiento vegetativo, promueve la formación de hojas y mejora la capacidad de las plantas para absorber otros nutrientes. Cultivos como maíz, trigo, y fréjol pueden aprovechar estos niveles de nitrógeno para lograr un desarrollo robusto.

Por otro lado, los T2 (38.48%) y T3 (46.43%) presentan los valores más bajos de nitrógeno, clasificándose como bajos. Estos niveles bajos pueden indicar una limitación en la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos, lo cual podría reducir su rendimiento. Los suelos con bajo contenido de nitrógeno pueden ser más propensos a problemas como el estrés nutricional y una menor capacidad para sostener cultivos de alto rendimiento sin la adición de fertilizantes nitrogenados.

El contenido de nitrógeno es un indicador clave de la calidad del suelo y de su capacidad para sostener cultivos a largo plazo. En suelos como los de Curgua Medio (T5), donde el contenido de nitrógeno es alto, los agricultores pueden esperar un rendimiento agrícola óptimo, sin necesidad de depender en exceso de fertilizantes externos. Estos suelos, por tanto, tienen un gran potencial agrícola, lo que es crucial para la seguridad alimentaria local (Mendoza et al., 2022).

4.1.5. Porcentaje de fosforo (PP)

Tabla 5

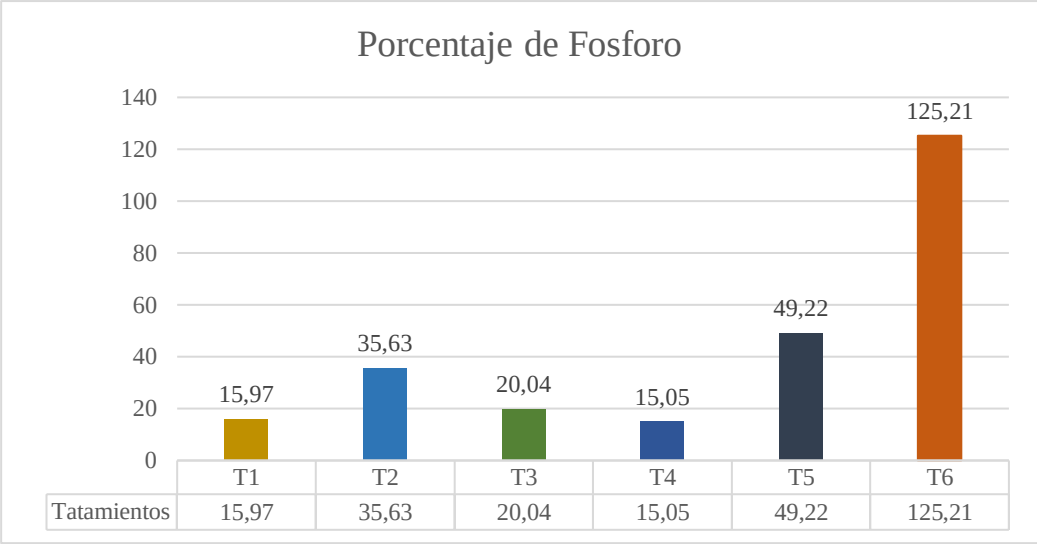
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de fosforo

PP (ns)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T6	125.21	A
T5	49.22	A
T2	35.63	A
T3	20.04	A
T1	15.97	A
T4	15.05	A
Fisher	3.05	
Media general	43.52	

Nota: ns = no existen diferencias estadísticas significativas. Las letras iguales indican que las diferencias estadísticas no son significativas

Figura 5

Valores para porcentaje de fosforo



El fósforo es un macronutriente esencial para el desarrollo de las plantas, ya que interviene en procesos clave como la formación de raíces, la síntesis de ADN y la

transferencia de energía mediante el ATP (adenosín trifosfato). En el presente estudio, las concentraciones de fósforo (PP), expresadas en partes por millón (ppm), oscilan entre 15.05 ppm en T4 (Curgua Alto) y 125.21 ppm en T6 (Curgua Bajo), con una media general de 43.52 ppm. A pesar de esta variabilidad, la prueba de Fisher (F = 3.05, ns) no detectó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que sugiere que los niveles de fósforo son relativamente homogéneos entre las diferentes zonas estudiadas.

El T6 (Curgua Bajo), con un valor de 125.21 ppm, presenta la mayor concentración de fósforo, lo que es considerado muy alto en comparación con el resto de los tratamientos. Este alto contenido de fósforo podría deberse a la acumulación de materia orgánica y a la menor lixiviación en áreas de baja pendiente, donde el agua de lluvia tiende a infiltrarse en lugar de escurrir superficialmente. La acumulación de fósforo en este tipo de suelos es favorable para cultivos que tienen una alta demanda de este nutriente, como maíz, fréjol y hortalizas de alto valor comercial.

Los tratamientos T1 (15.97 ppm) y T4 (15.05 ppm), correspondientes a las zonas altas de Naguán y Curgua, respectivamente, presentan las concentraciones más bajas de fósforo, lo que podría clasificarse como deficiente para cultivos de alto rendimiento

El fósforo es un elemento esencial para la capacidad agrícola de los suelos, y su variabilidad entre las localidades de Curgua y Naguán refleja las diferencias en el potencial productivo de estas áreas. Los suelos de Curgua Bajo presentan una alta disponibilidad de fósforo y, por ende, una alta capacidad agrícola, mientras que los suelos de Naguán Alto y Curgua Alto requieren una gestión intensiva para mejorar su fertilidad. Un manejo adecuado del fósforo es esencial para maximizar la productividad y asegurar la sostenibilidad agrícola en estas localidades del cantón Guaranda (Calispa *et al.,* 2023).

4.1.6. Porcentaje de potasio (PK)

Tabla 6

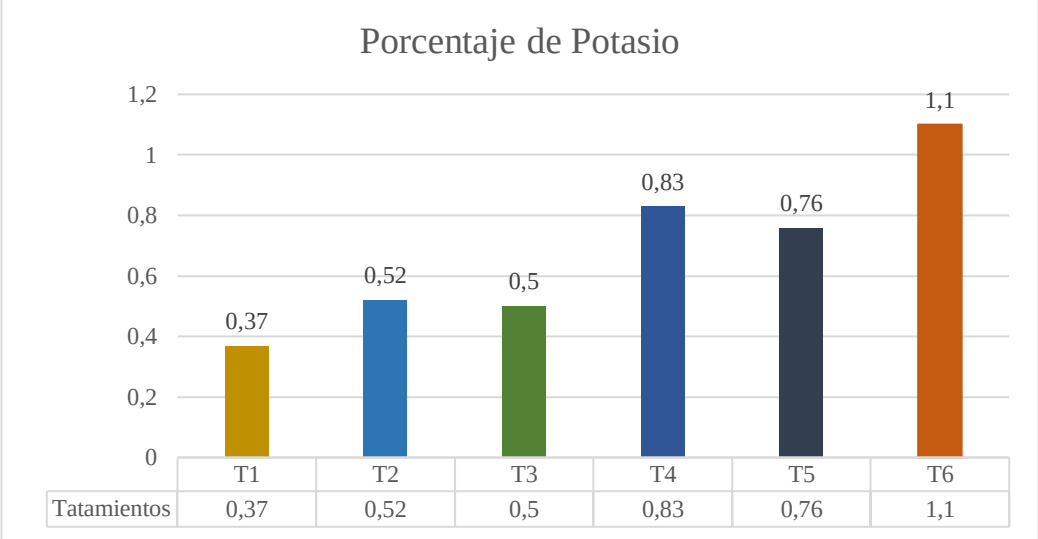
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de potasio

PK (ns)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T6	1.10	A
T4	0.83	A
T5	0.76	A
T2	0.52	A
T3	0.50	A
T1	0.37	A
	Fisher 2.63	
	Media general 0.68	

Nota: ns = no existen diferencias estadísticas significativas. Las letras iguales indican que las diferencias estadísticas no son significativas

Figura 6

Valores para porcentaje de potasio



El potasio es un macronutriente esencial para las plantas, desempeñando un papel clave en la regulación del equilibrio hídrico, la fotosíntesis y la síntesis de proteínas.

Es fundamental para mejorar la resistencia de las plantas frente a condiciones de estrés, como la sequía y las bajas temperaturas, y para optimizar la calidad de los cultivos, especialmente en la formación de frutos y semillas. En el presente estudio, los valores de porcentaje de potasio (PK) varían entre 0.37% en T1 (Naguán Alto) y 1.10% en T6 (Curgua Bajo), con una media general de 0.68%. La prueba de Fisher (F = 2.63, ns) indicó que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, lo que sugiere una distribución relativamente homogénea del potasio en las áreas estudiadas.

El T6 (Curgua Bajo), con un contenido de potasio de 1.10%, presenta la mayor concentración de este nutriente. Esta alta concentración se puede considerar favorable para el desarrollo de cultivos que tienen una alta demanda de potasio, como banano, yuca, papa, y hortalizas como tomate y pimiento, que dependen de este elemento para mejorar la calidad de sus frutos.

En contraste, el T1 (Naguán Alto), con un porcentaje de potasio de 0.37%, muestra la concentración más baja del estudio, lo cual es limitante para el desarrollo óptimo de cultivos exigentes en potasio. Este nivel bajo puede afectar negativamente la resistencia al estrés hídrico y la calidad de los frutos, especialmente en cultivos como maíz y fréjol, que necesitan cantidades moderadas de potasio para su correcto desarrollo.

Suelos ricos en potasio, como los de Curgua Bajo, ofrecen una mayor estabilidad productiva y una mejor capacidad para responder a las demandas del mercado, especialmente en cultivos orientados a la exportación o al consumo local. La disponibilidad adecuada de potasio en el suelo mejora la eficiencia en el uso del agua, lo que es fundamental en áreas donde la variabilidad climática afecta la disponibilidad de recursos hídricos (Marcillo & Solórzano, 2024).

4.1.7. Porcentaje de azufre (PS)

Tabla 7

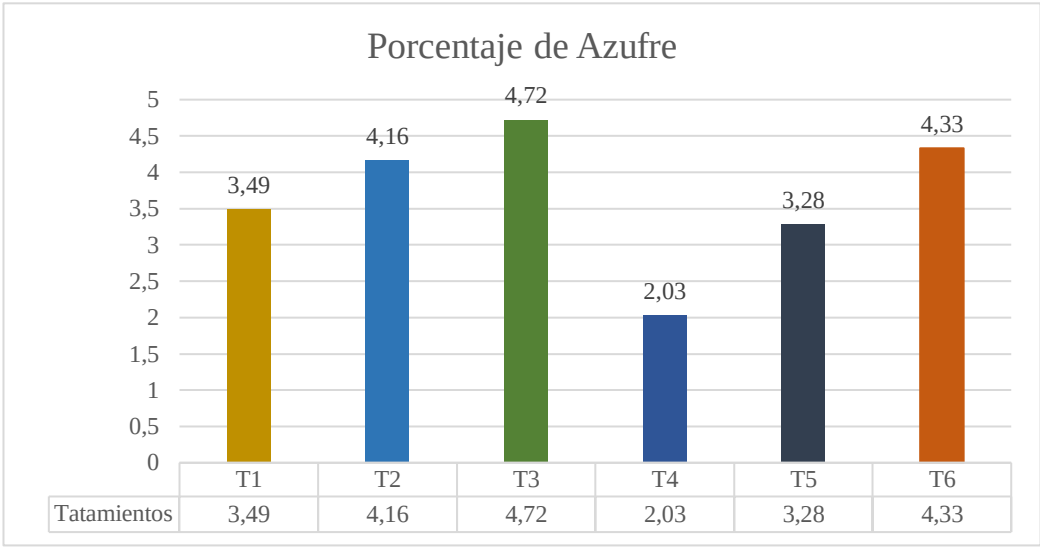
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de azufre

PS (ns)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T3	4.72	A
T6	4.33	A
T2	4.16	A
T1	3.49	A
T5	3.28	A
T4	2.03	A
	Fisher 0.74	
	Media general 3.67	

Nota: ns = no existen diferencias estadísticas significativas. Las letras iguales indican que las diferencias estadísticas no son significativas

Figura 7

Valores para porcentaje de azufre



El azufre es un macronutriente secundario esencial para las plantas, ya que interviene en la síntesis de aminoácidos como la cisteína y la metionina, que son fundamentales para la formación de proteínas y la activación de enzimas. También desempeña un papel importante en la fijación de nitrógeno en leguminosas y en la resistencia al estrés ambiental. En el presente estudio, los valores de porcentaje de azufre (PS) varían entre 2.03% en T4 (Curgua Alto) y 4.72% en T3 (Naguán Bajo), con una media general de 3.67%. A pesar de estas diferencias en los valores absolutos, la prueba de Fisher ($F = 0.74$, ns) no detectó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

El T3 (Naguán Bajo), con un 4.72% de azufre, presentó la mayor concentración entre los tratamientos, lo que es considerado favorable para el desarrollo agrícola en esta zona. La posición baja en la pendiente podría contribuir a una mayor acumulación de azufre debido a la retención de agua y a una menor lixiviación del nutriente. Además, la presencia de vegetación densa y materia orgánica en descomposición en esta área podría liberar azufre de manera continua al suelo, manteniendo su disponibilidad para los cultivos.

El T4 (Curgua Alto), con un 2.03% de azufre, muestra la concentración más baja del estudio, lo que podría ser limitante para algunos cultivos. En áreas con alta pendiente, como Curgua Alto, los procesos de erosión y drenaje rápido tienden a eliminar el azufre del perfil del suelo antes de que pueda ser absorbido por las raíces de las plantas.

La disponibilidad de azufre en el suelo es crucial tanto para la productividad inmediata como para la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas. Suelos con bajos niveles de azufre, como en Curgua Alto, requieren una gestión intensiva que aumenta los costos de producción y puede reducir la rentabilidad, además de comprometer la calidad nutricional de los cultivos y su valor en el mercado. En contraste, suelos con altos niveles de azufre, como en Naguán Bajo, ofrecen una mayor estabilidad productiva y adaptabilidad a las demandas del mercado, mejorando la eficiencia en el uso de fertilizantes nitrogenados, lo que disminuye la dependencia de insumos externos y fortalece la sostenibilidad agrícola (Correa, 2023).

4.1.8. Porcentaje de boro (PB)

Tabla 8

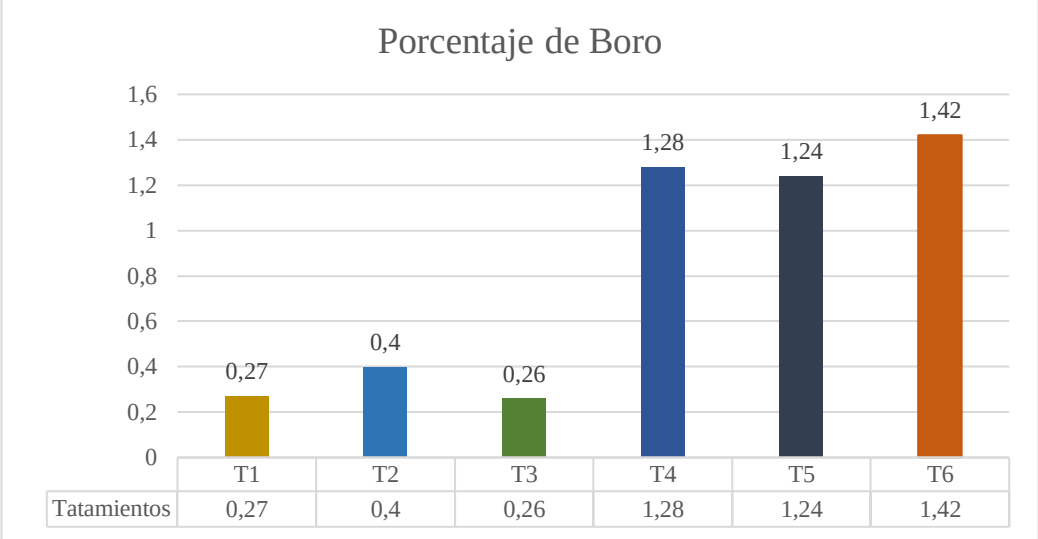
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de boro

PB (*)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T6	1.42	A
T4	1.28	A
T5	1.24	A
T2	0.40	B
T1	0.27	B
T3	0.26	B
Fisher	56.95	
Media general	0.81	

Nota: * = existen diferencias estadísticas significativas. Las letras distintas indican que las diferencias estadísticas son significativa

Figura 8

Valores para porcentaje de boro



El boro es un micronutriente esencial para las plantas, necesario en pequeñas cantidades pero crucial para la formación de paredes celulares, la elongación

celular, y el desarrollo de tejidos reproductivos. Su deficiencia puede afectar negativamente la floración, la fructificación, y la calidad de los frutos en cultivos como maíz, papa, frutales y hortalizas. En este estudio, el porcentaje de boro (PB) varió entre 0.26 ppm en T3 (Naguán Bajo) y 1.42 ppm en T6 (Curgua Bajo), con una media general de 0.81%. La prueba de Fisher ($F = 56.95$, $p < 0.05$) detectó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, con los suelos de Curgua (T4, T5, T6) presentando mayores concentraciones de boro en comparación con los de Naguán (T1, T2, T3).

El T6 (Curgua Bajo), con una concentración de 1.42 ppm de boro, presentó el nivel más alto del estudio. Este valor es considerado adecuado para satisfacer las necesidades de boro en la mayoría de los cultivos, lo que se traduce en una mejor formación de frutos, un desarrollo radicular óptimo y una mayor resistencia al estrés hídrico. La menor pendiente en Curgua Bajo favorece la retención de boro en el suelo, ya que este elemento, aunque móvil en el suelo, es menos susceptible a la lixiviación en zonas con buen contenido de materia orgánica y menor escorrentía.

La disponibilidad de boro en el suelo no solo afecta la productividad inmediata, sino que también tiene implicaciones a largo plazo en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. En suelos con bajos niveles de boro, como los de Naguán, la calidad del producto se ve afectada, reduciendo la competitividad en mercados que valoran cultivos con alto contenido de nutrientes y buena apariencia. Además, la deficiencia de boro puede aumentar la necesidad de fertilización química intensiva, lo que incrementa los costos de producción y reduce la rentabilidad de las explotaciones agrícolas (Rojo & Martínez, 2020).

4.1.9. Porcentaje de calcio (PCa)

Tabla 9

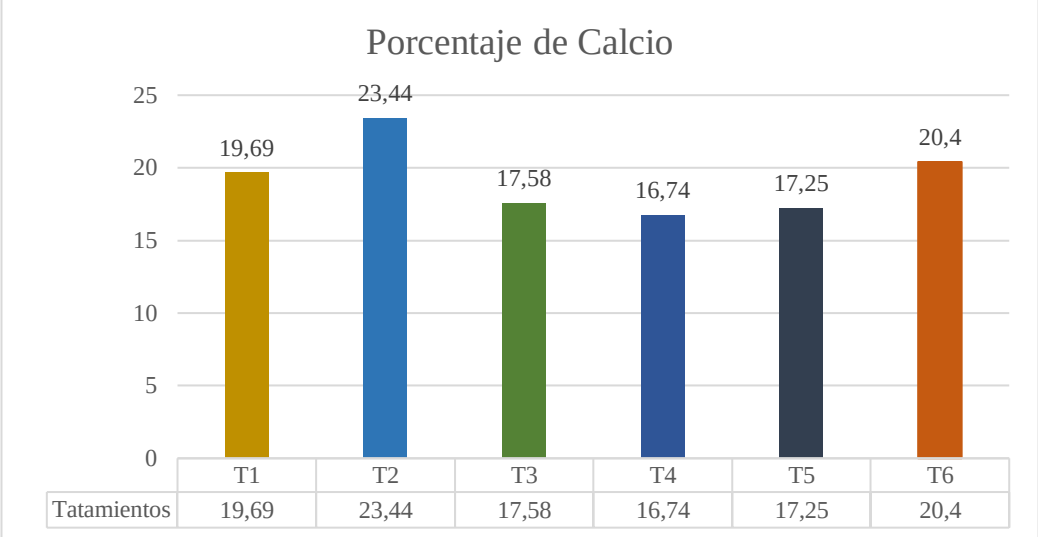
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de calcio

PCa (ns)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T2	23.44	A
T6	20.40	A
T1	19.69	A
T3	17.58	A
T5	17.25	A
T4	16.74	A
Fisher	0.91	
Media general	19.18	

Nota: ns = no existen diferencias estadísticas significativas. Las letras iguales indican que las diferencias estadísticas no son significativas

Figura 9

Valores para porcentaje de calcio



El calcio es un nutriente fundamental en la agricultura, ya que desempeña un papel clave en la formación y estabilidad de las paredes celulares, en la división celular y en el crecimiento de raíces y brotes. Además, contribuye a la neutralización de ácidos en el suelo, mejorando la estructura y la disponibilidad de otros nutrientes esenciales. En este estudio, los valores de porcentaje de calcio (PCa) variaron entre 16.74 meq/100g en T4 (Curgua Alto) y 23.44 meq/100g en T2 (Naguán Medio), con una media general de 19.18 meq/100g. La prueba de Fisher no detectó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica una distribución relativamente homogénea del calcio en las diferentes áreas evaluadas.

El T2 presentó la mayor concentración de calcio del estudio, este nivel se considera alto en comparación con la media general, lo cual es favorable para cultivos que requieren una alta disponibilidad de calcio para su desarrollo óptimo, como hortalizas de hoja (lechuga, espinaca), frutales (manzano, cítricos) y tubérculos como la papa. Estos cultivos dependen del calcio para mantener una estructura celular robusta, lo que se traduce en una mayor resistencia a plagas, enfermedades y estrés abiótico. La estabilidad de los niveles de calcio en esta zona podría estar relacionada con la combinación de una adecuada materia orgánica y un manejo conservacionista del suelo, que favorece la retención de este nutriente.

Estos resultados son consistentes con estudios realizados en la provincia de Bolívar. En la investigación de Chicaiza & Curi (2020) en suelos de esta región, se reportó una estabilidad en los niveles de calcio bajo prácticas de conservación, lo cual se atribuyó a la reducción en la lixiviación y la retención de nutrientes. Asimismo señalan que en zonas con manejo conservacionista, el calcio se mantuvo constante, favorecido por la incorporación de materia orgánica. Estas coincidencias sugieren que la estabilidad en los niveles de calcio en suelos agrícolas de Bolívar puede estar relacionada con prácticas de manejo que reducen la pérdida de nutrientes, favoreciendo su disponibilidad para las plantas.

4.1.10. Porcentaje de magnesio (PMg)

Tabla 10

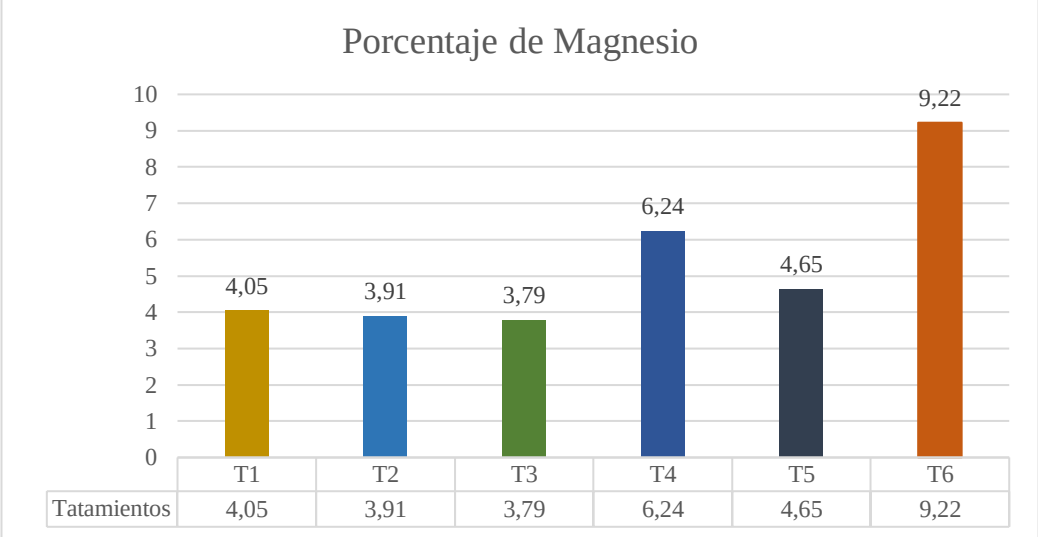
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de magnesio

PMg (ns)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T6	9.22	A
T4	6.24	A
T5	4.65	A
T1	4.05	A
T2	3.91	A
T3	3.79	A
Fisher	1.23	
Media general	5.31	

Nota: ns = no existen diferencias estadísticas significativas. Las letras iguales indican que las diferencias estadísticas no son significativas

Figura 10

Valores para porcentaje de magnesio



El magnesio es un nutriente esencial en los sistemas agrícolas, ya que es el componente central de la molécula de clorofila y desempeña un papel fundamental

en la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y la activación enzimática. Su presencia adecuada en el suelo es crucial para garantizar un desarrollo vegetativo equilibrado y una producción eficiente. En el presente estudio, los valores de porcentaje de magnesio (PMg) oscilan entre 3.79 meq/100g en T3 (Naguán Bajo) y 9.22 meq/100g en T6 (Curgua Bajo), con una media general de 5.31 meq/100g. La prueba de Fisher no detectó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica una distribución uniforme del magnesio en los suelos evaluados.

El T6 (Curgua Bajo), con un valor de 9.22 meq/100g, presenta el mayor contenido de magnesio del estudio y se clasifica como alto en comparación con la media general. Este nivel es favorable para cultivos exigentes en magnesio, como hortalizas de hoja (espinaca, acelga), frutales (cítricos, aguacate) y leguminosas (fréjol, soya), que requieren este nutriente para optimizar la fotosíntesis y mejorar la calidad del producto final. La menor pendiente en Curgua Bajo facilita la retención de magnesio, reduciendo las pérdidas por lixiviación y asegurando una disponibilidad constante para las plantas.

La uniformidad en los niveles de magnesio entre los tratamientos puede atribuirse a las características edáficas compartidas y a las prácticas de manejo similares implementadas en las áreas de estudio. El magnesio, como componente clave de la clorofila y esencial para la fotosíntesis y la activación de enzimas, es fundamental para el desarrollo vegetal. La estabilidad observada en los niveles de magnesio indica que las condiciones del suelo, incluyendo la textura y el contenido de materia orgánica, favorecen una retención equilibrada de este nutriente.

Estos resultados son coherentes con estudios previos realizados en la provincia de Bolívar que analizan la distribución de magnesio en suelos agrícolas bajo diferentes condiciones de manejo y topografía. El estudio de Tenemasa (2023) concluyó que en áreas con menor pendiente, los niveles de magnesio son más altos debido a una menor erosión y una mayor acumulación de materia orgánica. Estos datos respaldan la homogeneidad observada en los niveles de magnesio en el presente estudio, destacando la efectividad de las prácticas de manejo conservacionista en la estabilización de nutrientes esenciales en suelos agrícolas de la región.

4.1.11. Porcentaje de zinc (PZn)

Tabla 11

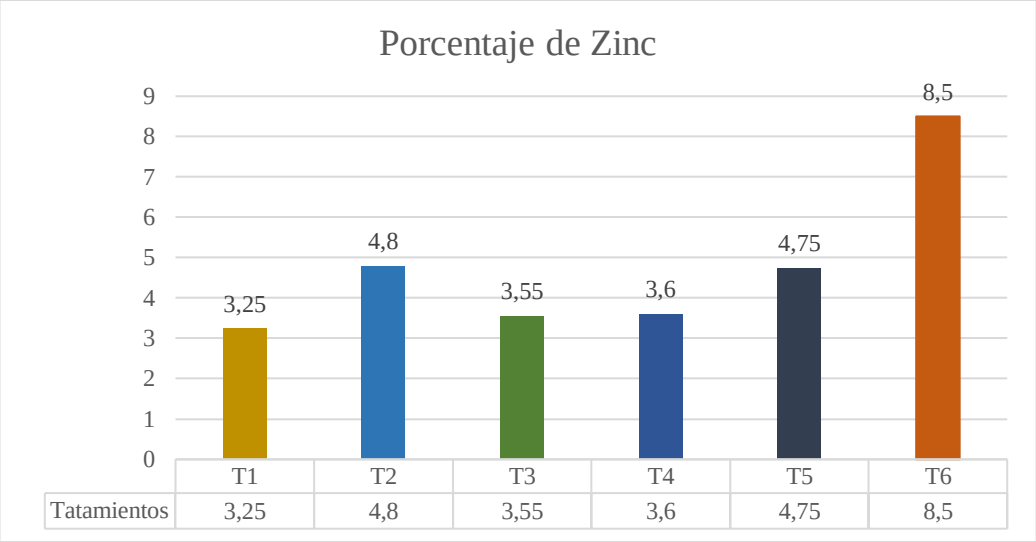
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de zinc

PZn (ns)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T6	8.50	A
T2	4.80	A
T5	4.75	A
T4	3.60	A
T3	3.55	A
T1	3.25	A
	Fisher 1.83	
	Media general 4.74	

Nota: ns = no existen diferencias estadísticas significativas. Las letras iguales indican que las diferencias estadísticas no son significativas

Figura 11

Valores para porcentaje de zinc



El zinc es un micronutriente esencial para el desarrollo vegetal, ya que participa en la síntesis de enzimas, la formación de hormonas de crecimiento y en procesos clave como la elongación celular y la formación de semillas. Su disponibilidad en el suelo es crucial para garantizar un crecimiento adecuado de los cultivos, especialmente en etapas críticas como la germinación y la floración. En este estudio, los valores de porcentaje de zinc (PZn) varían entre 3.25 ppm en T1 (Naguán Alto) y 8.50 ppm en T6 (Curgua Bajo), con una media general de 4.74 ppm. La prueba de Fisher no detectó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica una distribución homogénea del zinc en las áreas evaluadas.

El T6 (Curgua Bajo), con un valor de 8.50 ppm, presenta la mayor concentración de zinc en el estudio, lo que es considerado alto en comparación con la media general. Este nivel es óptimo para cultivos que tienen una alta demanda de zinc, como maíz, trigo, frutales y hortalizas (tomate, pimiento). La mayor retención de zinc en esta zona puede estar relacionada con la menor pendiente y una mayor retención de humedad, factores que reducen las pérdidas por lixiviación y favorecen la acumulación de este micronutriente.

Tamami (2023) reportó que en suelos de menor pendiente en la provincia de Bolívar, el zinc se retiene en mayores concentraciones debido a la reducción de lixiviación, similar a los niveles observados en T6. En áreas con manejo de conservación, el zinc se mantiene más estable en el suelo debido a la acumulación de materia orgánica, lo cual se alinea con la estabilidad de este nutriente en los tratamientos de este estudio.

4.1.12. Porcentaje de cobre (PCu)

Tabla 12

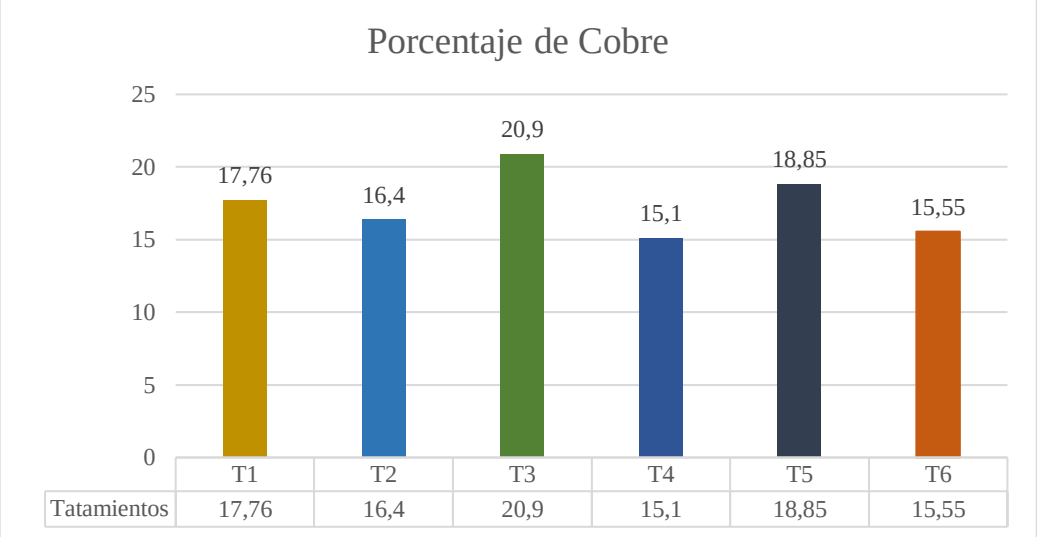
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de cobre

PCu (ns)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T3	20.90	A
T5	18.85	A
T1	17.76	A
T2	16.40	A
T6	15.55	A
T4	15.10	A
Fisher	4.00	
Media general	17.42	

Nota: ns = no existen diferencias estadísticas significativas. Las letras iguales indican que las diferencias estadísticas no son significativas

Figura 12

Valores para porcentaje de cobre



El cobre es un micronutriente esencial para el metabolismo vegetal, ya que participa en la formación de enzimas, la fotosíntesis y la resistencia a enfermedades. Su

presencia adecuada en el suelo es crucial para el correcto desarrollo de los cultivos, aunque se requiere en cantidades muy pequeñas. En este estudio, los valores de porcentaje de cobre (PCu) varían entre 15.10 ppm en T4 (Curgua Alto) y 20.90 ppm en T3 (Naguán Bajo), con una media general de 17.42 ppm. La prueba de Fisher no detectó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica una distribución homogénea del cobre en las áreas evaluadas.

El T3 (Naguán Bajo), con un valor de 20.90 ppm, presenta el mayor contenido de cobre en el estudio. Este nivel se considera adecuado para satisfacer las necesidades de cobre de la mayoría de los cultivos, como hortalizas (tomate, pimiento), leguminosas (fréjol, soya) y frutales (cítricos, aguacate), que requieren este micronutriente para el desarrollo de enzimas esenciales para su metabolismo y para fortalecer su resistencia a enfermedades. La mayor estabilidad de cobre en esta zona puede estar relacionada con una mayor retención de materia orgánica y una menor lixiviación en comparación con zonas de mayor pendiente.

Al comparar estos resultados con el estudio realizado por Tenemasa (2023) en su caracterización de suelos en Pusorrumi, se observa que este último también encontró niveles relativamente constantes de cobre, sin diferencias significativas en distintos estratos de suelo. Esta tendencia coincide con los resultados del presente estudio, donde no se observan variaciones significativas en los tratamientos aplicados. Esto sugiere que en suelos agrícolas, la disponibilidad de cobre puede ser relativamente uniforme y menos influenciable por variaciones en prácticas agronómicas o cambios de profundidad de suelo, lo cual respalda la estabilidad de cobre observada en ambos estudios.

En ambas investigaciones, la estabilidad en los niveles de cobre sugiere que este micronutriente podría estar naturalmente equilibrado en los suelos de la región, respondiendo en menor grado a la intervención humana en comparación con otros nutrientes, como el nitrógeno o el fósforo.

4.1.13. Porcentaje de hierro (PFe)

Tabla 13

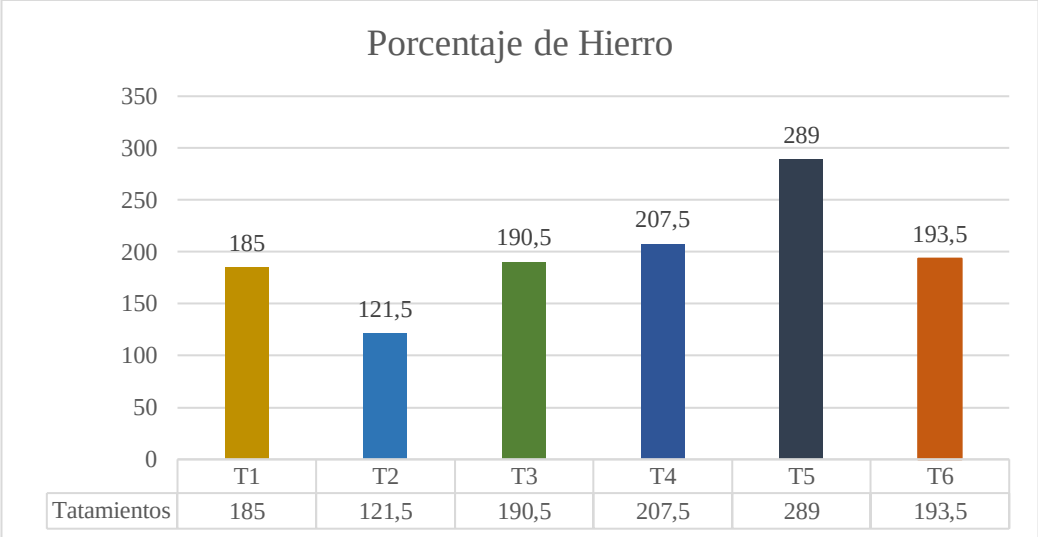
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de hierro

PFe (*)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T5	289.00	A
T4	207.50	AB
T6	193.50	AB
T3	190.50	AB
T1	185.00	AB
T2	121.50	B
Fisher	5.03	
Media general	197.83	

Nota: * = existen diferencias estadísticas significativas. Las letras distintas indican que las diferencias estadísticas son significativa

Figura 13

Valores para porcentaje de cobre



El hierro es un micronutriente esencial para el metabolismo vegetal, ya que desempeña un papel fundamental en la formación de clorofila, la fotosíntesis y la respiración celular. Además, es necesario para la actividad enzimática y el transporte de electrones en la planta. En este estudio, los valores de porcentaje de hierro (PFe) varían entre 289.00 ppm en T5 (Curgua Medio) y 121.50 ppm en T2 (Naguán Medio), con una media general de 197.83 ppm. La prueba de Fisher (F = 5.03) detectó diferencias estadísticamente significativas entre algunos tratamientos, destacando al T5 como el tratamiento con la mayor concentración de hierro.

El T5 (Curgua Medio), con 289.00 ppm, presenta un contenido de hierro alto, lo que lo diferencia significativamente de otros tratamientos, en particular de T2 (121.50 ppm), que mostró la menor concentración. Este nivel elevado de hierro en T5 es ideal para cultivos exigentes en este micronutriente, como hortalizas de hoja (espinaca, acelga), frutales (cítricos, manzano), y cereales (arroz, maíz), que dependen del hierro para mantener una fotosíntesis eficiente y un crecimiento saludable.

El contenido de hierro en el suelo es crucial para garantizar una productividad agrícola sostenible. Los suelos con niveles elevados de hierro, como los de Curgua Medio, ofrecen una ventaja competitiva para los agricultores, ya que permiten mantener una producción estable y de alta calidad con menor dependencia de insumos externos. Además, una disponibilidad adecuada de hierro mejora la resistencia de las plantas a enfermedades y estrés abiótico, lo que contribuye a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

En comparación con el estudio de Tamami (2023) en Laguacoto III, que también evaluó el hierro en un sistema de labranza para el cultivo de maíz, los niveles encontrados en su investigación fueron más constantes entre los diferentes sistemas de labranza y se mantuvieron en un rango medio para el hierro. En contraste, el presente estudio evidencia diferencias notables entre tratamientos, con un nivel significativamente más alto en T5. Esto podría indicar que el tipo de tratamiento o manejo específico influye en mayor medida en los niveles de hierro en el presente estudio, mientras que en el estudio de Tamami, el sistema de labranza de conservación pudo haber mantenido el hierro en un rango más equilibrado.

4.1.14. Porcentaje de manganeso (PMn)

Tabla 14

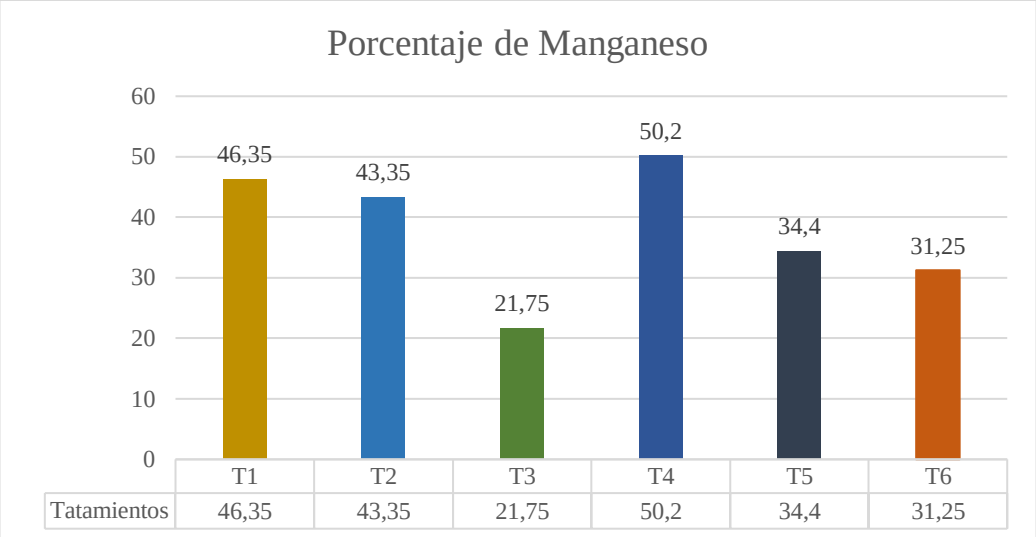
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en el porcentaje de manganeso

PMn (ns)		
TRAT	**PROMEDIO**	**RANGO**
T4	50.20	A
T1	46.35	A
T2	43.35	A
T5	34.40	A
T6	31.25	A
T3	21.75	A
Fisher	0.88	
Media general	37.88	

Nota: ns = no existen diferencias estadísticas significativas. Las letras iguales indican que las diferencias estadísticas no son significativas

Figura 14

Valores para porcentaje de manganeso



El manganeso es un micronutriente esencial para el crecimiento de las plantas, ya que desempeña un papel crucial en la fotosíntesis, la activación de enzimas involucradas en la síntesis de carbohidratos, proteínas y ácidos nucleicos, y en la protección contra el estrés oxidativo. En este estudio, los valores de porcentaje de manganeso (PMn) varían entre 21.75 ppm en T3 (Naguán Bajo) y 50.20 ppm en T4 (Curgua Alto), con una media general de 37.88 ppm. La prueba de Fisher no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que sugiere una distribución homogénea de manganeso en los suelos evaluados, a pesar de las diferencias absolutas en los valores de concentración.

El T4 (Curgua Alto), con un valor de 50.20 ppm, muestra el nivel más alto de manganeso, lo que podría ser beneficioso para cultivos que requieren este micronutriente para optimizar su fotosíntesis y fortalecer su resistencia al estrés ambiental. Cultivos como maíz, trigo, fréjol y hortalizas de hoja (como espinaca y lechuga) son particularmente sensibles a la deficiencia de manganeso, por lo que los niveles elevados de manganeso en suelos como los de Curgua Alto garantizan una disponibilidad adecuada para un crecimiento saludable.

Al comparar estos resultados con el estudio de Tenemasa (2023) en Pusorrumi, se observa una tendencia similar: los niveles de manganeso en su estudio también fueron relativamente estables y no presentaron diferencias significativas en función de los tratamientos aplicados. Esta coincidencia indica que el manganeso tiende a mantenerse en un rango equilibrado en estos suelos agrícolas, independientemente de las prácticas de manejo. En ambos estudios, la estabilidad de manganeso puede atribuirse a la naturaleza poco móvil de este elemento en el suelo, lo que reduce su susceptibilidad a cambios en el manejo o tratamiento agrícola.

4.1.15. Flujo (F)

Tabla 15

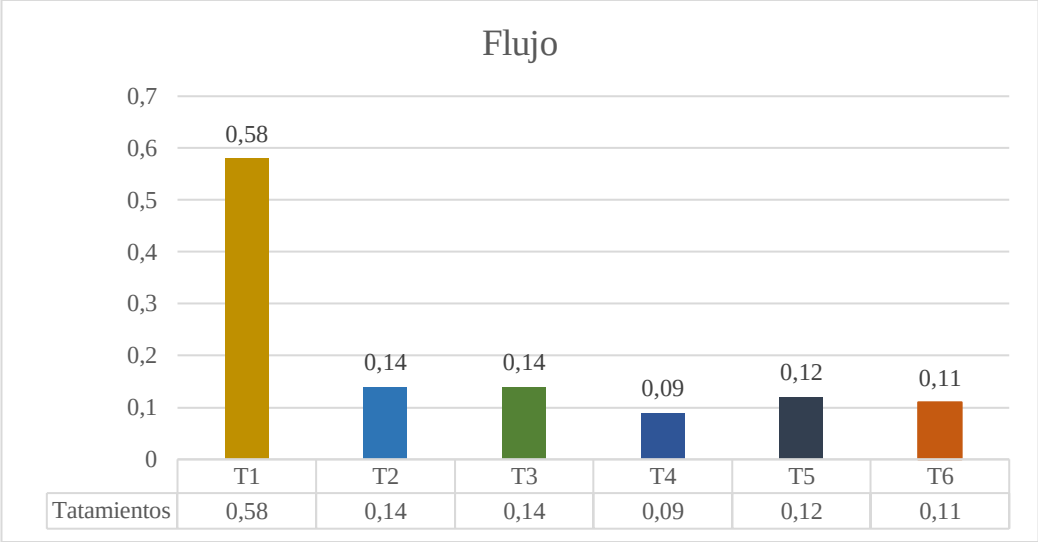
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos de flujo

Flujo (ns)		
TRAT	**PROMEDIO (l/seg)**	**RANGO**
T1	0.58	A
T3	0.14	A
T5	0.12	A
T6	0.11	A
T2	0.10	A
T4	0.09	A
Fisher	2.00	
Media general	0.19	

Nota: ns = no existen diferencias estadísticas significativas. Las letras iguales indican que las diferencias estadísticas no son significativas

Figura 15

Valores para el flujo de agua en el suelo



El flujo de agua en el suelo es un factor crucial en la gestión de la fertilidad del suelo y en la productividad agrícola, ya que determina la disponibilidad de agua para los cultivos, la infiltración y la drainage. En este estudio, los valores de flujo (F) varían entre 0.09 l/s en T4 (Curgua Alto) y 0.58 l/s en T1 (Naguán Alto), con una media general de 0.19 l/s. La prueba de Fisher no detectó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que sugiere que el flujo no está influenciado de manera significativa por las prácticas o tratamientos aplicados.

El T1 (Naguán Alto), con un valor de 0.58 l/s, presenta el flujo más alto, lo que podría indicar que los suelos de esta zona tienen una mejor capacidad de infiltración de agua, probablemente debido a características del suelo, como menor compactación o una mayor porosidad. Estos niveles de flujo son favorables para cultivos que requieren buena retención de agua en las raíces, como maíz, soja, y hortalizas, especialmente en suelos que requieren un adecuado balance entre aireación y humedad.

Comparando estos resultados con otros estudios en suelos de la misma región, como el trabajo de Tamami (2023) en sistemas de labranza de conservación, encontramos que el flujo también mostró una baja variabilidad en respuesta a los cambios de manejo. En ese estudio, el flujo se mantuvo estable en diferentes sistemas de labranza, lo que coincide con los resultados actuales. Esto indica que el flujo en los suelos de la región podría no estar significativamente influenciado por prácticas de manejo agrícola comunes, manteniéndose constante debido a propiedades intrínsecas del suelo.

En ambos estudios, la estabilidad del flujo sugiere que este parámetro es menos susceptible a los cambios generados por los tratamientos agrícolas. Esto destaca la posibilidad de que el flujo sea más afectado por características intrínsecas del suelo, como la porosidad y densidad, en lugar de los tratamientos aplicados.

4.1.16. Resistencia a la penetración (RESP)

Tabla 16

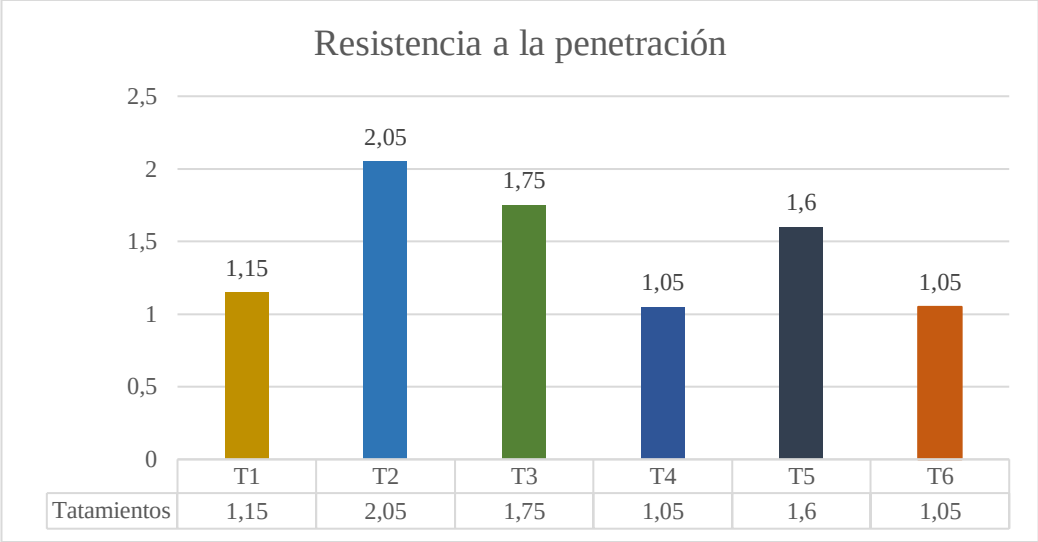
Resultados del análisis estadístico para comparar promedios de los tratamientos en la resistencia a la penetración

RESP (*)		
TRAT	**PROMEDIO mpa**	**RANGO**
T2	2.05	A
T3	1.75	AB
T5	1.60	AB
T1	1.15	B
T4	1.05	B
T6	1.05	B
Fisher	7.43	
Media general	1.44	

Nota: * = existen diferencias estadísticas significativas. Las letras distintas indican que las diferencias estadísticas son significativas

Figura 16

Valores para la resistencia a la penetración



La resistencia a la penetración es un indicador clave de la compactación del suelo y tiene un impacto directo en la capacidad del suelo para permitir el crecimiento adecuado de las raíces, así como la absorción de agua y nutrientes. En este estudio, los valores de resistencia a la penetración (RESP) oscilan entre 1.05 mpa en T4 y T6 (Curgua Alto) y 2.05 mpa en T2 (Naguán Medio), con una media general de 1.44 mpa. Según la prueba de Fisher (F = 7.43), se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

El T2 (Naguán Medio), con un valor de 2.05 mpa, presenta la mayor resistencia a la penetración, lo que indica una mayor compactación del suelo. Esta alta resistencia podría ser limitante para el crecimiento de las raíces, ya que las plantas pueden encontrar dificultad para penetrar el suelo y absorber agua y nutrientes de manera eficiente. La compactación del suelo en esta zona podría ser un factor negativo para cultivos que requieren un buen desarrollo radicular, como hortalizas (tomate, lechuga), cereales (maíz, trigo) y frutales (cítricos, manzanos), ya que la disponibilidad de agua y nutrientes puede verse reducida. En suelos compactados, es posible que los cultivos experimenten estrés hídrico y menor rendimiento.

Comparando estos resultados con la investigación de resistencia a la penetración en sistemas de cultivo de papa en suelos volcánicos realizada en la sierra ecuatoriana, se observa una tendencia similar: los suelos con mayor compactación mostraron resistencias superiores a 2.0 mpa, mientras que los suelos manejados con prácticas de labranza mínima o con incorporación de materia orgánica presentaron resistencias inferiores a 1.5 mpa Intriago (2024). Esto sugiere que prácticas de manejo como la labranza o la incorporación de materia orgánica pueden contribuir a reducir la resistencia y mejorar la penetración radicular.

4.2. Comprobación de hipótesis

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la prueba de rangos múltiples de Fisher, se identificaron diferencias estadísticamente significativas en las variables de pH (F = 4.24), nitrógeno (F = 5.30), fósforo (F = 3.05), resistencia a la penetración (F = 7.43) y hierro (F = 5.03. Los suelos de Curgua Bajo mostraron mayores concentraciones de pH, nitrógeno y fósforo, lo que favorece la disponibilidad de nutrientes, mientras que en Naguán Medio se observó una mayor resistencia a la penetración, lo que podría limitar el desarrollo radicular. Dado que las características físicas y químicas del suelo influyen significativamente en su capacidad agrícola, se acepta la hipótesis alterna (H_a) y se rechaza la hipótesis nula (H_0), concluyendo que la capacidad agrícola del suelo está determinada por factores como el pH, la concentración de nutrientes y la estructura física del suelo, destacando la necesidad de implementar prácticas de manejo específicas para optimizar la productividad en función de las condiciones edáficas y topográficas de cada localidad.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

A través del análisis detallado, se logró obtener una comprensión profunda sobre la influencia de estas propiedades en la productividad del suelo. A continuación, se presentan las conclusiones derivadas del análisis de los resultados.

- Los suelos de Curgua, particularmente en las zonas bajas, presentan un mayor potencial agrícola, gracias a su pH más alcalino y mayores concentraciones de nitrógeno y fósforo, lo que favorece la disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales para cultivos de alto rendimiento, como hortalizas, frutales y cereales. Por el contrario, en Naguán, especialmente en las zonas medias y altas, la alta resistencia a la penetración y la menor disponibilidad de nutrientes limitan parcialmente su capacidad agrícola, siendo más adecuado para cultivos menos exigentes o con prácticas de manejo que mejoren la estructura y fertilidad del suelo

- Las propiedades físicas del suelo, como su textura franco-arcillosa y franco-arenosa, han demostrado una capacidad uniforme de retención de humedad. Aunque no se observaron diferencias significativas en los niveles de humedad entre los tratamientos, esta retención homogénea de agua favorece el desarrollo de cultivos, permitiendo un suministro constante y equilibrado de agua.

- Los resultados muestran que el pH del suelo, varió de ligeramente ácido a neutro entre las localidades. En el caso de suelos con pH más neutro en Curgua - Bajo, se facilita la absorción de elementos esenciales. La materia orgánica, homogénea entre los tratamientos, contribuye positivamente a la capacidad del suelo para retener nutrientes y mejorar su estructura, aspectos claves para la productividad a largo plazo.

- La presencia de nutrientes como nitrógeno y fósforo, esenciales para el crecimiento de los cultivos, mostró variabilidad entre los diferentes estratos, siendo más alta en zonas como Curgua - Medio. Este enriquecimiento en nutrientes se relaciona con la menor erosión y mayor acumulación de materia orgánica en zonas de menor altitud, factores que contribuyen a una mayor capacidad productiva del suelo.

5.2. RECOMENDACIONES

Mediante los principales resultados y conclusiones, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda desarrollar programas de capacitación en prácticas de manejo y conservación de suelos, orientados a agricultores y productores de las localidades de Naguán y Curgua, abarcar temas como la interpretación de análisis de suelos, el impacto de propiedades físico-químicas en la producción agrícola y técnicas de mejora de la fertilidad del suelo

- Promover prácticas sostenibles como la rotación de cultivos, la cobertura vegetal y el uso de abonos orgánicos para mantener el equilibrio de nutrientes en el suelo y mejorar su estructura, ayudarán a conservar la humedad, reducir la erosión y aumentar el contenido de materia orgánica, aspectos clave para preservar la capacidad agrícola de los suelos en el largo plazo.

- Se recomienda a los agricultores realizar pruebas de pH de sus suelos al menos una vez al año. Basado en los resultados, se debe ajustar el pH utilizando enmiendas como cal agrícola en suelos ácidos o compost en suelos neutros.

- Es fundamental que los agricultores realicen análisis de suelos previos a la siembra para conocer los niveles de nutrientes como nitrógeno, fósforo y materia orgánica, permitirá ajustar las aplicaciones de fertilizantes y evitar el uso excesivo de químicos, lo que no solo protege la estructura y salud del suelo, sino que también reduce los costos de producción.

- Establecer alianzas entre los agricultores, las asociaciones de productores y las instituciones académicas y de investigación, como la Universidad Estatal de Bolívar. Estas alianzas pueden facilitar investigaciones continuas sobre la calidad del suelo y nuevas prácticas de manejo, así como crear programas educativos que acerquen los conocimientos técnicos a los productores locales.

BIBLIOGRAFÍA

Altamirano, E. (2019). Parámetros físicos y químicos para la determinación de la calidad de los suelos en la microcuenca Jun-Jun. Obtenido de https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30131/1/Tesis-238%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20641.pdf

Armas, D. (2021). Evaluación físico química del suelo bajo sistemas de labranza y niveles de nitrógeno. Obtenido de https://www.dspace.ueb.edu.ec/browse?type=title&sort_by=1&order=ASC&rpp=35&etal=20&null=&offset=3243

Bernier, R. (2019). Técnincas de muestreo de suelo, para analisis de fertilidad. Obtenido de https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/8314/1.pdf?sequence=7&isAllowed=y

Calispa, M., Vasconez, F., Santamaría, S., Samaniego, P., Hosfstede, R., Mena, P., & Suárez, E. (2023). Los suelos de los páramos del Ecuador. Los páramos del ecuador: pasado, presente y futuro. Quito: USFQ Press, 258. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Marlon-Calispa/publication/371736588LossuelosdelosparamosdelEcuador/links/6496fda195bbbe0c6eeeb3af/Los-suelos-de-los-paramos-del-Ecuador.pdf

Campoverde, B. (2024). Caracterización y estabilización de suelos expansivos en la zona de Challuabamba y Miraflores de la ciudad de Cuenca. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28841

Chicaiza, B., & Curi, G. (2020). Evaluación de sistemas de manejo con base a la agricultura de conservación para adaptación al cambio climatico en la granja Laguacoto III, cantón Guaranda, Ecuador. Obtenido de https://www.dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/3365/1/PROYECTO%20FINAL%20AC-GUISELA%20Y%20BLADIMIR.pdf

Correa, C. (2023). Evaluación de la calidad del suelo agrícola de la comunidad García Moreno, cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana. Obtenido de http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/21425

Delli, B. (2022). Caracterización físico-química del suelo en cultivos de ciclo corto comunidad, Corazón de Jesús. Obtenido de http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10246/1/Delli%20B%2c%20%282022%29%20Caracteri

zaci%c3%b3n%20f%c3%adsico-qu%c3%admica%20del%20suelo%20en%20cultivos%20de%20ciclo%20corto%20comunidad%2c%20Coraz%c3%b3n%20de%20Jes%c3%bas..pdf

Garrido, V. (2018). Interpretacion de analisis de suelos. Obtenido de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf

Graterón. (2020). Caracterización fisicoquímica y mineralógica de un suelo de uso agrícola ubicado en el campus El Limonal de la Universidad Santo Tomás, Piedecuesta. Obtenido de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29850/2020GrateronAndres.pdf?sequence=12

Gutiérrez, O. (2018). Propuesta de remediación del suelo circudante al antiguo vertedero a cielo abierto del cantón Portoviejo, provincia de Manabí. Obtenido de https://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/14363/1/T-ESPE-057866.pdf

INIAP. (2022). Obtenido de El análisis químico de suelos una herramienta para diseñar recomendaciones de fertilización y enmiendas en los cultivos: https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4776

Insua, C. (2019). Usos de suelo en el aprovechameinto de sus recursos naturales en la microcuenca del río Carrizal. Obtenido de https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/222/1/TMA71.pdf

Intriago, D., Rosado, V., & Arteaga, B. (2024). Influencia del humus de lombriz en la calidad de los suelos agrícolas: un estudio de caso. Didáctica y Educación, 388-404. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo ?codigo =9692644

Juan, G. (2019). Determinación de la capacidad de intercambio catiónico por el método del formaldehído. Obtenido de https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4116/guerrero-lazaro-juan-miguel.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LLuvichuzca, B. (2021). Efecto de quelatos en macro y micro nutrientes. Obtenido de https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/URGILES%20LLIVICHUZCA%20BYRON%20SAUL.pdf

Loor, R. (2018). El cultivo de plátano (Mussa balbisiana) y la calidad ambiental del suelo, caso hacienda San Rafael. Obtenido de https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/282/1/TMA83.pdf

López, G. (2022). Diagnóstico de la fertilidad del suelo en el área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM- MFL. Obtenido de https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/270/1/TA54.pdf

Marcillo, A., & Solórzano, M. (2024). Efecto del biochar a base de cáscara de cacao en la restauración de suelos erosionados en la zona rural, parroquia Calceta. Obtenido de https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2441

Mendoza, L., Vera, V., Giler, J., & Simbaña, K. (2022). Características fisicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal. Caso: San Pablo de Tarugo, Chone–Ecuador. Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales, 16. Obtenido de https://revistas.ug.edu.ec/index.php/cna/article/view/1492

Mendoza, R. (2020). Guía muestreo de suelos. Obtenido de https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf

Moreno, F. (2019). Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. Revista Científica Ecuatoriana, 2(1), 34.

Nuñez, A. (2023). Valoración del servicio ecosistémico carbono orgánico total almacenado en el suelo del área de protección hídrica Quinllunga, provincia de Bolívar. Obtenido de http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/21605

Palma, I. (2022). Poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción del cultivo de soya en la zona de Los Ríos. Obtenido de http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11357

Pineda, O. (2021). Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago. Obtenido de https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-Tesis-Pineda%20Pastrana%2C%20Oliva-Maestra%20en%20Geom%C3%A1tica.pdf

Pinos, D. (2022). Calidad del suelo a partir de indicadores físicos-químicos a tres usos de suelo para la generación de propuestas de gestión por impactos en el suelo por acciones antrópicas en el bosque y vegetación portectores de

Sunsun-Yanasacha. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21860/1/UPS-CT009562.pdf

Quimagro. (2022). La importancia de realizar un análisis de suelo. Obtenido de https://www.quimagro.com.mx/blog/al-servicio-de-la-agricultura-1/la-importancia-de-realizar-un-analisis-de-suelo-11

Robles, M. (2020). Calidad de sielo mediante indicadores del centro de investigación y protección. Obtenido de https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/97791306-7dd1-480a-bffb-69fbf3a407d1/content

Rojo, V., & Martínez, M. (2020). Los ciclos de los nutrientes. Obtenido de https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/1360/Agro_DIGITAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=95

Santillan, G. (2020). Calidad del suelo mediante indicadores físicos, químicos y biológicos en suelos bajo páramo, pasto y cultivo, parroquia Achupallas provincia de Chimborazo. Obtenido de https://www.google.com/search?q=tesis+de+suelos&rlz=1C5CHFA_enEC1081EC1081&oq=tesis+de+suelos&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyCwgAEEUYExg5GIAEMgkIARAAGBMYgAQyCggCEAAYExgWGB4yCggDEAAYExgWGB4yCggEEAAYExgWGB4yCggFEAAYExgWGB4yCggGEAAYExgWGB4yCggHEAAYExgWGB4yCggIEAAYExgWG

Schweizer, S. (2019). Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Obtenido de https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf

Tamami, E. (2023). Caractertización físico-química del suelo en sistema de labranza de conservación para el cultivo de maíz suave (Zea mays L.).

Tenemasa, A. (2023). Caracterización de macro y micro nutrientes en tres estratos de suelos agrícolas, en Pusorrumi, cantón Alausí, provincia de Chimborazo.

Uvidia, K. (2023). Fragmentos urbanos de bosque montano alto y potenciales efectos del cambio de cobertura de la tierra en la reserva de carbono orgánico del suelo en un escenario de transición urbana: caso suroccidente de Quito. Obtenido de https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/9295

Zhunahula, W. (2021). Evaluación química y biológica de la fertilidad actual de un suelo, desarrollado sobre Andesita en el sistema de riego la era, cantón

Catamayo. Obtenido de https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10313/1/tesis%20Wilmer%20Geovanny%20Zhunaula%20Angamarca.pdf

Zilio, J. (2018). Aspectos de calidad de suelos representativos del sur de la provincia de Buenos Aires y efectos de la actividad agropecuaria sobre la misma. Obtenido de https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/2417/Tesis%20Final%20JOSEFINA%20ZILIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1 Ubicación del experimento



Lugar del ensayo



Anexo 2 Resultados de análisis

MC-LASPA-2201-01

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

INFORME DE ENSAYO No: 24-0242

NOMBRE DEL CLIENTE: BAYAS CHICAIZA BRAYAN JOEL
PETICIONARIO: BAYAS CHICAIZA BRAYAN JOEL
EMPRESA/INSTITUCIÓN: BAYAS CHICAIZA BRAYAN JOEL
DIRECCIÓN: Guaranda / Bolívar

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 17/07/2024
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 15:25
FECHA DE ANÁLISIS: 23/07/2024
FECHA DE EMISIÓN: 05/08/2024
ANALISIS SOLICITADO: S4

Análisis	pH		N		P		S		B		K		Ca		Mg		Zn		Cu		Fe		Mn		Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO		CO.*	Textura (%)				IDENTIFICACIÓN
Unidad			ppm		ppm		ppm		ppm		meq/100g		meq/100g		meq/100g		ppm		ppm		ppm		ppm					meq/100g	%		%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	
24-0916	6,36	L Ac	43,11	M	15,24	M	2,16	B	0,29	B	0,30	M	18,49	A	4,12	A	3,2	M	16,9	A	168	A	64,4	A	4,49	13,80	75,73	22,91	2,95	A		39	22	39	FRANCO-ARCILLOSO	T1 M1 Naguan Alto
24-0917	6,42	L Ac	58,38	M	16,69	M	4,82	B	0,24	B	0,44	A	20,88	A	3,95	A	3,3	M	18,6	A	202	A	28,3	A	5,29	8,96	56,35	25,27	3,27	A		37	22	41	ARCILLOSO	T1 M2 Naguan Alto
24-0918	6,52	P N	32,19	M	24,86	A	5,02	B	0,36	B	0,62	A	21,85	A	3,91	A	4,5	M	15,2	A	143	A	54,4	A	5,58	6,26	41,23	26,39	3,09	A		43	18	39	FRANCO-ARCILLOSO	T2 M1 Naguan Medio
24-0919	6,99	P N	44,77	M	46,39	A	3,30	B	0,44	B	0,42	A	25,03	A	3,91	A	5,1	M	17,6	A	100	A	32,3	A	6,41	9,23	68,38	29,36	3,04	A		41	26	33	FRANCO-ARCILLOSO	T2 M2 Naguan Medio
24-0920	6,77	P N	37,34	M	22,97	A	4,98	B	0,25	B	0,79	A	19,04	A	3,52	A	3,4	M	21,3	A	194	A	23,8	A	5,41	4,47	28,64	23,35	3,01	A		43	18	39	FRANCO-ARCILLOSO	T3 M1 Naguan Bajo
24-0921	6,55	P N	55,52	M	17,11	M	4,46	B	0,27	B	0,20	M	16,12	A	4,05	A	3,7	M	20,5	A	187	A	19,7	A	3,98	19,91	99,22	20,37	2,48	A		39	20	41	ARCILLOSO	T3 M2 Naguan Bajo
24-0922	6,92	P N	35,93	M	9,98	B	1,90	B	1,11	M	0,97	A	17,22	A	5,15	A	2,4	B	15,2	A	168	A	32,7	A	3,34	5,33	23,15	23,33	3,16	A		47	20	33	FRANCO ARCILLO-ARENOSO	T4 M1 Curgua Alto
24-0923	6,87	P N	69,92	A	20,12	A	2,15	B	1,44	M	0,69	A	16,26	A	7,33	A	4,8	M	15,0	A	247	A	67,7	A	2,22	10,65	34,30	24,28	3,34	A		41	26	33	FRANCO-ARCILLOSO	T4 M2 Curgua Alto
24-0924	7,14	P N	87,78	A	48,28	A	1,28	B	1,20	M	0,70	A	18,82	A	4,93	A	3,6	M	20,9	A	275	A	34,0	A	3,82	7,03	33,84	24,45	2,71	A		47	26	27	FRANCO ARCILLO-ARENOSO	T5 M1 Curgua Medio
24-0925	6,92	P N	95,44	A	50,16	A	5,28	B	1,27	M	0,81	A	15,67	A	4,37	A	5,9	M	16,8	A	303	A	34,8	A	3,58	5,39	24,70	20,85	3,61	A		41	30	29	FRANCO-ARCILLOSO	T5 M2 Curgua Medio
24-0926	6,98	P N	100,12	A	67,40	A	3,35	B	1,38	M	0,90	A	14,58	A	4,69	A	5,4	M	16,4	A	224	A	35,4	A	3,11	5,19	21,30	20,17	3,41	A		39	30	31	FRANCO-ARCILLOSO	T6 M1 Curgua Bajo
24-0927	7,25	P N	78,88	A	183,01	A	5,31	B	1,46	M	1,30	A	26,20	A	13,75	A	11,6	A	14,7	A	163	A	27,1	A	1,90	10,58	30,74	41,25	5,05	A		39	26	35	FRANCO-ARCILLOSO	T6 M2 Curgua Bajo

Análisis	Al+H*	Al*	Na*	C.E. *	N. Total*	N-NO3*	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	HG	IDENTIFICACION
	ppm	ppm	meq/ 100g		%	ppm	meq/ 100g	ppm	ppm		%	
24-0916											18,74	T1 M1 Naguan Alto
24-0917											26,57	T1 M2 Naguan Alto
24-0918											17,66	T2 M1 Naguan Medio
24-0919											21,20	T2 M2 Naguan Medio
24-0920											33,94	T3 M1 Naguan Bajo
24-0921											22,83	T3 M2 Naguan Bajo
24-0922											30,14	T4 M1 Curgua Alto
24-0923											28,67	T4 M2 Curgua Alto
24-0924											25,09	T5 M1 Curgua Medio
24-0925											25,25	T5 M2 Curgua Medio
24-0926											23,38	T6 M1 Curgua Bajo
24-0927											33,09	T6 M2 Curgua Bajo

OBSERVACIONES:

*** Ensayos no solicitados por el cliente**

METODOLOGIA USADA				
pH =	Suelo: Agua (1:2,5)	P K Ca Mg =		Olsen Modificado
S,B =	Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn =		Olsen Modificado
		B =		Curcumina

INTERPRETACION					
pH				Elemento	
Ac =	Acido	N =	Neutro	B =	Bajo
LAc =	Liger. Acido	LAl =	Lige. Alcalino	M =	Medio
PN =	Prac. Neutro	Al =	Alcalino	A =	Alto
RC =	Requieren Cal			T =	Tóxico (Boro)

ABREVIATURAS	
C.E =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasion
Al+H =	Titulación NaOH

INTERPRETACION							
Al+H,Al y Na		C.E.				M.O y Cl	
B =	Bajo	NS =	No Salino	S =	Salino	B =	Bajo
M =	Medio	LS =	Lig. Salino	MS =	Muy Salino	M. =	Medio
T =	Tóxico					A =	Alto

Firmado electrónicamente por:
JOSE ALONSO LUCERO MALATAY

LABORATORISTA

Firmado electrónicamente por:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electronico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la informacion.

* Opiniones de interpretación ,etc,que se indican en este informe constituye una guía para el cliente.

Anexo 3 Base de datos

Tratamiento	Repetición	Clase textura	Humedad	pH	MO	N	P	K	S	B	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Flujo	Resistencia a la penetracion
1	1	2	18.74	6.36	2.95	43.11	15.24	0.30	2.16	0.29	18.49	4.12	3.2	16.9	168	64.4	0.9	1.2
1	2	1	26.57	6.42	3.27	58.38	16.69	0.44	4.82	0.24	20.88	3.95	3.3	18.6	202	28.3	0.25	1.1
2	1	2	17.66	6.52	3.09	32.19	24.86	0.62	5.02	0.36	21.85	3.91	4.5	15.2	143	54.4	0.16	1.7
2	2	2	21.20	6.99	3.04	44.77	46.39	0.42	3.30	0.44	25.03	3.91	5.1	17.6	100	32.3	0.04	2.4
3	1	2	33.94	6.77	3.01	37.34	22.97	0.79	4.98	0.25	19.04	3.52	3.4	21.3	194	23.8	0.15	1.8
3	2	1	22.83	6.55	2.48	55.52	17.11	0.20	4.46	0.27	16.12	4.05	3.7	20.5	187	19.7	0.12	1.7
4	1	3	30.14	6.92	3.16	35.93	9.98	0.97	1.90	1.11	17.22	5.15	2.4	15.2	168	32.7	0.08	1
4	2	2	28.67	6.87	3.34	69.92	20.12	0.69	2.15	1.44	16.26	7.33	4.8	15.0	247	67.7	0.09	1.1
5	1	3	25.09	7.14	2.71	87.78	48.28	0.70	1.28	1.20	18.82	4.93	3.6	20.9	275	34.0	0.12	1.7
5	2	2	25.25	6.92	3.61	95.44	50.16	0.81	5.28	1.27	15.67	4.37	5.9	16.8	303	34.8	0.12	1.5
6	1	2	23.38	6.98	3.41	100.12	67.40	0.90	3.35	1.38	14.58	4.69	5.4	16.4	224	35.4	0.11	1.1
6	2	2	33.09	7.25	5.05	78.88	183.01	1.30	5.31	1.46	26.20	13.75	11.6	14.7	163	27.1	0.1	1

Anexo 4 Manejo de ensayo



Limpieza en el área de muestreo



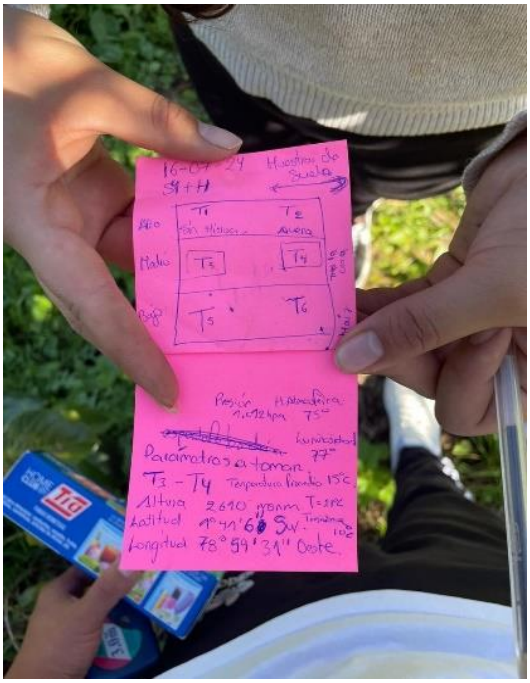
Toma la muestra



Elaboración de calicata de 20 cm



Homogenización de las muestras de suelo



Mapa de campo



Etiquetado de la muestra





Visita de tribunal

Anexo 5 Glosario de términos técnicos

Agregados estables: Son unidades del suelo que mantienen su estructura ante fuerzas externas como la lluvia o el riego.

Alcalinidad: Es una medida de la capacidad del suelo para neutralizar ácidos, influenciada por carbonatos y bicarbonatos.

Capacidad Buffer: Es su habilidad para resistir cambios en el pH frente a la adición de ácidos o bases.

Capacidad de intercambio Catiónico (CIC): Capacidad del suelo para retener y suministrar cationes nutrientes a las plantas. Indica la fertilidad potencial del suelo.

Capacidad de intercambio catiónico: Se refiere a la capacidad del suelo para retener y liberar cationes (nutrientes cargados positivamente) como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^{+}) y amonio (NH_4^{+}). Un suelo con alta CIC puede retener más nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos, lo que mejora su fertilidad y capacidad agrícola.

Capilaridad: Es el movimiento ascendente del agua en el suelo a través de poros pequeños.

Compactación: Es la reducción de poros en el suelo debido a la presión mecánica.

Conductividad eléctrica (CE): Medida de la capacidad del suelo para conducir electricidad, relacionada con la concentración de sales solubles en el suelo.

Densidad aparente: Masa del suelo por unidad de volumen, incluyendo los espacios porosos. Indicador de compactación del suelo.

Drenaje interno: Describe la capacidad del suelo para evacuar el exceso de agua.

Erosión hídrica: Es el proceso de pérdida de suelo fértil debido al arrastre por el agua de lluvia o riego. Es más frecuente en áreas con pendiente pronunciada y suelos poco compactados.

Estructura del suelo: Describe cómo las partículas del suelo (arena, limo y arcilla) se agrupan en agregados. Una buena estructura del suelo, como la observada en zonas con baja resistencia a la penetración, facilita el crecimiento radicular y mejora la disponibilidad de nutrientes y agua para las plantas.

Estructura del suelo: Organización de las partículas del suelo en agregados. Afecta la aireación, la penetración de raíces y la infiltración de agua.

Fertilidad base: se refiere a la cantidad mínima de nutrientes disponibles en el suelo para soportar el crecimiento vegetal.

Humificación: Es el proceso de formación de humus a partir de materia orgánica descompuesta.

Indicadores de calidad del suelo: Parámetros específicos medidos para evaluar la salud y funcionalidad del suelo, como el contenido de materia orgánica, la CIC, el pH, entre otros

Lixiviación: Es el proceso mediante el cual los nutrientes disueltos en el agua son arrastrados a capas profundas del suelo, fuera del alcance de las raíces de las plantas.

Macronutrientes: Nutrientes requeridos en grandes cantidades por las plantas, como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

Macroporosidad: Se refiere a la proporción de poros grandes en el suelo que facilitan el movimiento de aire y agua.

Materia orgánica: Componentes orgánicos del suelo, incluyendo residuos de plantas y animales en descomposición. Importante para la fertilidad del suelo.

Micronutrientes: Nutrientes requeridos en menores cantidades, pero esenciales para el crecimiento de las plantas, como hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), y cobre (Cu).

Permeabilidad: Mide la facilidad con la que el agua y el aire se mueven a través del suelo.

pH del suelo: Medida de la acidez o alcalinidad del suelo. Influye en la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica del suelo.

Porosidad: Proporción de espacios porosos en el suelo, fundamental para la retención y movimiento del agua y el aire.

Punto de marchitez permanente: Es la humedad mínima del suelo a la cual las plantas ya no pueden extraer suficiente agua para mantener sus funciones fisiológicas, lo que resulta en marchitez irreversible.

Punto de saturación: Es el estado en el que todos los poros del suelo están llenos de agua, impidiendo la entrada de aire.

Retención hídrica: Es la capacidad del suelo para almacenar agua disponible para las plantas.

Saturación de bases: Bases que mide el porcentaje de sitios de intercambio catiónico ocupados por cationes básicos (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}) en comparación con cationes ácidos como el aluminio (Al^{3+}) o el hidrógeno (H^{+}).

Saturación de oxígeno: Es clave para la respiración radicular y la actividad microbiana.

Textura del suelo: Proporción relativa de arena, limo y arcilla en el suelo. Influye en la retención de agua, aireación, facilidad de trabajo y capacidad del suelo para soportar cultivos.