

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACION



DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS FÍSICOS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS
DE SUELOS, BAJO EL USO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS AGROECOLÓGICOS
EN LA FINCA ECOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
AGRICULTURA

PROYECTO DE TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de
INGENIERO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

POR:

ORLIN MANUEL RODAS BLANDIN

CATACAMAS, OLANCHO, NOVIEMBRE, 2023

DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS FÍSICOS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS
DE SUELOS, BAJO EL USO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS AGROECOLÓGICOS
EN LA FINCA ECOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
AGRICULTURA

POR:

ORLIN MANUEL RODAS BLANDIN

EMILIO JAVIER FUENTES ZUNIGA, MSc.

Director Principal

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de
INGENIERO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

NOVIEMBRE, 2023

DEDICATORIA

PRIMERAMENTE, A DIOS TODO PODEROSO

Por haberme permitido la oportunidad de vivir es buena experiencia muy buena y de mucho aprendizaje, gozar de buena salud en todo en todo momento y por estar cada vez más cerca de cumplir una de mis mestas más anheladas

A MI MADRE

IRIS YOLANDA BLANDIN CRUZ

Por su apoyo incondicional en todo momento tanto moral como económico, por sus consejos que siempre me han ayudado a mejorar personalmente y por ser mi gran ejemplo a seguir ya que me enseñó a nunca rendirme y enfrentar cualquier obstáculo que se presente, y más que todo por su amor infinito que siempre me brinda.

A MIS ABUELOS

MARIA GRACIELA CRUZ Y JUAN NERY BLANDIN

Quiero expresar mi eterno agradecimiento a mis abuelos por todo lo que han hecho por mí quienes siempre ha estado a mi lado.

A MI HERMANO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi hermano por su apoyo incondicional, su colaboración y porque siempre ha estado conmigo desde que ambos tenemos conciencia.

Agradecimientos

Primeramente, a **Dios** que siempre está a mi lado y me guía para cumplir mis metas.

A mi madre **IRIS YOLANDA BLANDIN** por su apoyo incondicional y su eterno amor.

A mi hermano **STEVEN RODAS** quien ha sido mi compañero de por vida.

A mis abuelos **Graciela Cruz y Nery Blandin**, a toda mi **FAMILIA** por su apoyo y comprensión en todo momento.

A mi alma mater **UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA** por darme la oportunidad de culminar mis estudios universitarios.

Muy agradecido especialmente con mis asesores de tesis MSc. **Carlos Irías**, MSc. **Emilio Fuentes** y MSc. **Josué Matute** por su respaldo y dirección para llevar a cabo el trabajo de tesis, a la dedicación durante todo el todo el trabajo tanto en campo como en la redacción de este documento y sobre todo por su valiosa amistad.

A mis amigos, compañeros y hermanos **Anabela Maldonado, Deisy Estrada, Luis Zelaya, Nipzon Portillo, Osman Nolasco, Edwin Sánchez**, y a todos mis compañeros en general por su amistad desde que entramos a la universidad.

CONTENIDO

CONTENIDO	5
I. INTRODUCCIÓN	16
II. OBJETIVOS.....	17
2.1. Objetivos Generales	17
2.2. Objetivos Específicos	17
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	18
3.1. Fincas Agroecológicas	18
3.1.1. Sistemas Agroecológicos.....	19
3.2. El suelo	20
3.3. Análisis de los parámetros del suelo.....	20
3.4. Clasificación del suelo	21
3.5. Parámetros físicos del suelo.....	22
3.5.1. Textura.....	23
3.5.1.1. Método para determinar la textura del suelo	24
3.5.2. Estructura.....	24
3.5.3. Color	25
3.5.3.1. Método para determinar el color del suelo.....	26
3.5.4. Densidad aparente (Da)	26
3.5.5. Densidad real (Dr)	27
3.5.6. Porosidad	28

3.5.7.	Estabilidad de los Agregados (EA)	29
3.6.	Parámetros químicos del suelo	31
3.6.1.	El pH del suelo	32
3.6.1.1.	. Método para determinar el pH del suelo	33
3.6.2.	Materia Orgánica del Suelo (MOS).....	33
3.6.2.1.	Método para determinar la materia orgánica del suelo	35
3.6.3.	Nitrógeno (N)	35
3.6.4.	Fosforo (P).....	36
3.6.5.	Potasio (K).....	37
3.6.6.	Calcio (Ca).....	37
3.6.7.	Magnesio (Mg)	38
3.6.12.	Capacidad de intercambio catiónico.....	42
3.6.13.	Metodología para determinar parámetros químicos	42
3.7.	Biología de los suelos	43
3.7.1.	Macrofauna del suelo.....	44
3.7.1.1.	Método para determinar la macrobiología del suelo	45
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
4.1.	Descripción del sitio de estudio	46
4.2.	Materiales y Equipos	47
4.2.1.	Materiales de campo.....	48
4.2.2.	Materiales de Laboratorio y equipo de laboratorio.	48
4.2.3.	Reactivos utilizados en el laboratorio.....	48
4.3.	Diseño Experimental.....	49
4.4.	Etapas de la investigación.....	50
4.4.1.	Etapa # 1 Recorrido por el área de estudio	50

4.4.2.	Etapa # 2 Toma de muestras de suelo.....	50
4.4.3.	Etapa # 3 Preparación de las muestras y análisis en laboratorio	51
4.4.4.	Etapa # 4 Análisis e interpretación de los resultados	51
4.5.	Variables físicas del suelo y métodos de investigación	52
4.5.1.	Determinación de la textura del suelo	52
4.5.2.	Determinación de la estructura del suelo.....	53
4.5.3.	Determinación del color del suelo	53
4.5.4.	Determinación de la densidad aparente (Da) del suelo	54
4.5.5.	Determinación de la densidad real (Dr) del suelo	55
4.5.6.	Determinación de la porosidad del suelo.....	56
4.6.	Variables químicas del suelo y métodos de investigación.....	57
4.6.1.	Determinación de la reacción pH del suelo	57
4.6.2.	Determinación de la materia orgánica del suelo (MOS)	58
4.6.3.	Determinación del nitrógeno del suelo	58
4.6.4.	Determinación del fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn).	59
4.6.5.	Determinación de la capacidad de intercambio catiónico del suelo	59
4.7.	Variables biológicas del suelo y métodos de investigación.....	60
4.7.1.	Determinación de la macrofauna del suelo.....	60
4.8.	Análisis estadístico	60
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		61
5.1.	Parámetros físicos	61
5.1.1.	Porcentajes texturales	62
5.1.2.	Estructura.....	63
5.1.3.	Color	65

5.1.4.	Densidad Aparente (Da)	67
5.1.5.	Densidad Real.....	68
5.1.6.	Porosidad	69
5.1.7.	Estabilidad de los Agregados	70
5.2.	Parámetros Químicos	72
5.2.1.	pH del suelo	73
5.2.2.	Materia Orgánica (MOS).....	74
5.2.3.	Nitrógeno (N)	76
5.2.4.	Fosforo (P).....	78
5.2.5.	Potasio (K).....	80
5.2.6.	Calcio (Ca).....	81
5.2.7.	Magnesio (Mg)	82
5.2.8.	Zinc (Zn).....	84
5.2.9.	Manganeso (Mn)	85
5.2.10.	Cobre (Cu)	86
5.2.11.	Hierro (Fe)	88
5.3.	Correlaciones de los parámetros de suelos	90
5.4.	Análisis de componentes principales.	95
5.5.	Análisis de calicatas.....	96
5.5.1.	Calicata A	96
5.5.2.	Calicata B	97
5.6.	Análisis Biológico.....	98
5.6.1.	Macrofauna de suelo.....	98
VI.	CONCLUSIONES.....	100
VII.	RECOMENDACIONES.....	102

VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	103
IX.	ANEXOS	118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de suelos y texturas de acuerdo a la clasificación	23
Tabla 2. Clasificación de la porosidad del suelo	29
Tabla 3. Clasificación de la estabilidad de agregados del suelo.....	30
Tabla 4. Niveles de pH	32
Tabla 5. Niveles de contenido de materia orgánica (M.O).....	34
Tabla 6. Resultados de los parámetros físicos del suelo en todos los sistemas agroecológicos y convencional.....	61
Tabla 7 Estructuras y diámetros que se presentan en los suelos de los sistemas de la finca agroecológica y el área de agricultura convencional de la UNAG.....	64
Tabla 8 Colores que presentan los suelos de los sistemas agroecológicos de la finca y el área de agricultura convencional, en estado húmedo y seco.....	66
Tabla 9 Resultados de los parámetros químicos de suelo en todos los sistemas agroecológicos y convencional.....	72
Tabla 10 Riqueza y abundancia de especies presentes en cada uno de los sistemas.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de los sistemas de la finca agroecológica de la Universidad Nacional de Agricultura	46
Figura 2. Triángulo de la textural según la USDA.....	53
Figura 3. Tabla Munsell para determinar el color del suelo.....	54
Figura 4 Porcentajes de arena, limo y arcilla de los suelos en los diferentes sistemas de producción en la finca agroecológica de la UNAG Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).	62
Figura 5. Niveles de densidad aparente en el suelo que se presentan en los sistemas agroecológicos de la finca. Las barras que presentan misma letra son estadísticamente iguales según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).	67
Figura 6 Niveles de densidad real en el suelo que se presentan en los sistemas agroecológicos de la finca. Las barras que presentan misma letra son estadísticamente iguales según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).	69
Figura 7 Porcentajes de porosidad de suelos que se presentan en los sistemas de la finca. Las barras que presentan misma letra son estadísticamente iguales según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).	69
Figura 8 Porcentajes de la estabilidad de los agregados del suelo que se presentan en los sistemas de la finca, los niveles se clasifican según la tabla 3 de EAS.	71
Figura 9 Niveles de pH en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan diferentes letras no son iguales estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).	73
Figura 10 Niveles de Materia Orgánica en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).	75
Figura 11 Nitrógeno total del suelo en los diferentes sistemas estudiados, obedeciendo al método que el 5% de la materia orgánica es nitrógeno. Las barras que presentan desigualdad de letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).	77

Figura 12. Niveles de fósforo en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).	79
Figura 13 Niveles de Potasio que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=2$).	80
Figura 14 Niveles de Calcio en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).	82
Figura 15 Niveles de Magnesio en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).	83
Figura 16 Niveles de Zinc en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).	84
Figura 17 Niveles de Manganeso en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=2$).	85
Figura 18 Niveles de Cobre en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=2$).	87
Figura 19. Niveles de Hierro en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=2$).	89
Figura 20. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=2$).	90
Figura 21. Gráfico de correlación entre Densidad aparente y porosidad.	90
Figura 22. Gráfico de correlación entre Arcilla y Magnesio.	91
Figura 23. Grafica de correlación entre P mg/kg y pH.	92
Figura 24. Grafica de correlación entre M.O % Y P mg/kg.	92

Figura 25. Grafica de correlación entre materia orgánica y cobre	93
Figura 26. Grafica de correlación entre Calcio y Magnesio.....	94
Figura 27. Análisis de los componentes principales de los agroecosistemas y los parámetros en estudio.....	95
Figura 28. Análisis de calicata ubicada en el sistema de cacao.....	97
Figura 29. Análisis de calicata ubicada en el sistema inga.....	98

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1	Reconocimiento y clasificación de los sistemas con su respectivo uso de suelo.	118
Anexo 2	Extracción de las muestras con el barreno y el cilindro	118
Anexo 3	Secado de muestras en el Laboratorio de Suelos Agrícolas de la UNAG.	120
Anexo 4	Limpieza, tamizado y almacenamiento de las muestras.	120
Anexo 5	Determinación de los parámetros físicos del suelo: a) Textura, b) Densidad aparente, c) color, D) Estabilidad de los agregados e) Estructura.	121
Anexo 6	Determinación de a) pH, b) M.O, c) P.....	123
Anexo 7	Extracción de muestras con la solución Mehlich III par análisis de los elementos químicos del suelo.	124
Anexo 8.	Análisis químicos con el Espectrofotómetro de absorción atómica.	125
Anexo 9	Calicatas de 100 m ³ en la finca agroecológica de la UNAG.	125

Rodas Blandin. O. M. 2023. Determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos de suelos, bajo el uso de los diferentes sistemas agroecológicos en la finca ecológica de la Universidad Nacional de Agricultura. Tesis Ing. GIRN. Catacamas Olancho, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura.

Resumen

Este estudio fue realizado en la Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho. Este trabajo se llevó a cabo con el objetivo de comparar los niveles de elementos químicos, físicos y biológicos de los suelos en cada una de los sistemas agroecológicos y el sistema convencional, para observar cuáles son los sistemas que presentan mejores condiciones de salud de suelos. Etapa I recorrido con el encargado de la finca agroecológica para conocer y clasificar los sistemas con su respectivo uso de suelo. Etapa II recolecta de submuestras (mínimo 12 por cada muestra) para formar 3 muestras compuestas por cada sistema agroecológico y convencional. Etapa III preparación de las muestras (Tamizado) y análisis en el laboratorio de análisis de suelos agrícolas PhD. Elio Duron Andino. UNAG. Etapa IV análisis e interpretación de los resultados obtenidos de cada una de las metodologías aplicadas. En los resultados cabe destacar que estos suelos son altos en contenidos de arena con un promedio que ronda entre 50% a 59% aproximadamente, por otra parte, estos suelos presentan una densidad aparente ideal de 1 a 1.5 lo cual indica que es un suelo poco compactado, asimismo la estabilidad de los agregados resultó moderadamente estable en la mayoría de los agroecosistemas, la gran mayoría de agroecosistemas en estudio presentaron un pH mayor de 7.3 lo cual se representan como suelos moderadamente alcalinos, al igual que un nivel de materia orgánica (M.O) y nitrógeno (N) bajo en todos los suelos, por otra parte, se encontró que la concentración de los elementos químicos como K, Mg, Zn, Cu, Fe, es elevada en la mayoría de los sistemas estudiados ya que sobrepasando los niveles normales que debería tener por lo cual están disponibles en grandes cantidades para las plantas. Por otro lado, las hormigas, las termitas y las lombrices de tierra son los macroorganismos que más predominaron en todos estos sistemas.

Palabras Clave: Análisis, parámetros, Submuestras, Muestras, Sistemas Agroecológicos, Sistema Convencional, Catacamas, usos.

I. INTRODUCCIÓN

La determinación de los análisis de suelos es un conjunto de procedimientos y métodos muy importantes para definir las características físicas, químicas y biológicas que presentan los suelos con el fin de lograr el correcto desarrollo de los cultivos orgánicos de los sistemas agroecológicos. La buena fertilidad de los suelos con prácticas agroecológicas es un factor muy importante para la sostenibilidad y obtener productos sanos igualmente nutritivos, de ahí la gran importancia de manejar y mejorar los suelos con criterios de conservación y sostenibilidad. Owen (1995) menciona que el reconocimiento del estado físico, químico y biológico de los suelos es sumamente importante para entender las reacciones que se están realizando y cómo esto influye en la deficiencia o exceso de los nutrientes y, por ende, en la producción, en la escogencia de los correctos biofertilizantes.

Debido a ello, es importante definir los parámetros y condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos ya que permite reconocer la situación en que se encuentran, la disponibilidad de nutrientes y la situación ideal en la que debería permanecer para su conservación y uso adecuado, garantizando así el uso de manera sustentable. Los principales parámetros físicos y químicos que se deben reconocer en el suelo para su uso sostenible son; la textura, estructura, color, densidad aparente, densidad real, porosidad, el pH, materia orgánica (M.O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Calderón *et al.* 2018).

Este trabajo se realizó en la finca agroecológica de la Universidad Nacional De Agricultura, el objetivo es conocer las propiedades físicas, químicas y las comunidades biológicas de los diferentes sistemas de producción agroecológicos, se tomaron las muestras y se analizaron en el laboratorio de suelos agrícolas de la UNAG, para determinar la influencia que tiene los diferentes usos en las propiedades bajo estudio.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Generales

- Determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos de los suelos con diferentes sistemas agroecológicos de la finca ecológica de la Universidad Nacional De Agricultura.

2.2. Objetivos Específicos

- Analizar las propiedades físicas: textura, estructura, color, densidad aparente, densidad real, porosidad y estabilidad de agregados de los suelos en estudio.
- Analizar las propiedades químicas: el pH, M.O, nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) Hierro (Fe) y la capacidad de intercambio catiónico de suelos de los suelos en estudio.
- Determinar las comunidades de macro organismos presentes en los suelos bajo estudio de cada uno de los sistemas agroecológicos.
- Determinar la calidad del suelo según el uso agroecológico que le dan, concordando con las características físicas, químicas y biológicas que demuestran cada uno de los sistemas.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Fincas Agroecológicas

Una finca agroecológica sostenible es un área biodiversificada de cultivos como árboles frutales, arboles maderables, hortalizas y producción pecuaria. Donde no se requiere el uso de fertilizantes químicos si se da un manejo adecuado a los desechos orgánicos, con los estiércoles de especies menores y desechos de materia vegetal que proporcionan los abonos necesarios que serán aplicados en el mismo suelo donde se producen, los insectos y las malezas se manejan para que se conviertan en aliados y no en enemigos, para eso se usa el manejo integrado de plagas y enfermedades complementado con insumos orgánicos y la cual es de mucha ayuda para la conservación y manejo de suelos (Sandoval 2016).

La agroecología ofrece un modelo centrado en la regeneración y conservación de los recursos naturales, en la diversidad biológica, en la reutilización de nutrientes, y en una relación sinérgica entre los cultivos, los suelos y otros componentes biológicos a la vez que puede incrementar y mantener la fertilidad del suelo, siendo este uno de los pilares fundamentales para que la agricultura constituya una actividad sostenible y el suelo se mantenga como un recurso renovable (IICA 2021).

Como afirma INCA (2015) la idea principal de la agroecología es ir más allá de las prácticas agrícolas alternativas y desarrollar agroecosistemas con una mínima dependencia de agroquímicos e insumos de energía, por lo tanto la agroecología es una ciencia y un conjunto de prácticas. Como ciencia se basa en la aplicación de la ciencia ecológica al estudio, diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles.

Esto conlleva la diversificación agrícola intencionalmente encaminada a promover interacciones biológicas y sinergias benéficas entre los componentes del agroecosistema, de tal manera que permitan la regeneración de la fertilidad del suelo, el mantenimiento de la productividad y la protección de los cultivos.

3.1.1. Sistemas Agroecológicos

Los sistemas de producción agroecológicos, son conservadores de recursos naturales, biodiversos, flexibles, eficientes en el uso de la energía, bajo principios que permitan aumentar el reciclaje de biomasa, con propósitos a optimizar la descomposición de materia orgánica y el ciclo de nutrientes a través del tiempo; proveer las condiciones de suelo más favorables para el crecimiento vegetal, debido estas características de los sistemas agroecológicos es posible develar elementos que permiten determinar el grado de desarrollo en el proceso de transición de una agricultura convencional a un sistema de producción agroecológico (Cevallos Suarez *et al.* 2019).

Según INCA (2015) los sistemas de producción fundados en principios agroecológicos son biodiversos, resilientes, eficientes energéticamente, socialmente justos y constituyen la base de una estrategia fuertemente vinculada a la soberanía y salud alimentaria de los individuos.

Los agroecosistemas o sistemas agrícolas establecidos por el ser humano, son por lo general menos diversos que los ecosistemas naturales que ellos reemplazan. Los agroecosistemas tienen numerosos determinantes como pueden ser la prevalencia de factores climáticos y edáficos, flora y fauna nativa, animales y plantas adaptadas, y los humanos con sus actividades sociales, económicas y culturales. Esos sistemas son menos diversos en número y clases de especies y por lo tanto tienen menos interacciones entre las poblaciones de especies que los conforman. Las poblaciones más extensas en cantidad son por lo general aquellas manipuladas por el mismo ser humano (Castmío 1992).

3.2. El suelo

El suelo es un cuerpo natural tridimensional superficial de la tierra y constituye el medio en el cual crecen las plantas, el cual es capaz de aportar los nutrientes fundamentales y necesario para el crecimiento de los vegetales y almacenar agua de lluvias cediéndola a las plantas a medida que la necesitan, el suelo tiene la función de extenderse tanto en superficie como en profundidad y consta de varias capas llamadas horizontes, aproximadamente paralelas a la superficie (Instituto Nacional de Investigación Agroecuaría (INIA) 2015).

El suelo juega un significativo papel en la sostenibilidad de los ecosistemas tanto naturales como agrarios en los que constituye un reservorio temporal en del ciclo del agua a la que filtra y depura en su recorrido hacia los acuíferos. Además, sirve de soporte a todos los seres vivos del ecosistema, vegetales y animales, a los que suministra el agua y los nutrientes que necesitan para el desarrollo completo de su ciclo vital (Espejo 2013).

Velasques (2003) afirma que el suelo se forma debido a la descomposición de la roca madre, por acción de los microorganismos del suelo, el clima, el tiempo la topografía y la vegetación, a su vez el suelo posee propiedades físicas, químicas y biológicas.

3.3. Análisis de los parámetros del suelo

El análisis de suelos es un instrumento de gran utilidad para diagnosticar problemas nutricionales y establecer recomendaciones de fertilización y entre sus mayores ventajas se destaca por ser un método rápido y de bajo costo, que le permite ser utilizado ampliamente por agricultores, en fincas agroecológicas y empresas (Fuentes Aguilar 1971).

Con el análisis del suelo se pueden analizar diferentes parámetros de suelo tanto físicos como la textura, estructura, color, densidad aparente, densidad real y porosidad, asimismo, parámetros químicos como el pH, Materia Orgánica, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Entre las propiedades del suelo, se encuentran algunas características que son esenciales para determinar la fertilidad, ya que influyen en la disponibilidad y aprovechamiento de los nutrientes (Atencia y Polo 2017). Muchos nutrientes se encuentran en forma soluble en los suelos y muchos de ellos se pierden por el lavado ocasionado por las lluvias y el riego (Borges *et al.* 2012).

3.4. Clasificación del suelo

La clasificación de suelos está basada en las diferentes propiedades que posee el suelo, definidas en términos de horizontes diagnóstico, propiedades y materiales, los cuales en la medida posible deben ser medibles y observables en campo (FAO 2009).

Pineda (2008) nos expresa que diferentes suelos con similares propiedades pueden ser clasificados en grupos y subgrupos de acuerdo a su función ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar de manera concisa las características generales del suelo, las cuales existen en variedad infinita, sin descripciones detalladas y pese a que varios sistemas de clasificación están actualmente en uso, ninguno es totalmente definitivo para cualquier tipo de suelo y para todas las aplicaciones posibles debido a la amplia diversidad de propiedades de los suelos.

3.5. Parámetros físicos del suelo

Los parámetros físicos de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. La buena calidad de los parámetros físicos del suelo determina un ambiente adecuado para el desarrollo de las raíces vegetales, además del ingreso y almacenamiento óptimo del agua necesaria para el crecimiento de las plantaciones agroecológicas, igualmente las determinaciones físicas pueden ser observaciones sencillas basadas en la experiencia de reconocedores de perfiles de suelo, o requerir instrumental de diverso grado de precisión (Rojas y Peña 2012).

Según (Buenaver Ortiz y Rodríguez Araujo 2016), las actividades humanas han provocado un deterioro de las características físicas de los suelos, debido a la necesidad de alimentos a gran escala y el bienestar para la sociedad, lo cual se ve reflejado en la extensión de áreas dedicadas a las actividades agrícolas productivas. Es por ello que estos parámetros se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Ravi *et al.* 2004).

3.5.1. Textura

La textura del suelo como la proporción (en porcentaje de peso) de las partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los horizontes del suelo debido a ello la textura del suelo, varía de unos horizontes a otros, siendo una característica propia de cada uno de ellos por lo que es tan importante el análisis de los diferentes horizontes del suelo uno a uno (Gisbert *et al.* 2008).

La textura del suelo es una propiedad de enorme importancia económica para el trabajo en el campo, ya que influye decisivamente en el comportamiento del suelo respecto a su capacidad de retención de agua y nutrientes, su permeabilidad (encharcamiento, riesgo de lixiviación de agua y nitrógeno, etc.), su capacidad para descomponer la materia orgánica y también en la forma en que se deben manejar aspectos tan importantes como el riego (Álvaro G.J 2019).

Tabla 1.Tipos de suelos y texturas de acuerdo a la clasificación

Tipos de suelos	Textura	Relación arena-limo–arcilla (%)
Livianos	Arenoso	90-5-5
	Arenoso franco	80-15-5
Medios	Franco Arenoso	65-25-10
	Franco	40-40-20
	Franco limoso	20-65-15
	Franco arcilloso arenoso	35-35-30
Pesados	Franco arcilloso	35-30-35
	Franco arcillo limoso	10-35-55
	Limoso	10-85-5
	Arcillo arenoso	55-5-40
	Arcillo limoso	5-50-45
	Arcilloso	10-20-60

Fuente: (Ciancaglini 2017).

3.5.1.1. Método para determinar la textura del suelo

Para cuantificar las fracciones texturales del suelo existen varios métodos, en general basados en la ley de Stocks. De estos uno de los más conocidos es el del hidrómetro de Bouyoucos y sus modificaciones, dicho método mide lo que es el contenido de arena, limo y arcilla (Barbeito y Bono 2006).

El método del hidrómetro de Bouyoucos es una de las formas más rápidas para analizar el tamaño de las partículas del suelo. La muestra de suelo disperso es mezclada en un cilindro de vidrio al tocón agua y una vez que se asienta, la densidad de la suspensión se puede medir con el densímetro. El tiempo que cada tamaño de partícula toma al caer, por debajo de un plano de conjunto imaginario en el cilindro puede ser medido, con las lecturas que son tomadas después de 40 segundos para medir la sedimentación de arena y después de dos horas para medir las partículas de limos (Conú 2014).

3.5.2. Estructura

En la estructura del suelo se describe la configuración física del suelo. Las partículas de arena en un suelo de arena se mantienen unidas débilmente y no forman agregados, mientras que las partículas de arcilla en un suelo de arcilla forman fácilmente agregados debido a estos agregados hacen fácil de labrar el suelo de arcilla y mejorar el transporte de aire y agua (Gisbert *et al.* 2008). Como señala (Ramón *et al.* 2010) la estructura del suelo es uno de los parámetros mas caracterizables, de cada uno de los horizontes del suelo, más importantes y reconocibles por parte del ojo humano, así mismo sus características dependen diferentes propiedades del suelo.

La estructura del suelo se refiere a la organización natural de las partículas del suelo en unidades de suelo discretas agregados o peds que resultan de procesos pedogenéticos. Los

agregados están separados entre sí mediante poros o vacíos. Es preferible describir la estructura del suelo cuando se encuentre en condición seca o ligeramente húmeda. La estructura del suelo se describe en términos de grado, tamaño y tipo de agregados. Cuando un horizonte contenga agregados de más de un grado, tamaño o tipo, los diferentes tipos de agregados se deben describir por separado e indicar sus relaciones (FAO 2009).

Según Meza Pérez y Geissert Kientz (2003) los suelos que ostentan de una buena forma y estructura favorecen el flujo de aire, de agua, de nutrientes a través de los espacios porosos, en la penetración y el desarrollo de las raíces brindando así una superior resistencia natural a los embates del uso agrícola intensivo y del impacto de la lluvia y del viento.

3.5.3. Color

El color que posee el suelo es una de las características más obvias del suelo y una de las que probablemente ha sido más usadas para describirlo, así como para reconocer y describir los diferentes grupos genéticos, de hecho, las primeras clasificaciones de los suelos, de hace cerca de 100 años, se basan principalmente en el color y en la vegetación, y aunque el color del suelo no tiene un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, pero indirectamente afecta la temperatura y la humedad; a través de su efecto sobre la energía radiante, mientras mayor cantidad de energía calorífica esté disponible en el suelo, se causarán mayores grados de evaporación (Domínguez Soto et al. 2011).

Desde el punto de vista de (Vargas-Rodriguez *et al.* 2020) el color del suelo refleja distintos procesos edafogenéticos, como son la melanización o la rubefacción, y propiedades como la composición mineral del suelo, la cual está estrechamente relacionada con el material parental asimismo los colores deben ser designados de acuerdo con el matiz, la luminosidad y el croma.

3.5.3.1. Método para determinar el color del suelo

La determinación del color del suelo, se realiza por la comparación de éste, con los diferentes patrones de color establecidos en las tablas Munsell, dichas tablas son un sistema de notación de color basado en una serie de parámetros que nos permiten obtener una gama de colores que varían en función del matiz, brillo y croma. Rojo, marrón, negro o gris, son algunos de los colores más característicos y descriptivos del suelo, pero no son exactos y debido a esto, la comunidad científica decidió establecer como patrón de medición del color del suelo el sistema de notaciones de Color Munsell (Moreno 2010).

3.5.4. Densidad aparente (Da)

La densidad de volumen o densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso (Rubio Gutiérrez 2010). Según (Rojas y Peña 2012) la densidad aparente es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces, asimismo, la densidad aparente también varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica puede variar estacionalmente por consecuencia de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes.

La densidad aparente es un criterio transcendental para la evaluación hídrica y de nutrientes, de igual forma puede ser determinada de manera semicuantitativa, tomando en cuenta la penetrabilidad del perfil de suelo con ayuda de un cuchillo y datos de la textura del suelo (Vargas-Rodriguez *et al.* 2020).

Esta es una relación entre la masa del suelo seco y el volumen total (aparente) del mismo. Aquí incluye tanto el volumen del sólido como el espacio poroso entre partículas (U.N.L.P. 2019).

3.5.5. Densidad real (Dr)

La densidad real se refiere a la densidad de la totalidad de las partículas del suelo el cual se expresa como la relación entre la masa de partículas sólidas y el volumen del sólido, excluyendo, por lo tanto, los espacios porosos y al aumentar el contenido de materia orgánica se reduce la densidad real de los suelos (U.N.L.P. 2019).

La densidad real (Dr) es generalmente constante debido a que es expresada por la mineralogía y composición química de la fase sólida del suelo (Novillo *et al.* 2018). La densidad real del suelo es la relación que existe entre el peso de éste, en seco (Pss) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (Vp). Usualmente se expresa en g/cm^3 (Castillo 2005).

Para la determinación de la densidad real debe conocerse la masa de suelo y el volumen del mismo. La primera es determinada por peso; el volumen real es un valor más complicado de establecer pues debe eliminarse totalmente el aire del suelo. La determinación es a través de la picnometría, el procedimiento significa la aplicación del principio de Arquímedes, es decir, determina que volumen de agua desplazan los sólidos al ser sumergidos (U.N.L.P. 2019).

3.5.6. Porosidad

La porosidad en el suelo es el porcentaje en volumen del suelo que no es ocupado por partículas sólidas, los poros del suelo característicamente son espacios que alojan agua, gases y la actividad biológica del suelo. La porosidad representa el volumen total de poros y la capacidad de almacenamiento y movimiento del agua, ya sea en el suelo o en la relación agua-suelo-planta (U.N.L.P. 2019).

La porosidad del suelo superficial determina en gran medida los procesos de infiltración y escurrimiento del agua que influyen en la erosión hídrica y el transporte de agua en el suelo, de igual forma, es también un indicador de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (González-cervantes y Chávez-ramírez 2012).

De acuerdo con la FAO (2009) La porosidad incluyen todos los espacios vacíos en el suelo. Están relacionados con el arreglo de los constituyentes primarios del suelo, patrones de enraizamiento, madrigueras de animales o cualquier otro proceso formador del suelo, como agrietamiento, desplazamiento y percolación. El término espacio vacío es casi equivalente al término poro, pero este último es más usado de forma restrictiva y no incluye, por ejemplo: fisuras o planos, por esta razón es que existe una gran variedad en la forma y origen de los espacios porosos. Es impráctico y usualmente no necesario describir ampliamente todos los tipos de espacios porosos. Se debe dar énfasis a la estimación de los espacios porosos continuos y alongados.

Tabla 2. Clasificación de la porosidad del suelo

	Tipo	Porcentaje (%)
1	Muy baja	<2
2	Baja	2 a 5
3	Media	5 a 15
4	Alta	15 a 40
5	Muy alta	>40

Fuente: (FAO 2009).

3.5.7. Estabilidad de los Agregados (EA)

La estabilidad de los agregados (EA) es la capacidad que tiene el suelo para conservar el acomodo de su espacio sólido y poroso cuando se expone a procesos de deterioro, y se considera como un buen indicador de sostenibilidad del suelo (Lince-Salazar *et al.* 2020). Se entiende por agregado de suelo a un grupo o conjunto de partículas donde las fuerzas de unión entre sí superan a las existentes entre éste y otros grupos adyacentes y por estructura, al arreglo u ordenamiento espacial de los agregados y poros en el suelo. En suelos donde las partículas están agregadas, el diseño y la perdurabilidad del espacio poroso dependen en gran medida de la forma, tamaño, distribución y estabilidad de los agregados (Cabria *et al.* 2002).

Actualmente la degradación de la estructura del suelo a causa del uso agrícola ha sido documentada en numerosos estudios ya que es la gran problemática que se vive hoy en día en todo el mundo. Esto se debe a que ocurre una disminución de la estabilidad estructural y un aumento de los microagregados estables al agua a expensas de los macroagregados. Así mismo, resulta del efecto combinado de la pérdida de la materia orgánica, de la disminución de la porosidad y del aumento de la densidad aparente del suelo formando bloques subangulares y angulares (Buenaver Ortiz y Rodríguez Araujo 2016).

3.5.7.1. Métodos para determinar la estabilidad de los agregados del suelo

La estabilidad de los agregados del suelo se evalúa a través de diversas metodologías y varias maneras, entre ellas, las más comunes son el tamiz húmedo de Yoder (1936), ya que permite evaluar el rango completo del estado de agregación del suelo por medio del cálculo del diámetro medio del peso, el diámetro medio geométrico y la proporción de agregados estables al agua y el del impacto de la gota, Otras son el método de partículas menores de 250 μm propuesto por El-Swaify y Dangler (1982), que, al igual que el de Yoder, se realiza en tamiz húmedo, pero en este caso solo se tienen en cuenta partículas y microagregados menores a 250 μm y los índices de estabilidad estructural propuestos por Henin et al. (1958), De Leenheer y De Boodt (1959), todos similares al propuesto por Yoder (1936) con modificaciones en el número y tamaño de los tamices y en el tratamiento para destruir los agregados.

Tabla 3. Clasificación de la estabilidad de agregados del suelo

DMP (mm)	CLASIFICACIÓN
< 0,5	Inestable
0,5 - 1,5	Ligeramente Estable
1,5 - 3,0	Moderadamente estable
3,0 - 5,0	Estable
> 5,0	Muy Estable

Fuente: (Sarasty, J.; Ortega, J.; Castillo 2017).

3.6. Parámetros químicos del suelo

Según (Calderón *et al.* 2018) las propiedades químicas del suelo se relacionan con la calidad y disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas, entre ellas, cabe resaltar: el pH, M.O, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). De igual forma permite conocer el estado nutricional, esclarecer su patogénesis, taxonomía y conocer su calidad química por medio de la determinación de los nutrientes y compuestos orgánicos e inorgánicos y las transformaciones, es por esta razón que se considera fundamental para decidir el manejo sostenible que se le va a dar al suelo (IZQUIERDO 2016).

La caracterización de las propiedades químicas de suelo permite estar al tanto del estado nutricional, esclarecer su patogénesis, taxonomía y conocer la calidad química que posee por medio de la determinación de los nutrientes y compuestos orgánicos e inorgánicos y las evoluciones presentes, es por esta razón que se considera esencial para decidir el manejo que se le va a dar al suelo en los sistemas de producción agroecológicos (IZQUIERDO 2016).

La química de suelos ha sido usada para proponer soluciones, directas o indirectas, a problemas prácticos tales como disponibilidad de nutrientes, toxicidad de iones, conversión a formas no asimilables de elementos adicionados en los fertilizantes, reacción de los correctivos y dispersión de suelos, comprensión de las reacciones de fertilidad y necesidades de cal en suelos ácidos y yeso en los sódicos (Neira 1974).

3.6.1. El pH del suelo

En los suelos el pH es una propiedad química de mucha importancia porque indica que tan ácida o alcalina es la solución del suelo, que es de donde las raíces y los microorganismos del suelo toman sus nutrientes (Osorio 2012). El pH, es un término que indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución y se trata de una medida de la acidez de la disolución. El pH también se expresa a menudo en procesos de concentración de iones hidronio (Rivera 2018).

El pH es uno de los parámetros más trascendentales que influyen en la fertilidad del suelo. El cual ayuda a indicar si el suelo contiene niveles tóxicos de aluminio y manganeso, si es bajo el contenido de elementos básicos como el calcio y el magnesio, y si se le puede regular con la adición de sustancias como el óxido de calcio, de igual forma, la disponibilidad de otros nutrientes esenciales para la planta depende de los valores de pH (Rivera 2018).

Tabla 4. Niveles de pH

Rango de pH	Clasificación
< 4.2	Extremadamente ácido
4.2 - 5.5	Fuertemente ácido
5.6 - 6.5	Moderadamente ácido
6.6 - 7.3	Neutro
7.4 - 8.3	Moderadamente alcalino
> 8.3	Fuertemente alcalino

Fuente: (Ibarra-Castillo 2009),

3.6.1.1. . Método para determinar el pH del suelo

El método más ampliamente utilizado en la determinación de pH es el potenciómetro, que consiste en la medición del voltaje de una celda electroquímica formada por dos electrodos: uno de referencia cuyo potencial es constante y uno de medición cuyo potencial es sensible al pH de la solución donde se encuentra sumergido. El potenciómetro es un instrumento para la medición precisa de diferencia de potencial eléctrico Y es un circuito puente para medir voltajes pequeños por comparación, con ventaja sobre otros instrumentos para medir voltaje porque no produce efecto de carga en el circuito del voltaje a medir porque trabaja con corriente cero (Ruiz 2011).

3.6.2. Materia Orgánica del Suelo (MOS)

La materia orgánica (residuos de plantas y desechos animales) está hecha de compuestos tales como los carbohidratos, ligninas y proteínas. Los microorganismos desempeñan la función de descomponer la materia orgánica en dióxido de carbono y los residuos más resistentes en humus y durante el proceso de descomposición los microbios pueden atrapar nitrógeno del suelo (Raquel y Sara 2014). La fracción orgánica del suelo está compuesta por alrededor de un 58% de carbono, que fue retenido en su mayoría de la atmósfera a través de la actividad fotosintética de las plantas. Debido a ello, el nivel de MOS no sólo es esencial para el suelo y el agricultor, sino también para el clima, el medio ambiente y la sociedad en su conjunto (Michel y Grand 2020).

Según IICA (2021) la incorporación de materia orgánica al suelo favorece su estructura, es imprescindible para una óptima retención de agua y para que los nutrientes estén disponibles para los cultivos al igual que evita la compactación de las tierras; beneficia el desarrollo de los microorganismos edáficos, (hongos y bacterias) que asegurarán una considerada descomposición de los aportes de materia orgánica y un ambiente sano, equilibrado y nutritivo para las raíces y plantas, además, supone una considerable fijación de carbono en los suelos, esto hace que una buena materia orgánica sea esencial en el manejo de fincas agroecológicas.

Cuando los residuos vegetales son incorporados al suelo varios compuestos orgánicos se descomponen. Esta descomposición es un proceso biológico donde el colapso físico y la transformación bioquímica de las moléculas de los complejos orgánicos de los materiales muertos se convierten en moléculas simples e inorgánicas, es por ello, que la descomposición sucesiva del material muerto y la materia orgánica modificada resulta en la formación de una materia orgánica más compleja llamada humus. El humus afecta las propiedades del suelo y su color que se vuelve más oscuro; desarrollando aún más la agregación del suelo y la estabilidad de los agregados; aumenta la capacidad de intercambio catiónico y aporta nitrógeno, fósforo y otros nutrientes durante su lenta descomposición (L. Rodríguez 2011).

Tabla 5. Niveles de contenido de materia orgánica (M.O)

Nutriente	Bajo	B/N	Normal	N/A	Alto
M.O. %	<3 %	3 - 4 %	4 - 5 %	5 - 6 %	>6%

Fuente: (Figeroa 1999).

3.6.2.1. Método para determinar la materia orgánica del suelo

El método propuesto por Walkley & Black (W&B) es el más popular usado en los laboratorios debido a su simplicidad y rapidez para determinar la materia orgánica del suelo (MOS) y consiste en la oxidación húmeda de la muestra de suelo con dicromato de potasio en medio ácido. El calor desprendido, durante la incorporación del ácido sulfúrico, es el que permite la oxidación parcial del carbono. En este proceso se produce una reducción del dicromato, equivalente al contenido de carbono que es oxidado. El dicromato residual es luego titulado con sal ferrosa (Arpi 2018).

3.6.3. Nitrógeno (N)

El nitrógeno (N) es un nutriente esencial para los seres vivos y para las plantas, ya que es uno de los constituyentes principales de compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, así como también de las paredes celulares y clorofila en los vegetales. Debido a la importancia que posee el nitrógeno (N) en las plantas, junto al fósforo (P) y al potasio (K) se lo clasifica como un macronutriente, además, es el nutriente que en general tiene más influencia en el rendimiento y calidad del producto a obtener en la actividad agropecuaria o agroecológica (Perdomo y Barbazán 2007).

El nitrógeno es uno de los macronutrientes más esenciales para el crecimiento y desarrollo de cualquier cultivo. Del mismo modo juega un papel significativo en la producción de azúcares, almidón y lípidos, entre otras sustancias, para la nutrición y otros procesos básicos de las plantas. El suelo dispone naturalmente de él en forma orgánica y mineral, esta última fundamental para que pueda ser absorbido por las plantas, no obstante, las cantidades disponibles en el suelo no son suficientes para suplir las necesidades de las plantas cultivadas, por lo que se debe aplicar fertilizantes que aporten nitrógeno (Agrovitra 2020).

3.6.4. Fosforo (P)

El fósforo es uno de los diecinueve elementos considerados como esenciales del suelo y para la vida de las plantas. Constituye un componente primario de los sistemas responsables de la capacitación, almacenamiento y transferencia de energía, y es componente básico en las estructuras de macromoléculas de interés crucial, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que se puede decir que su papel está extendido en todos los procesos fisiológicos (Fernandez 2007).

Debido a ello, la actividad que desempeña el fósforo dentro de la planta es crítica porque participa prácticamente en todos los procesos metabólicos principales de ésta, incluyendo la fotosíntesis y la respiración (Mixquititla Casbis y Villegas Torres 2016).

El contenido de fósforo disponible en el suelo es una variable dinámica, fuertemente influenciada por las propiedades del suelo, la planta y las condiciones ambientales. El fósforo forma compuestos débilmente solubles con cationes divalentes y monovalentes. Por esta razón, la cantidad de fósforo de la solución suelo es muy pequeña. Las plantas que crecen en el suelo, absorben esta pequeña cantidad de la solución suelo, que a su vez se encuentra en equilibrio con el fósforo de la fase sólida. Así, cada una de las formas químicas del suelo contribuye de manera distinta a enriquecer el fósforo disponible para el cultivo (ROJAS s. f.).

3.6.5. Potasio (K)

El potasio es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, siendo superado sólo por el nitrógeno y, a veces por el Calcio. Asimismo, el nutriente que menores problemas de disponibilidad presenta, ya que, en general, la provisión de este elemento en los suelos es aceptable, y a diferencia del fósforo (o del azufre y por extensión del nitrógeno), el potasio está presente en la solución del suelo solamente como un catión cargado positivamente, K^+ , por otra parte, los suelos orgánicos son deficientes en potasio (K) debido a que contienen pocos minerales proveedores de este nutriente (Sanzano 2010).

Como afirma Corone (2003) el potasio es un macro elemento esencial, porque manifiesta su deficiencia en las plantas rápidamente debido a las grandes cantidades con que es requerida por ellas (cuatro tres veces más que el fosforo y casi a la par que el nitrógeno); también se le considera primario por intervenir en las funciones primarias de la planta, igualmente este elemento es de movilidad media en el suelo por ser menor a la del nitrógeno, aunque en la planta se da alta movilidad, por lo tanto se lava en suelos arenosos con baja capacidad de intercambio catiónico.

3.6.6. Calcio (Ca)

El calcio es un macronutriente secundario (como el magnesio y el azufre) que juega un papel muy importante en nuestros cultivos ya que es esencial para las plantas y además es el principal responsable de crear y mantener la estructura de los suelos agrícolas.

Si bien, el calcio sea muy importante para las plantas, también tiene una importante acción sobre el suelo, ya sea desde los parámetros físico, químico o incluso biológico, al mismo tiempo este elemento nutritivo se encuentra presente en el suelo en muchas formas como por ejemplo en forma de mineral (silicatos, yesos, etc.) u orgánica que es la que interesa desde el punto de vista de la nutrición vegetal ya que es la que forma parte de la materia orgánica del suelo (Álvaro G.J 2020).

Como señala (Monge *et al.* 1994) en muchos suelos, el calcio fijado en el complejo coloidal y el unido a los compuestos húmicos son las formas naturales más abundantes, de igual forma contiene un catión divalente, con un radio iónico hidratado de 0,412 nm y una energía de hidratación de 1577 J/mol. Es uno de los elementos más abundantes en la litosfera y puede encontrarse en los suelos en muy variada proporción, dependiendo en gran medida de la roca madre y sus formas minerales más frecuentes son: carbonatos, fosfatos, sulfatos y en algunos silicatos; los dos primeros con una solubilidad muy variable y prácticamente insolubles el resto.

3.6.7. Magnesio (Mg)

El magnesio (Mg) es un constituyente común de muchos minerales, llegando a comprender el 2 % de la corteza terrestre y se localiza dentro de los minerales arcillosos del suelo o está asociado con el intercambio de cationes en la superficie de las arcillas (Mikkelsen 2010). El estado del magnesio en el suelo se caracteriza por un proceso dinámico, influenciado por distintos factores como el clima, pH del suelo, temperatura y humedad del suelo, y presencia de otros cationes, pero la función más prominente del magnesio en la planta es su papel como el átomo central de la molécula de clorofila, de igual forma funciona como un catión bivalente cargado, el magnesio está involucrado en el balance catión-anión, es responsable de la regulación de pH y del ajuste de turgencia de las células de la planta (Ross 2004).

3.6.8. Cobre (Cu)

El cobre existe en los suelos como Cu^{2+} y la mayor parte del tiempo es absorbido por la planta. Una vez absorbido, se acumula principalmente en las raíces y su concentración en el tejido vegetal varía entre 5 y 20 ppm y en el suelo de 2 a 100 ppm (mg kg^{-1}), pero, sin embargo, la mayor parte del cobre está concentrado solo en el suelo no está disponible para las plantas. La disponibilidad de cobre aumenta con un pH de suelo menor de 7.0 y disminuye a un pH más alto, debido a su fijación a los minerales de arcilla del suelo. es por ello que el cobre tiende a adsorberse fácilmente a la materia orgánica. Por lo tanto, la materia orgánica del suelo reduce la disponibilidad de cobre para las plantas y una deficiencia de cobre puede ocurrir en suelos ácidos, a pesar de su bajo pH, si el contenido de materia orgánica del suelo es alto (Sela 2019).

(INTAGRI 2022) nos menciona que en la corteza terrestre se puede encontrar al Cu a una concentración promedio de 55 a 70 ppm. En este sentido las rocas ígneas son las que presentan mayor concentración de este elemento al contener entre 10 a 100 ppm, mientras que las rocas sedimentarias solo tienen de 4 a 45 ppm. En suelos deficientes la totalidad de Cu es menor a 0.5 ppm. Cuando el Cu es deficiente las respuestas más comunes en los cultivos a la fertilización con Cu son: 1) mejora en la calidad de los frutos, 2) incremento en el crecimiento del cultivo. También es un buen micronutriente para controlar las plagas y enfermedades que afectan a los diferentes cultivos en los sistemas agroecológicos.

3.6.9. Zinc (Zn)

El zinc es un micronutriente que provee el suelo, esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, pero se convierte en un elemento tóxico cuando se encuentra en exceso de disponibilidad para los cultivos.

El Zn es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La cantidad de zinc que éstas necesitan para crecer y desarrollarse adecuadamente es muy pequeña: oscila entre 15 y 20 miligramos por kilogramo de tejido seco; estos valores representan menos de 0.1% del peso seco total del tejido. Por tal razón, el zinc es clasificado como un micronutriente (Amezcuza y Lara 2017).

Unas de las funciones principales que cumple el Zinc (Zn) en el suelo es la de activador enzimático, catalizando innumerables reacciones en procesos metabólicos como la respiración, la síntesis de clorofila y proteínas, es por ello que la deficiencia de Zn suele ocurrir temprano en el ciclo de crecimiento particularmente cuando los suelos están muy fríos. Esto se debe al lento crecimiento radicular comparado con el crecimiento de la parte aérea de la planta. El sistema radicular creciendo lentamente no puede absorber suficiente Zn para satisfacer las necesidades de tallo y hojas (Mirta Toribio 2016).

3.6.10. Manganese (Mn)

El manganeso es un elemento esencial para las plantas, los animales y los humanos en la medida que intervienen en las etapas evolutivas y reproductivas del ciclo vital de las plantaciones agroecológicas, su deficiencia solo puede ser corregida con el aporte de dicho elemento y está directamente implicado en la nutrición de los mismos sistemas, es por ello que el manganeso es esencial en muy pequeñas concentraciones porque interviene en las plantas como activador enzimático en reacciones involucradas en el metabolismo de ácidos orgánicos, del fósforo, nitrógeno y de la síntesis de aminoácidos y proteínas (Novillo *et al.* 2009).

El manganeso (Mn) como nutriente mineral en el suelo es esencial y desempeña un papel clave en varios procesos fisiológicos. La deficiencia de manganeso es un limitante de la productividad en los cultivos, que tiene mayor frecuencia en suelos arenosos, suelos orgánicos con un pH superior a 6 y suelos tropicales muy degradados (Peñaranda 2019). El contenido medio total de manganeso disponibles en la mayoría de los suelos de cultivos ya sean agroecológicos o convencionales rondan entre 200 a 3000 ppm aproximadamente (Novillo *et al.* 2009).

3.6.11. Hierro (Fe)

El hierro es considerado un microelemento esencial para el desarrollo fisiológico de las plantas, debido a que interviene en la formación del pigmento clorofílico y forma parte estructural del primer aceptor de electrones como es la ferredoxina. La deficiencia del hierro es un factor limitante en el crecimiento de las plantas, debido a que el hierro está presente en grandes cantidades en los suelos, pero su disponibilidad en las plantas es generalmente muy baja, y, por lo tanto, la deficiencia de hierro es un problema común en muchos agrosistemas (Esquivel 2020).

Como nos menciona Acevedo-Sandoval *et al.* (2004) el hierro es uno de los elementos más frecuentes en las rocas y en los suelos de agricultura sostenible y convencional. El color del suelo y, en consecuencia, la diferenciación visual de los horizontes del perfil se relaciona, frecuentemente, con la forma y composición de los depósitos de óxidos e hidróxidos de hierro, cuyo contenido en el suelo suele expresarse en porcentajes. Los óxidos de hierro son minerales de neoformación provenientes de la alteración de rocas y suelos y, debido a que no se encuentran unidos química o estructuralmente a los silicatos, ocurren como óxidos libres.

3.6.12. Capacidad de intercambio catiónico

La Capacidad de Intercambio Catiónico, CIC, es un indicador que hace referencia a la cantidad de cationes que pueden ser retenidos por un suelo dado un determinado pH, y que pueden ser intercambiados por otros contenidos en la solución del suelo. Básicamente se trata de la capacidad del suelo para retener ciertos elementos, ya sea por almacenamiento propio o luego de un proceso de fertilización, y de liberarlos para entregarlos a las plantas (Contexto Ganadero 2017).

Dentro de todos los procesos que se dan en el suelo el más importante es el intercambio iónico, junto con la fotosíntesis son los dos procesos de mayor importancia para las plantas. El cambio iónico es debido casi en su totalidad a la fracción arcilla y a la materia orgánica. La capacidad de intercambio catiónico se define como el número de cargas negativas del suelo y se expresa en meq/ 100g de suelo. Aumentos en el pH traen como consecuencia un incremento en las cargas negativas ya que el aluminio se precipita la concentración de hidrogeniones disminuye por lo tanto, la CIC aumenta (Cabajal 1997).

3.6.13. Metodología para determinar parámetros químicos

Uno de los desafíos más grandes que ha tenido las ciencias del suelo, es desarrollar o crear metodologías de determinación de parámetros de nutrientes en el suelo que sean reproducibles, simples, y específicas en las porciones disponibles para los numerosos cultivos. Las soluciones extractoras más utilizadas para cuantificar micronutrientes en el suelo son Mehlich III y el ácido dietilentriaminopentaacéticotrietanolamina (DTPA-TEA). El primero, fue desarrollado como solución extractora de múltiples elementos (P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Mn, B, Al y Fe) muy útil para un amplio rango de pH del suelo (Gannini-kurina *et al.* 2021).

Mehlich III es una solución extractora de mucha utilidad para determinar múltiples parámetros químicos de suelo, principalmente manejada para cuantificar los elementos fundamentales en el suelo bajo los diferentes usos ya sean convencionales o agroecológicos que le dan a este, dicha metodología está basada en comprobados métodos científicos a nivel internacional, el cual conlleva a la implementación de rangos de suficiencia adecuados para cada elemento nutritivo del suelo para los diversos cultivos y los resultados que se obtienen son clave para mejorar el rendimiento y calidad del suelo para beneficiar los diferentes sistemas agroecológicos (Anacafé 2022).

3.7. Biología de los suelos

La biología del suelo juega un papel primordial en la composición del suelo y sus características, de manera que, dichos organismos que viven en el suelo también son factores determinantes para la circulación de nutrientes y del carbono en el suelo. Sin embargo, la biología del suelo al ser una ciencia recién descubierta falta mucho por investigar y saber cómo afecta la naturaleza de los suelos (FAO 2023). Los organismos que se encuentran en el suelo son casi todos de carácter heterotrófico, su función es intervenir de una u otra forma en los diferentes ciclos geoquímicos de muchos elementos del suelo (Bonilla 2002).

La biología del suelo es de mucha importancia en los sistemas de producción agroecológicos debido a que los organismos del suelo descomponen la materia orgánica proveniente de restos vegetales y animales, liberando a su vez los nutrientes benéficos para la producción de plantas y cumpliendo así que los agroecosistemas sean autosuficientes en la fertilización, los microorganismos del suelo mantienen la estructura mientras las lombrices remueven el suelo. Una gran parte de la materia orgánica originada por la descomposición anual de los residuos vegetales se almacena en la superficie del suelo o en la zona radicular y se consume casi por completo por los organismos del suelo creando así una reserva de carbono con una rápida tasa de renovación (FAO 2023).

Como menciona (León-Arteta 2008) los organismos del suelo son afectados por el ambiente, también ellos poseen diferentes grados la capacidad de modificarlo. Su papel trascendente tanto en la abundancia de las especies, como en su diversidad biológica y entre los factores de formación de suelos, pero la actividad humana tiene un aspecto culminante en el mantenimiento o deterioro de la vida biológica en el suelo, esto porque el ser humano utiliza en exceso los productos agroquímicos en el suelo lo cual disminuye en gran medida la diversidad de organismos benéficos para los suelos.

3.7.1. Macrofauna del suelo

La macrofauna del suelo es ampliamente usada como bioindicadora de calidad ambiental y calidad de suelos (Pinzón *et al.* 2014). Este grupo está constituido por los invertebrados de mayor tamaño, que son visibles al ojo humano. Los organismos que lo integran pertenecen a distintos Fila, Clases y Órdenes y se caracterizan porque operan en escalas de tiempo y espacio más amplias que los grupos de menor tamaño (microfauna y mesofauna). La mayoría tiene ciclo biológico largo (un año o más), baja tasa reproductiva, movimientos lentos y poca capacidad de dispersión. Aquellos organismos que participan en los dos subsistemas (sobre y debajo de la superficie) que componen el ecosistema terrestre, son los responsables de la conexión entre las cadenas alimentarias de la parte aérea y del suelo (Zerbino 2010).

La macrofauna está compuesta por invertebrados que poseen una longitud igual o mayor de 10 mm y un ancho de cuerpo mayor de 2 mm, por lo que se pueden detectar a simple vista. Vive también dentro del suelo o inmediatamente sobre él y reúne principalmente a las lombrices de tierra, moluscos, cochinillas, milpiés, ciempiés, arácnidos y diversos insectos (Cabrera *et al.* 2017).

3.7.1.1. Método para determinar la microbiología del suelo

Uno de los índices más utilizados para cuantificar la biodiversidad específica es el de Shannon, también conocido como Shannon-Weaver (Shannon y Weaver, 1949), originario de la teoría de información como una medida de la entropía, dicho índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa. Conceptualmente es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad (PLA 2006).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del sitio de estudio

El presente trabajo de investigación se ejecutó en la Finca Agroecológica de la Universidad Nacional De Agricultura ubicado en el barrio El Espino a seis kilómetros de la ciudad de Catacamas, Olancho, calle hacia el municipio de Dulce Nombre de Culmi.

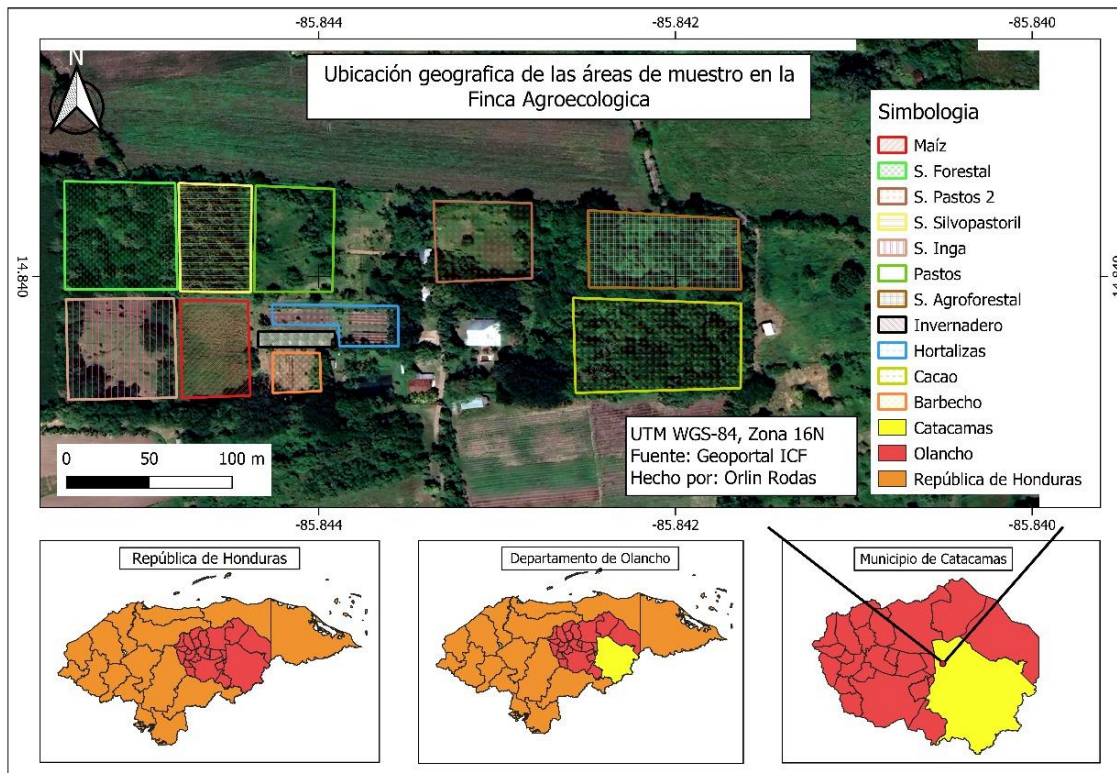


Figura 1. Localización de los sistemas de la finca agroecológica de la Universidad Nacional de Agricultura

El área de estudio queda situada a una altura de 350 MSNM. El clima de la ciudad de Catacamas presenta tres oscilaciones, con una estación cálida durante los meses de febrero, marzo y abril; una estación fresca y lluviosa entre los meses de junio a noviembre y una estación de clima más bien templado de noviembre a enero, la estación propiamente lluviosa se extiende de principios de mayo a fines de diciembre, siendo Julio, agosto y septiembre los meses más lluviosos del año (Vallejo 1975).

Catacamas, presenta un rango de temperatura anual entre 25°C y 35°C y una humedad relativa promedio de 92% (Murillo y Lepe-López 2022). La precipitación de Catacamas es de 1200 mm a 1400 mm al año aproximadamente (CLIMATE DATA s. f.). Catacamas, Juticalpa, Guayape poseen un potencial de evapotranspiración de 28.6 mm (SAG, SAG-DICTA, COPECO-CENAOS 2017).

El municipio de Catacamas posee suelos de origen aluvial, por tanto, autóctonos, están asociados a los valles y planicies fluviales, debido a ello gozan gran desarrollo en los valles de Azacualpa, Lepaguare, Catacamas y Agalta. De mucha eficacia para el uso agrario, por lo cual han sido aprovechados desde antaño (SEPLAN 2013).

4.2. Materiales y Equipos

4.2.1. Materiales de campo

Los materiales que se utilizaron en campo son: barreno, baldes, bolsas, metros, pala, piocha, azadones, palin. etiquetas, lápiz, marcadores, botas, mochila, una libreta de apuntes, un cilindro y GPS.

4.2.2. Materiales de Laboratorio y equipo de laboratorio.

Los materiales que se utilizaron en laboratorio son: Calculadora, bolsas de papel kraft, Erlenmeyer de diferentes tamaños, tabla Munsell, papel aluminio, beaker plástico, pipetas, balón volumétrico, regla graduada, tamiz de 2 mm de diámetro, brocha, rodillo de madera, papel whatman, buretas, embudos, cilindros, gotero, pinzas, papel toalla, guantes y gabacha.

El equipo que se utilizó en el laboratorio: espectrofotómetro de absorción atómica con emisión de llama, agitador vaivén, horno, hidrómetro de Bouyoucos, pHmetro, espectrómetro UV, equipo Marconi y la licuadora.

4.2.3. Reactivos utilizados en el laboratorio

Los reactivos que se utilizaron en el laboratorio son: soluciones buffer, sulfato ferroso, alcohol, ácido sulfúrico, ferroina, dicromato de potasio, hidróxido de sodio, Hexametafosfato de sodio y la solución extractora mehlich III.

4.3. Diseño Experimental

Se realizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), el cual implicó asignar aleatoriamente las muestras de suelos en los diferentes sistemas agroecológicos que se trabajan en la finca agroecológica de la Universidad Nacional de Agricultura, donde se ejecutaron 3 repeticiones de cada uno de los diferentes sistemas agroecológicos que se le da al suelo.

Los tratamientos que se van a analizar son los siguientes:

T1= Sistema de Cacao

T2= Sistema Agroforestal

T3= Sistema Pastos I

T4= Sistema Pastos II

T5= Sistema Silvopastoril

T6= Sistema Forestal

T7= Sistema Inga

T8= Sistema de maíz, frijol y ayote

T9= Sistema Hortalizas

T10= Sistema Invernadero

T11= Sistema Barbecho

T12= Área de agricultura convencional

4.4. Etapas de la investigación

La determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de la finca agroecológica de la Universidad Nacional de Agricultura se ejecutó primero a nivel de campo con la toma de las muestras y luego los respectivos análisis en el Laboratorio de Suelos Agrícolas de la UNAG, por esta razón el trabajo se realizará en diferentes etapas.

4.4.1. Etapa # 1 Recorrido por el área de estudio

Se realizó un recorrido con el encargado de la finca agroecológica de la UNAG para lograr el objetivo de delimitar las diferentes áreas de la finca en base a su uso, se definieron las zonas en donde se tomaron las muestras y se identificaron 11 áreas de estudio en la finca agroecológica y 1 área de agricultura convencional con la ayuda del encargado de la finca que nos dio el recorrido y con un navegador GPS, de igual forma se hizo la demarcación de cada sistema bajo estudio mediante un mapa hecho en la aplicación de QGIS Desktop 3.24.0 en el que se reflejaron las diferentes áreas.

4.4.2. Etapa # 2 Toma de muestras de suelo

Una vez que se localizaron las áreas bajo los diferentes usos que le dan al suelo en la finca agroecológica, se hizo la recolección de muestras en el campo, se tomaron un mínimo de 10 submuestras al azar por cada sistema de muestreo, para formar la muestra compuesta, las muestras se tomaron a una profundidad de muestreo de 20 cm en todas las áreas tanto en cultivos anuales como perennes y se tomaron 3 muestras compuestas de cada uno de los sistemas agroecológicos bajo estudio con su referente etiquetado para obtener 3 repeticiones en cada análisis.

Para desarrollar esta actividad se usó un barreno e igualmente se hicieron dos Calicatas de un metro cubico (100 cm de profundidad, largo y ancho), para observar los diferentes horizontes presentes en cada perfil y de cada horizonte se analizó la profundidad, el color, densidad aparente (Da), el pH, y la materia orgánica (M. OS). Las muestras para la obtención del análisis de la Densidad Aparente y la Porosidad se tomaron en todos los sistemas y de igual forma se tomaron 3 repeticiones mediante el uso de cilindros de volumen conocido.

4.4.3. Etapa # 3 Preparación de las muestras y análisis en laboratorio

Esta actividad se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos Agrícolas de la Universidad Nacional de Agricultura, en el cual se inició con un registro de entrada de las muestras al laboratorio, seguidamente se procedió a la primera etapa de laboratorio que es el secado de las muestras en temperatura ambiente hasta que perdieron toda la humedad, una vez secas se destruyeron los terrones con un rodillo y se tamizaron en un tamiz #10 (2 mm), consecutivamente hizo la determinación de los parámetros físicos del suelo (la textura, estructura, color, densidad aparente, densidad real, porosidad y estabilidad de agregados) y los parámetros químicos (el pH, M.O, nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu), Hierro (Fe) y la capacidad de intercambio catiónico).

4.4.4. Etapa # 4 Análisis e interpretación de los resultados

Por último, se realizó el análisis de suelo haciendo uso de las metodologías seleccionadas, con los resultados obtenidos se efectuó la interpretación de los resultados, los cuales se clasificarán en bajos medios o altos según los cuadros de interpretación que tiene cada metodología.

4.5. Variables físicas del suelo y métodos de investigación

4.5.1. Determinación de la textura del suelo

La metodología de la textura del suelo se basa en una dispersión química con Hexametafosfato de sodio y una dispersión física utilizando batidoras eléctricas y en medir indirectamente el porcentaje de arena limo y arcilla de cada fracción mediante el densímetro de Bouyoucos. Para identificar la textura se utilizará el triángulo textural de la USDA.

La fórmula que se ejecuto es la siguiente:

$$\% \text{ Arena} = \left(100 - \frac{\text{1era lectura corregida}}{\text{peso de la muestra}}\right) \times 100$$

$$\% \text{ Arcilla} = \left(\frac{\text{2da lectura corregida}}{\text{peso de la muestra}}\right) \times 100$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla})$$

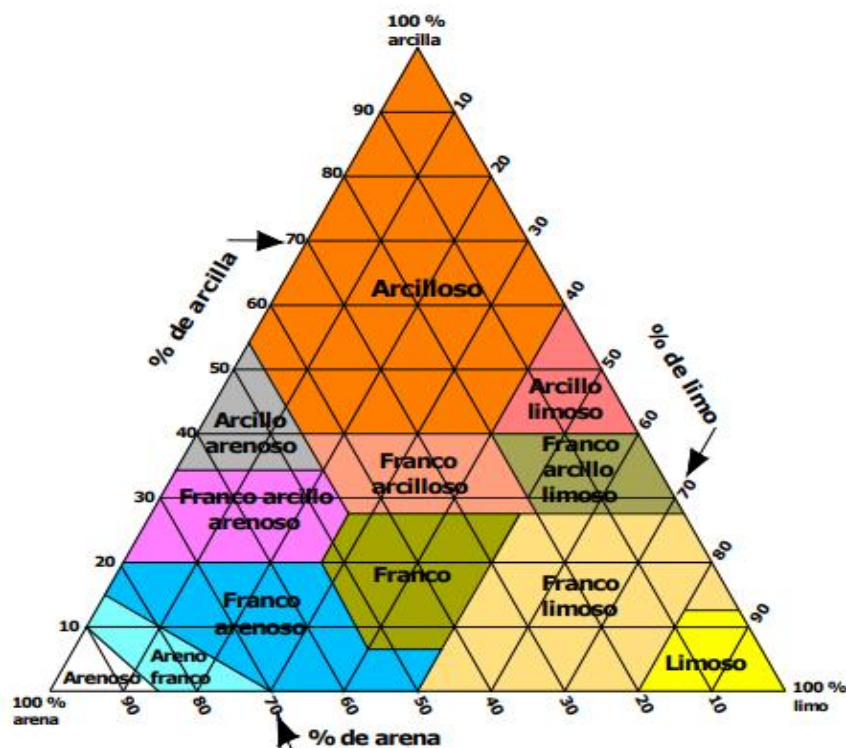


Figura 2. Triángulo de la textural según la USDA

4.5.2. Determinación de la estructura del suelo

El parámetro de la estructura del suelo se determinó visualmente describiendo los parámetros que lo califican, los cuales serían, el tipo, la clase y el grado de progreso actual del suelo.

4.5.3. Determinación del color del suelo

El parámetro del color del suelo se obtuvo mediante el uso de la tabla Munsell, en la cual se tomaron pequeños terrones de suelo de cada uno de los sitios, y luego se procedió a secar al aire libre y se evaluaron tanto en su estado húmedo y su estado seco. Dicha tabla se utiliza con patrones de comparación visual donde se compara los colores, escalas de tono, valor y saturación de la tabla con las diferentes muestras de suelo para identificar un color bajo ciertas condiciones de iluminación conocidas.

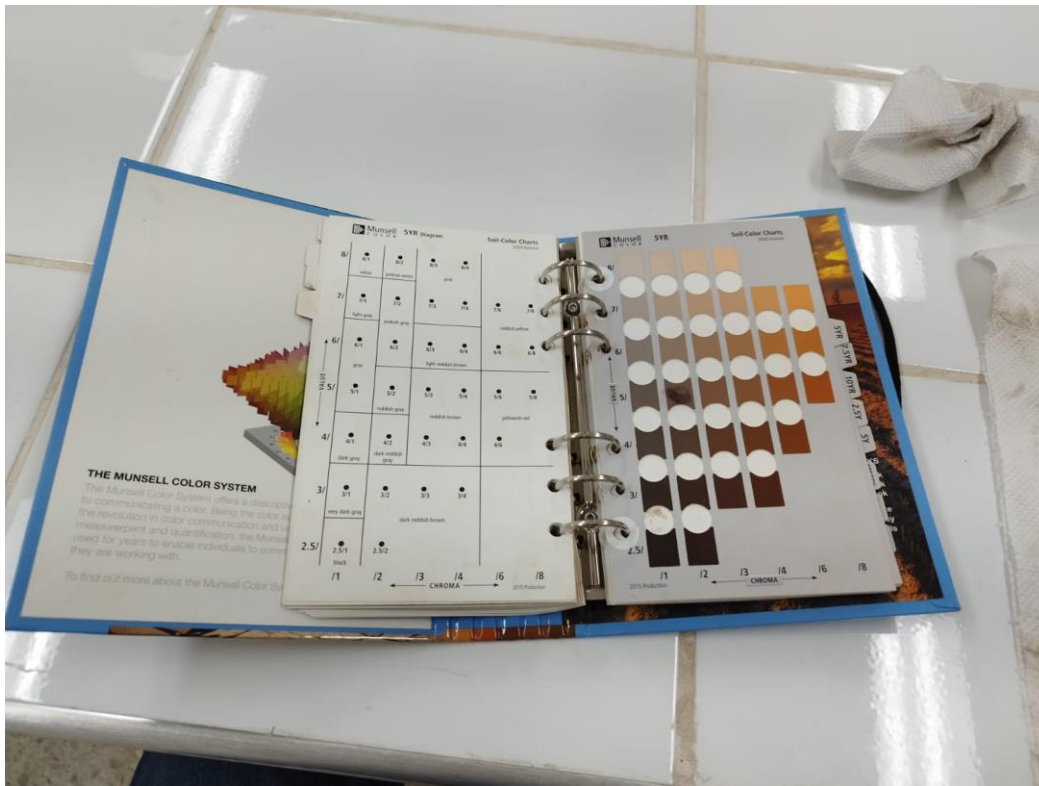


Figura 3. Tabla Munsell para determinar el color del suelo

4.5.4. Determinación de la densidad aparente (D_a) del suelo

Se tomaron diferentes muestras en el campo para determinar la densidad aparente, las cuales se consiguieron con la ayuda de un cilindro de volumen conocido. Las muestras se sometieron en el laboratorio y dentro del horno donde quedaron a una temperatura de 105°C por 24 horas tiempo que se requiere para que pierda la humedad de los macroporos y de los microporos, seguidamente se determinó el peso seco de todas las muestras de suelo que fueron tomadas de la finca agroecológica.

La fórmula que se va utilizar para calcular la densidad aparente (D_a) es:

$$D_a = \frac{P_{ss}}{V_c}$$

Donde:

D_a : densidad aparente (g/cm^3)

P_{ss} : peso del suelo seco en el horno a 105 grados (g)

V_c : volumen del cilindro (cm^3)

$$V_c = a * h$$

Donde:

V_c : volumen del cilindro (cm^3)

a : área de la base del cilindro (cm^2)

h : altura del cilindro (cm)

4.5.5. Determinación de la densidad real (D_r) del suelo

Se recogieron las muestras en los diferentes sistemas determinados, se pesaron 10 gramos de suelo tamizado en un balón volumétrico de 25 ml y en una bureta de 25 ml se le agregó alcohol, posteriormente se agitó para eliminar el aire de la muestra que estaban retenidas entre las partículas del suelo mediante el goteo de alcohol que realizó la bureta y se colocó el tapón de forma que queden aprisionadas las burbujas en su interior hasta que solo quedó la densidad real manifestada.

La fórmula que se utilizara para determinar la densidad real es:

$$Dr = \frac{M}{25 - V_1}$$

Donde:

Dr: densidad real

M: peso del suelo g

V1: Volumen gastado de alcohol ml

4.5.6. Determinación de la porosidad del suelo

Después de haberse calculado y obtenidos los resultados de la densidad aparente y densidad real se ejecutó el método de diferencia de densidades para calcular la porosidad del suelo, dicho procedimiento consiste en la siguiente ecuación.

Para calcular la porosidad se hará uso de la siguiente formula:

$$Pt = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \times 100$$

Donde:

Pt: porosidad total (%)

Da: densidad aparente (gr/cm³)

Dr: densidad real (gr/cm³)

4.5.7. Estabilidad de los agregados

Diámetro promedio ponderado por vía seca y húmedo

Los valores obtenidos en el respectivo tamizado seco y húmedo, deduciendo la masa relativa a partículas simples, si las hay.

$$DMPU = \sum (X_{iu} * W_{iu})$$

Donde:

DMP: Diámetro medio ponderado

X_{iu} : diámetro medio de cada clase de tamiz

W_{iu} : Porcentaje del peso en cada clase

4.6. Variables químicas del suelo y métodos de investigación

4.6.1. Determinación de la reacción pH del suelo

Para determinar el pH del suelo relación 1:2.5(suelo: agua), se realizó utilizando el potenciómetro que se realiza colocando una suspensión de suelo y agua destilada en contacto con un electrodo de vidrio muy sensible a la concentración de iones de hidrogeno.

El procedimiento que se hizo fue el siguiente: se pesaron 10 g de suelo y agrego a un beaker de 40 ml, se agregaron 25 ml de agua destilada consecutivamente se revolvió con una varia de vidrio, dejándolo en reposo por 30 minutos. Se calibro el potenciómetro con soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0. seguidamente se volvió a agitar levemente la muestra que está en el beaker y se introdujo cuidadosamente el electrodo hasta la estabilización del potenciómetro.

4.6.2. Determinación de la materia orgánica del suelo (MOS)

Para comprobar el contenido de la materia orgánica del suelo (MOS) se realizó mediante la metodología de Walkey and Black (1934), este método se basó en el volumétrico de óxido-reducción por retroceso en la cual se oxida la Materia Orgánica del suelo con oxidantes en exceso y la determinación se hizo estimando por retroceso la cantidad de dicromato que no ha sido reducido por la materia orgánica, con una solución de sulfato ferroso.

Los resultados se obtuvieron de acuerdo a la siguiente formula:

$$CO = \frac{(V \text{ blanco} - V \text{ muestra}) \times M_{Fe^{2+}} \times 0.003 \times 100 \times f}{w}$$

$$\%MO: CO\% \times 1,724$$

Donde:

CO% = Porcentaje de carbono orgánico

V_{blanco} = volumen de titulante utilizado en el blanco, mL

V_{muestra} = volumen de titulante utilizado en la muestra, mL

M_{Fe²⁺} = concentración de solución estandarizada de FeSO₄, molaridad

4.6.3. Determinación del nitrógeno del suelo

La determinación del nitrógeno del suelo se obtendrá a partir del análisis y los resultados de la materia orgánica basados en que el 5% de la MOS es nitrógeno.

La fórmula que se utilizo es la siguiente:

$$N = M.O\% * 5\%$$

M.O= Porcentaje de materia orgánica

5%= constante del contenido de nitrógeno en la materia orgánica

4.6.4. Determinación del fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn).

La extracción de macro nutrientes se realizó utilizando la solución extractora Mehlich III, la cual es una solución multiparamétrica que determinaremos los parámetros de fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn).

Con las muestras ya tamizadas se pesaron 5 gramos de suelo a los Erlenmeyer de 125 ml, seguidamente se les agrego 25 ml de la solución extractora Mehlich III para pasar a ser batidas en el agitador de vaivén por 10 minutos. Una vez concluido el proceso anterior se realizó la extracción de las muestras con ayuda del embudo y el papel filtro tipo whatman 42 donde se escurrió la muestra por completa, luego paso a ser analizadas por el espectrofotómetro de absorción atómica.

4.6.5. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico del suelo

La capacidad de intercambio catiónico se obtuvo con la utilización del método de suma de cationes mediante la solución Mehlich 3 respectivamente.

La fórmula que se aplico es la siguiente:

$$CIC= K + Ca + Mg$$

Donde:

CIC: Capacidad de intercambio catiónico cmolc/kg

K: Potasio

Ca: Calcio

Mg: magnesio

4.7. Variables biológicas del suelo y métodos de investigación

4.7.1. Determinación de la macrofauna del suelo

La macro fauna presente en el suelo de los diferentes sistemas de producción se determinó mediante el índice de Shannon y Weaver (1949), dicho índice consistió en estimar la diversidad de la macrofauna y microorganismos del suelo. El proceso que se llevó a cabo es el siguiente, se muestrearon cinco cuadrantes de 25 m² (cinco de oros) en cada una de los sistemas agroecológicos, de cada cuadrante se obtuvieron cinco submuestras de 25 × 25 × 10 cm para obtener la muestra compuesta. Posteriormente se contabilizo la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza) y la cantidad relativa de individuos de cada especie (abundancia) de los diversos organismos.

4.8. Análisis estadístico

Se realizó el análisis estadístico comparativo ANOVA del diseño completamente al azar (DCA) ejecutado en el experimento, en el cual se compararon las medias de cada una de las variables estudiadas (físicas, químicas y biológicas) mediante el análisis estadístico de comparación tukey con un P=5% utilizando el programa de InfoStat versión 2021.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Parámetros físicos

Tabla 6. Resultados de los parámetros físicos del suelo en todos los sistemas agroecológicos y convencional.

Variable	Textura			Color		Da	Dr	Porosidad	EAS
	Arena	Limo	Arcilla	Seco	Humedo				DMP
Sistema	%	%	%			g/cm ⁴	g/ml	%	%
Cacao	52,4	24,7	22,9	Marrón	Marrón muy oscuro	1,4	2,3	39,1	1,44
Agroforestal	50,9	28,7	20,4	Marrón	Marrón Oscuro	1,6	2,4	34,2	2,07
Pastos I	59,1	29,1	11,9	Marrón	Gris muy oscuro	1,4	2,5	42,5	3,13
Pastos II	53,3	26,1	20,5	Marrón	Gris muy oscuro	1,5	2,3	35,8	2,77
Silvopastoril	56,5	29,7	13,7	Marrón	Marrón muy oscuro	1,5	2,3	37,6	2,87
Forestal	55,7	26,9	17,3	Marrón grisáceo	Marrón muy oscuro	1,4	2,4	41,8	1,89
Inga	58,0	24,7	17,3	Marrón	Gris muy oscuro	1,5	2,3	34,9	2,58
Maiz y Ayote	52,9	26,7	20,4	Marrón	Marrón grisáceo muy oscuro	1,6	2,2	27,6	1,92
Hortalizas	55,5	30,1	14,4	Marrón	Marrón grisáceo muy oscuro	1,3	2,3	45,2	1,21
Barbecho	50,8	30,9	18,4	Marrón grisáceo	Marrón muy oscuro	1,5	2,4	40,2	2,54
Invernadero	51,3	32,3	16,4	Marrón	Marrón muy oscuro	1,6	2,3	32,4	2,06
Agricultura Convencional	52,4	27,2	20,4	Marrón	Marrón muy oscuro	1,4	2,4	39,5	1,9

5.1.1. Porcentajes texturales

Las texturas de suelos más predominantes que se encontraron en los sistemas agroecológicos de la finca de la UNAG, son mayormente suelos con altos contenidos de partículas de arena como se observa en la (Figura 4) ya que todos los suelos de los sistemas rondan en 50.80% que presenta el área de barbecho, el sistema de pastos I presento el porcentaje más alto de arena con 59.07%, mientras que el porcentaje más alto de limo se localizó en el invernadero con 32.7% y el nivel más bajo de limo se observó en el sistema inga con 24.67%, los porcentajes de arcilla fueron los más bajos en todos los sistemas estudiados en comparación con la arena y el limo, los niveles rondan en 11.87% a 22.93% de partículas de arcilla presente el suelo.

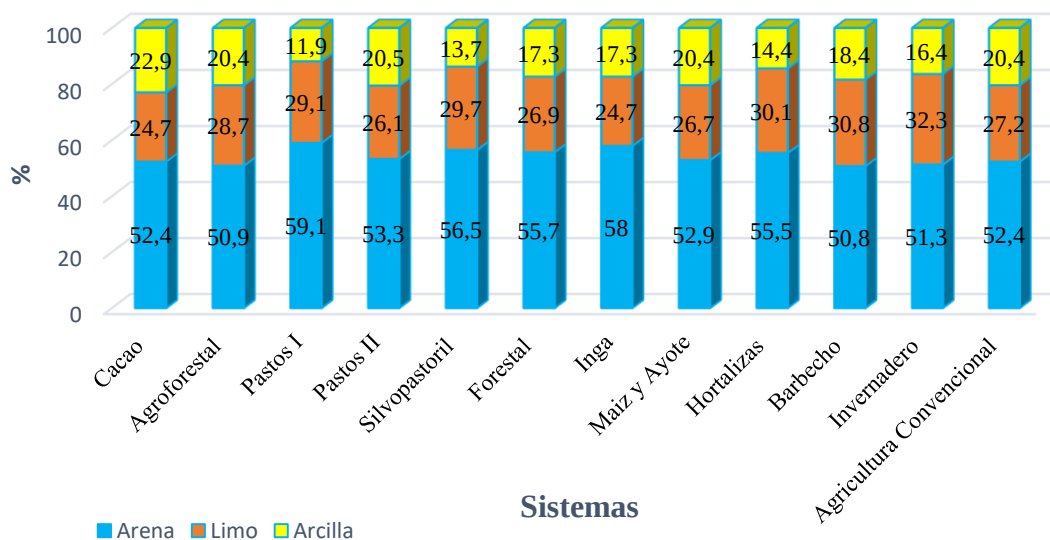


Figura 4 Porcentajes de arena, limo y arcilla de los suelos en los diferentes sistemas de producción en la finca agroecológica de la UNAG Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).

Debido a que estos suelos en su gran mayoría presentan una textura franca con alto contenido de arena, se consideran como suelos ligeros, dada su escasa plasticidad y facilidad para trabajarlos de manera sostenible, de igual forma presentan una excelente aireación debido a que las partículas dominantes de gran tamaño facilitan la penetración del aire. Únicamente cuando se producen lluvias intensas se puede producir encharcamiento o escorrentía dependiendo la cantidad, momento en el que la erosión laminar es muy importante. La acumulación de materia orgánica es baja y el lavado de los elementos minerales es elevado, de la misma manera las texturas francas al tener un mayor equilibrio entre sus componentes, gozan de los efectos favorables, por lo que estos sistemas presentan un estado ideal debido a esta textura franca (Gisbert *et al.* 2008).

Al comparar los porcentajes de las texturas los suelos franco arenoso, franco arcillo arenoso y suelos francos, se demostró que estos suelos fueron los que más se predominaron en los diversos agroecosistemas de la finca, considerándose así suelos de textura media (normal) tal como nos indica la (tabla 1), asimismo como nos resalta (Hossne García *et al.* 2009) estos suelos que presentan estas características texturales son indicadores del buen desarrollo de las raíces para los cultivos anuales o perennes, contribuyendo a la facilidad del desarrollo fisiológico de los cultivos que se presentan en los sistemas agroecológicos.

5.1.2. Estructura

Los resultados obtenidos en la tabla (Tabla 7) demuestra que las estructuras encontradas en los suelos de los diferentes sistemas agroecológicos de la finca en la UNAG, principalmente son de categoría en estructuras de bloques subangulares con un diámetro de partículas que se puede considerar bueno porque ronda de 5-10 mm de diámetro, predominante en la mayoría de sistemas agroecológicos y el convencional a diferencia del sistema de cacao que presento un diámetro medio de (10-20 mm de diámetro) pero con la misma categoría estructural.

Tabla 7 Estructuras y diámetros que se presentan en los suelos de los sistemas de la finca agroecológica y el área de agricultura convencional de la UNAG.

Sistema	Estructura	Diámetro
Sistema de Cacao	Estructuras de bloques subangulares	Medio (10-20 mm, diámetro)
Sistema Agroforestal	Estructuras de bloques subangulares	Bien (5-10 mm, diámetro)
Sistema de Pastos I	Estructuras de bloques subangulares	Bien (5-10 mm, diámetro)
Sistema de Pastos II	Estructuras de bloques subangulares	Bien (5-10 mm, diámetro)
Sistema Silvopastoril	Estructuras de bloques subangulares	Bien (5-10 mm, diámetro)
Sistema Forestal	Estructuras de bloques subangulares	Bien (5-10 mm, diámetro)
Sistema Inga	Estructuras de bloques subangulares	Bien (5-10 mm, diámetro)
Sistema de Maíz y Ayote	Estructuras de bloques subangulares	Bien (5-10 mm, diámetro)
Sistema de Hortalizas	Estructuras de bloques subangulares	Muy bien (menos de 5 mm, diámetro)
Sistema de Barbecho	Estructuras de bloques subangulares	Bien (5-10 mm, diámetro)
Sistema de Invernadero	Estructuras de bloques subangulares	Bien (5-10 mm, diámetro)
Sistema de Agricultura Convencional	Estructuras de bloques subangulares	Bien (5-10 mm, diámetro)

Este tipo de partículas con estructura subangulares presenta poliedros de caras planas y redondeadas, con la carencia de ángulos agudos, es propia de horizontes A, bajos en niveles de materia orgánica y de la parte superior de los horizontes B. Posee bloques relativamente grandes indican que el suelo resiste la penetración y el movimiento del agua. (Ramón *et al.* 2010).

Rivera *et al.* (2023) en su investigación nos indica que en la estructura de bloques subangulares los agregados estructurales no están desarrollados firmemente y la cohesión del material edáfico es moderadamente débil. Por lo que casi siempre se observan grietas verticales en las caras de los agregados que siguen una línea aproximadamente recta u oblicua, poco traslapo en los agregados estructurales. Los poros suelen ser algo grandes y numerosos.

5.1.3. Color

Los colores de suelo analizados en estado seco y húmedo por medio de la Tabla Munsell, se clasificaron de la siguiente manera, como se puede observar en la (Tabla 8). Se distinguieron en seco principalmente los colores Marrón el cual fue el que más se observó (en 10 sistemas) y el color Marrón Grisáceo el cual se encontró solamente en dos sistemas. Mientras que el análisis de color del suelo en estado húmedo salió muy variado ya que se observaron los colores de marrón muy oscuro (6 sistemas), gris muy oscuro (3 sistemas) y Marrón grisáceo muy oscuro (2 sistemas) y marrón oscuro (1 sistema).

Tabla 8 Colores que presentan los suelos de los sistemas agroecológicos de la finca y el área de agricultura convencional, en estado húmedo y seco.

Sistemas	Suelo Seco	Color	Suelo Húmedo	Color
Cacao	7.5 YR 4/2	Marrón	7.5 YR 2.5/2	Marrón muy oscuro
Agroforestal	7.5 YR 5/2	Marrón	7.5 YR 3/2	Marrón Oscuro
Pastos I	7.5 YR 5/3	Marrón	5 YR 3/1	Gris muy oscuro
Pastos II	7.5 YR 5/3	Marrón	5 YR 3/1	Gris muy oscuro
Silvopastoril	7.5 YR 4/3	Marrón	7.5 YR 2.5/2	Marrón muy oscuro
Forestal	10 YR 5/2	grisáceo	10 YR 2/2	Marrón muy oscuro
Inga	7.5 YR 5/2	Marrón	5 YR 3/1	Gris muy oscuro
Maíz y Ayote	7.5 YR 5/2	Marrón	10 YR 3/2	Marrón grisáceo muy oscuro
Hortalizas	7.5 YR 5/2	Marrón	10 YR 3/2	Marrón grisáceo muy oscuro
Barbecho	10 YR 5/2	grisáceo	7.5 YR 3/2	Marrón muy oscuro
Invernadero	7.5 YR 5/2	Marrón	7.5 YR 2.5/2	Marrón muy oscuro
Agricultura Convencional	10 YR 5/3	Marrón	10 YR 3/3	Marrón muy oscuro

Normalmente el color marrón está muy asociado a estados iniciales a intermedios de transformación del suelo, y se relaciona con niveles medios a bajos de materia orgánica disponible en el suelo. En general se relaciona con la ocurrencia de materia orgánica ácida parcialmente descompuesta y combinaciones de óxidos de Fe más materiales orgánicos. Mientras que un suelo de color marrón muy oscuro puede indicar un alto contenido de materia orgánica muy descompuesta, debido a ello, la descomposición de la materia orgánica puede dar lugar a la formación de compuestos oscuros, lo que contribuye al color oscuro del suelo (Fertilab 2018).

5.1.4. Densidad Aparente (Da)

Según el análisis estadístico comparativo de Tukey realizado en Infostat nos expresa que en la densidad aparente de los diferentes sistemas agroecológicos de la finca, no representan ninguna diferencia significativa en los sistemas estudiados, en la cual como se puede observar en la (figura 5), el nivel más alto de Da lo posee el sistema de maíz y ayote con 1.59 g/cm³, asimismo, el nivel más bajo se encuentra en el sistema de hortalizas con un nivel de 1.28 g/cm³ de densidad aparente, pero sin tener diferencia significativa.

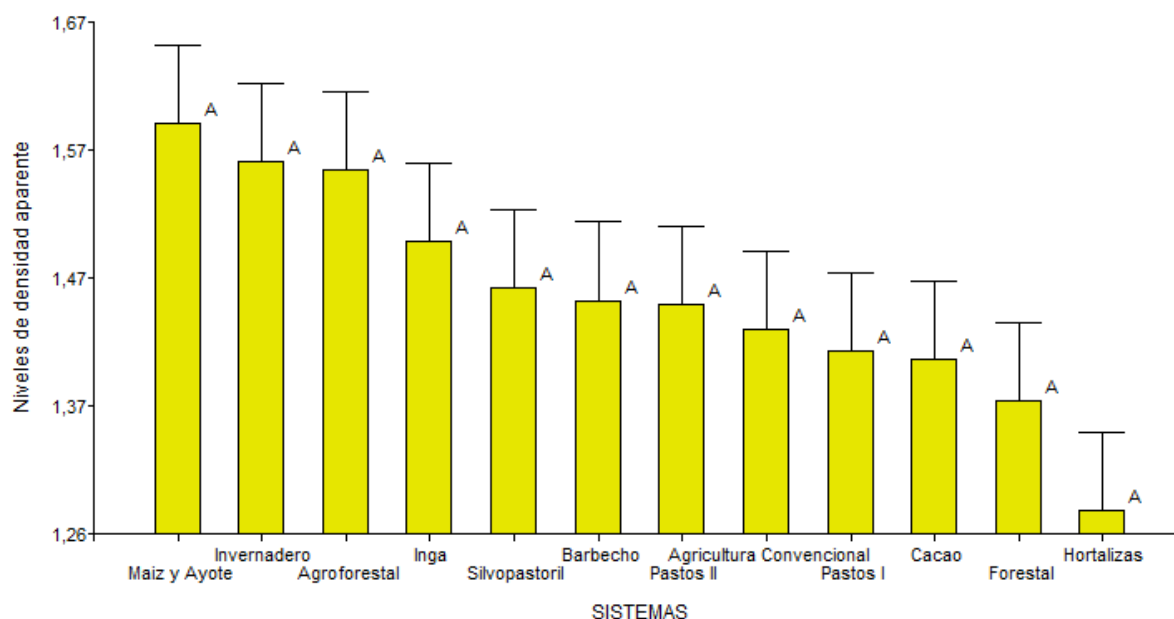


Figura 5. Niveles de densidad aparente en el suelo que se presentan en los sistemas agroecológicos de la finca. Las barras que presentan misma letra son estadísticamente iguales según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).

Estos sistemas bajo estudio presentan una densidad aparente ideal para los agroecosistemas ya que si el nivel ronda a 1 a 1.5 nos indica que hay poca compactación de suelo, por esta razón, facilita el crecimiento, el desarrollo de los cultivos orgánicos tanto anuales como perennes de los diferentes sistemas y se obtiene una mejor infiltración de agua (Jimenez 2009).

Teniendo en cuenta la textura franca con altos contenidos de arena encontrados en esta investigación, se pueden determinar los resultados de una densidad aparente (D_a) de aproximadamente $1,2 \text{ g/cm}^3$. Además, se observó que la densidad aparente ideal en estos agroecosistemas puede estar directamente relacionada con el contenido de materia orgánica y su efecto biofísico en los suelos. La presencia de materia orgánica favorece la regulación de la densidad aparente de estos suelos, lo que puede tener un impacto positivo en su estructura y capacidad de infiltración de agua (Castillo 2005).

5.1.5. Densidad Real

El análisis estadístico comparativo Tukey nos indica que hay una pequeña diferencia significativa en el análisis de la densidad real entre el sistema de pastos I el cual presenta una media de $2,45 \text{ g/ml}$ de (D_r) y el sistema de maíz y ayote que presenta una media de $2,20 \text{ g/ml}$ de (D_r), pero es poca la diferencia significativa de densidad real en los suelos que poseen los sistemas agroecológicos de la finca y el sistema convencional en estudio.

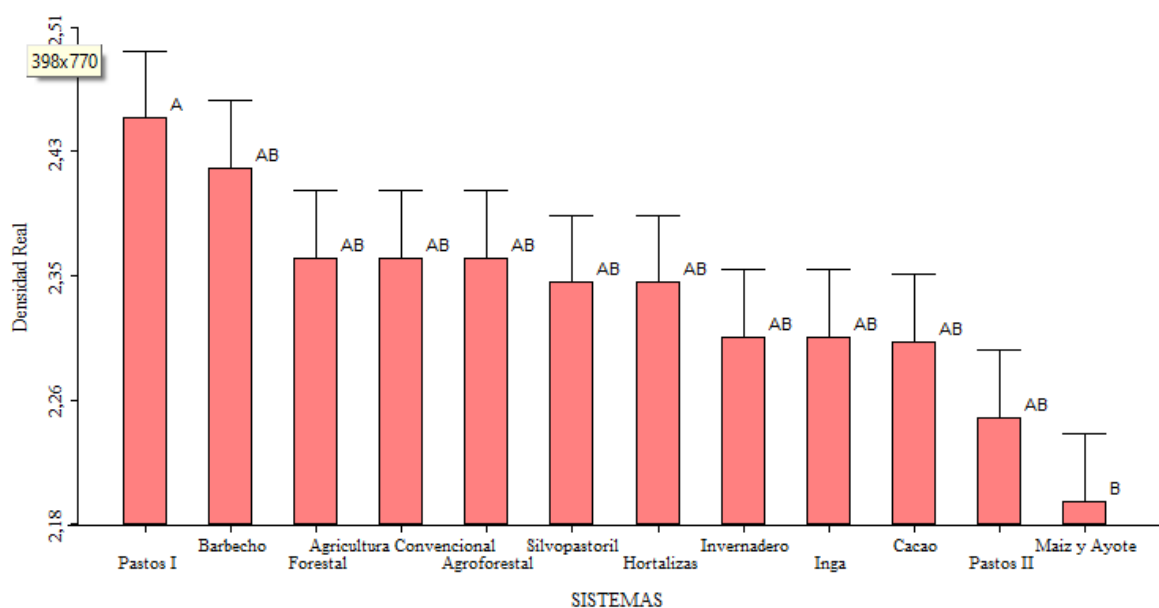


Figura 6 Niveles de densidad real en el suelo que se presentan en los sistemas agroecológicos de la finca. Las barras que presentan misma letra son estadísticamente iguales según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).

Sin embargo, estos niveles de densidad real que poseen estos suelos son normales para que los cultivos en los sistemas en estudio, porque permite un buen drenaje del agua y una buena aireación del suelo, lo cual es importante para el crecimiento saludable de las plantas.

5.1.6. Porosidad

Según el análisis estadístico comparativo Tukey realizado en Infostat nos muestra que hubo diferencia significativa en los sistemas de Hortalizas con una porosidad media de 45.57% el cual se considera un nivel alto a diferencia con el sistema de maíz y ayote con un 27.56% de porosidad considerado un nivel alto según la (tabla 2) aunque fue el porcentaje más bajo de todos los sistemas establecidos como se puede observar en la (Figura 7).

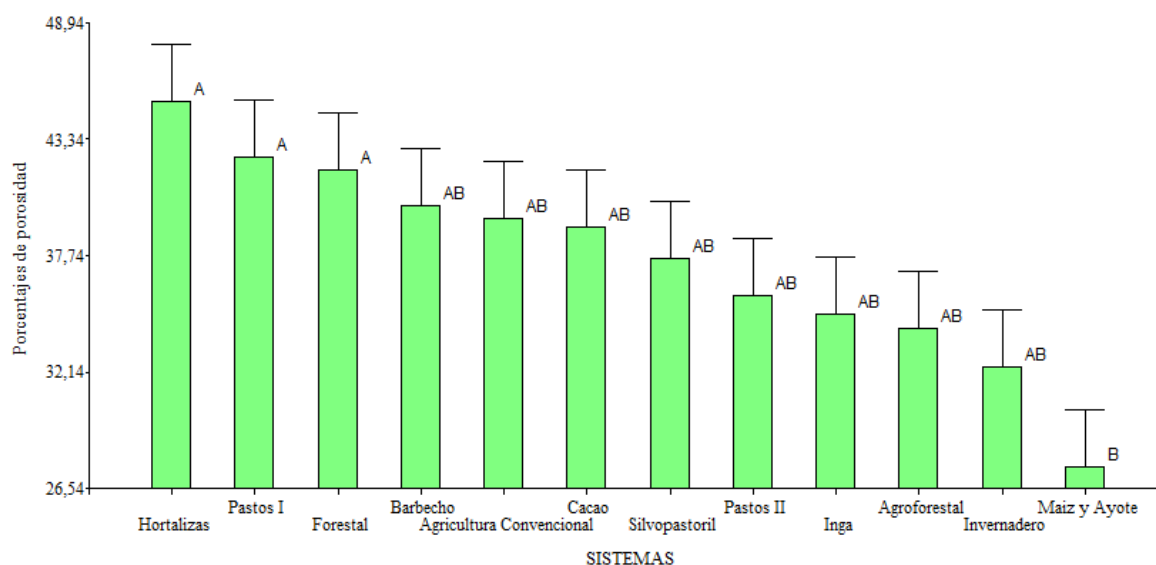


Figura 7 Porcentajes de porosidad de suelos que se presentan en los sistemas de la finca. Las barras que presentan misma letra son estadísticamente iguales según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).

Según la (Tabla 2 de clasificación de la porosidad del suelo de la FAO 2009) nos indica que la mayoría de los sistemas estudiados poseen una porosidad alta y muy alta en los suelos, esto se justifica debido a las óptimas densidades aparentes y con las texturas apropiadas (francas) presentes en los suelos de los sistemas agroecológicos. La porosidad como se ha mencionado anteriormente determina la aireación, almacenamiento y flujo de agua en el suelo, asimismo también influye en la penetración de las raíces, permite una mejor circulación de nutrientes y favorece actividad aeróbica microbiana y de fauna edáfica. Por lo que son evaluadas positivamente aquellos suelos con altos porcentajes de porosidad ya que esto favorece en gran medida a los agroecosistemas productivos (Ortega 1995).

5.1.7. Estabilidad de los Agregados

En la figura 8 se observan los niveles de la estabilidad de agregados que se reconocieron en los sistemas estudiados en el cual el sistema de pastos I presento el nivel más alto de estabilidad con un porcentaje medio de 3,13% el cual se puede considerar un suelo estable, en cambio el sistema de hortalizas solamente presento un 1.21% de estabilidad de agregados y se puede considerar un suelo ligeramente estable. pero todos los sistemas andan rondando en estos valores aproximadamente.

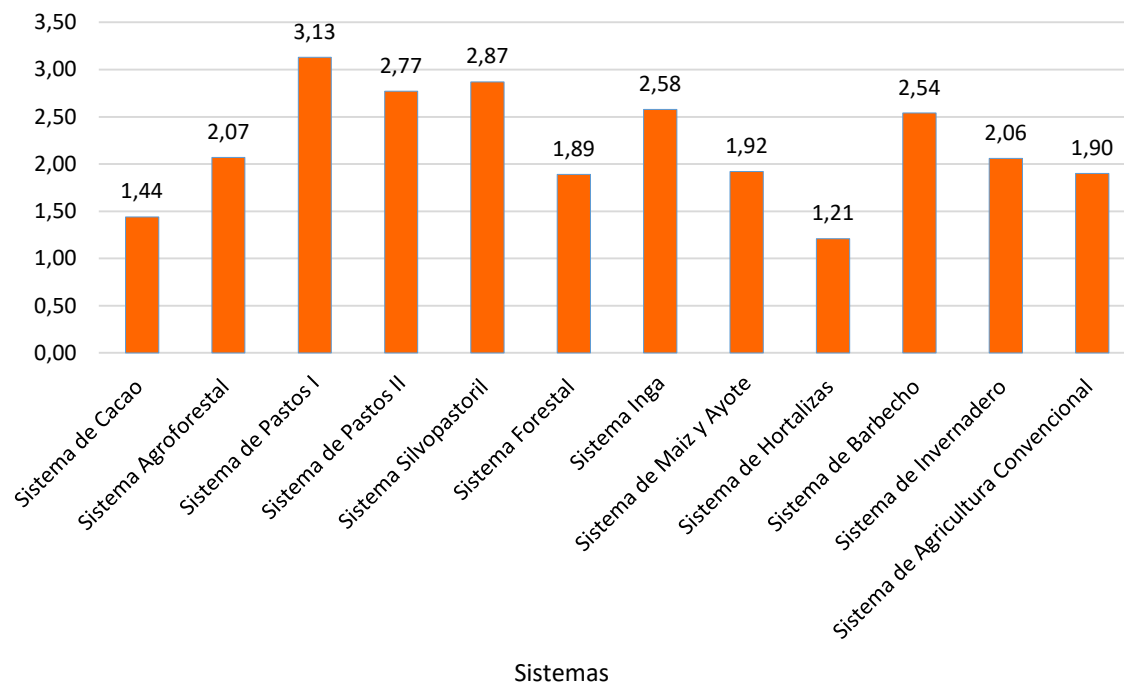


Figura 8 Porcentajes de la estabilidad de los agregados del suelo que se presentan en los sistemas de la finca, los niveles se clasifican según la tabla 3 de EAS.

La mayoría de los sistemas mostraron un nivel moderado de estabilidad de suelos (9 sistemas de 12), los demás sistemas presentaron un nivel ligeramente estable (2 sistemas), y solo en el sistema de pastos I resulto estable. Por lo tanto, todas las zonas estudiadas se podrían considerar que poseen una estabilidad de los agregados normal ya que no salieron en niveles muy altos ni en niveles muy bajos según la (Tabla 3) de la clasificación de la estabilidad de agregados del suelo.

Los suelos moderadamente estables poseen una capacidad razonable para mantener sus agregados unidos y esto es beneficioso porque contribuye a la salud formando estructuras porosas lo cual permite la buena circulación del agua, el aire y los nutrientes, lo cual es fundamental para el crecimiento de las plantas y la actividad de los organismos que habitan en los suelos, de la misma forma que contribuyen a evitar la erosión y que las partículas se desprendan. La estabilidad moderada de estos sistemas en estudio juegan un papel crucial porque ayuda de gran manera crecimiento saludable de las plantaciones agroecológicas y sostenibles (Cabria *et al.* 2002).

5.2. Parámetros Químicos

Tabla 9 Resultados de los parámetros químicos de suelo en todos los sistemas agroecológicos y convencional

Variable	pH	M.O	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu	Fe	CIC
Sistema		%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	cmol/kg
Cacao	7,0	2,2	0,11	8,78	908,4	1438,93	319,87	20,79	109,01	46,94	216,35	10,76
Agroforestal	7,7	1,7	0,09	20,66	865,1	1394,07	289,73	20,23	94,53	50,37	215,48	10,28
Pastos I	7,4	1,3	0,07	19,26	875,1	1660,13	214,4	16,69	143,48	51,48	147,85	11,52
Pastos II	8,2	3,0	0,15	74,17	1027,1	1341,4	345,87	20,72	68,24	52,8	233,3	10,85
Silvopastoril	7,5	2,5	0,12	13,66	927,5	1526,47	216,13	17,12	103,5	54,64	166,63	11,13
Forestal	6,6	2,7	0,13	11,3	938,6	1579,67	259,53	16,25	94,09	54,67	307,48	11,53
Inga	6,5	2,5	0,12	10,21	989,9	1579,4	284,27	19,59	88,76	54,23	167,85	11,57
Maiz y Ayote	7,4	2,1	0,11	21,01	941,5	1459,4	302,07	17,7	77,47	56,38	294,83	10,87
Hortalizas	7,8	2,2	0,11	29,03	917,5	1462,93	234,93	18,91	92,74	57,83	188,4	10,51
Barbecho	7,5	2,8	0,14	41,03	968,1	1416	272,33	19,77	108,5	58,56	299,8	10,63
Invernadero	8,0	2,9	0,15	39,6	1018,7	1356,13	273,53	17,9	116,89	59,41	177,15	10,49
Agricultura Convencional	6,8	2,8	0,14	34,34	952,4	1568,53	275,2	17,28	126,13	61,03	289,43	11,41

5.2.1. pH del suelo

El análisis estadístico comparativo Tukey realizado en Infostat nos indica que encontró diferencia significativa en los sistemas de Pastos II con una media de 8.22 de pH el cual presenta un nivel considerado moderadamente alcalino, en comparación con el sistema Inga que presento un nivel más bajo el cual es 6.55 y se puede considerar un suelo con nivel de pH neutro (normal) como se ve reflejado en la (figura 9). Asimismo, la gran mayoría de agroecosistemas presentaron un pH más alto del rango medio por lo cual se representa como suelos moderadamente alcalinos, esto se vio reflejado en 8 de 12 sistemas en estudio, como lo demuestra la (Tabla 4) de niveles de pH mientras que los otros 4 sistemas presentaron un rango de pH neutro.

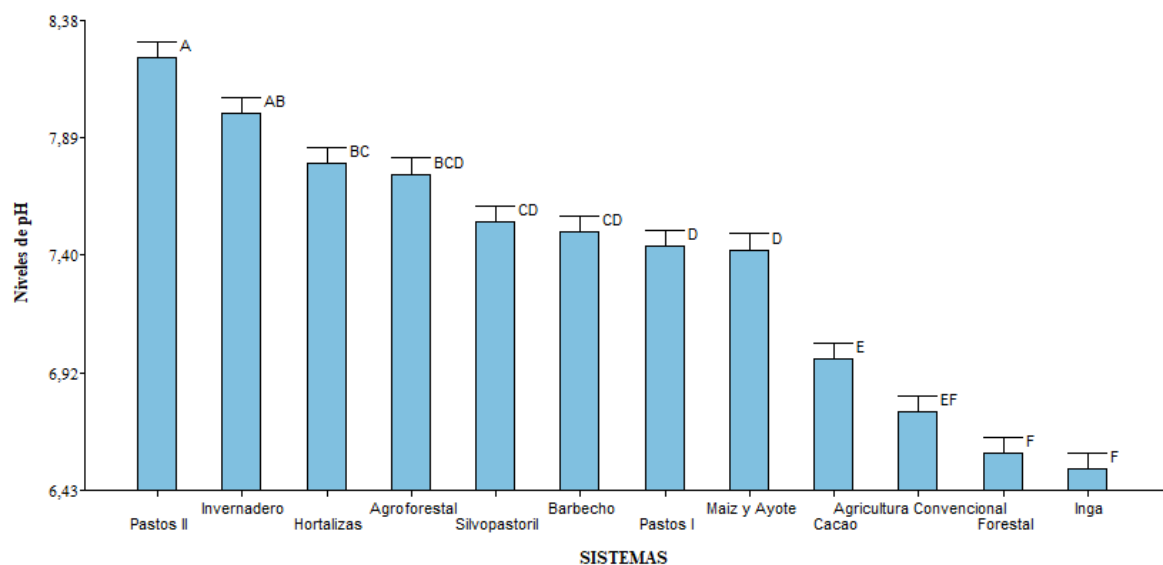


Figura 9 Niveles de pH en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan diferentes letras no son iguales estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).

Los suelos con un pH moderadamente alcalino, pueden contener sales como el carbonato de sodio en grandes cantidades, pueden afectar la disponibilidad de nutrientes para las plantas en diferentes sistemas agroecológicos. Esto puede llevar a dificultades para que las raíces de las plantas absorban agua y nutrientes de manera eficiente, lo que a su vez puede provocar un crecimiento atrofiado, síntomas de deficiencia de nutrientes y una disminución en el rendimiento de las plantaciones sostenibles. Esta situación puede ser el resultado de la pobre aplicación de enmiendas orgánicas nitrogenados en los sistemas que lo necesitan y el bajo nivel de materia orgánica presente en el suelo.

García Realpe (1994), nos recomienda algunas prácticas para la reducción de la alcalinidad de suelos como el uso de genotipos con habilidades naturales para obtener Fe y Zn de la solución del suelo, empleo de medios físicos (pre-inundaciones), implementación de labranza mínima, Manejo adecuado de agua y drenaje, la aplicaciones de sulfato de hierro y cinc en las hojas del cultivo y la aplicación de ácido sulfúrico, azufre, cloruro de calcio, yeso agrícola, sulfato ferroso, sulfato de aluminio, polisulfuro de calcio u otros productos de origen orgánico como conchilla marina molida o espumas derivadas de la industria azucarera. Es necesario la aplicación constante de fertilizantes nitrogenados de base orgánica en todos los sistemas agroecológicos productivos que lo necesiten como los estiércoles, composta, abonos verdes entre otros que puedan colaborar a la reducción del alto nivel de pH presente.

5.2.2. Materia Orgánica (MOS)

Como nos muestra el análisis estadístico comparativo Tukey realizado en Infostat donde se encontró diferencia significativa en los niveles de materia orgánica que se representan en los sistemas. El nivel más alto de materia orgánica lo representa el sistema de pastos II con una media de 2.99%, este nivel alto en comparación con los demás agroecosistemas es debido a que anteriormente era un sistema de hortalizas el cual era sometido a muchas tensiones de enmiendas orgánicas ricas en M.O.

Mientras tanto el nivel más bajo se ve reflejado en el sistema de pastos I con una media de 1.34% de materia orgánica, como nos representa la (figura 10).

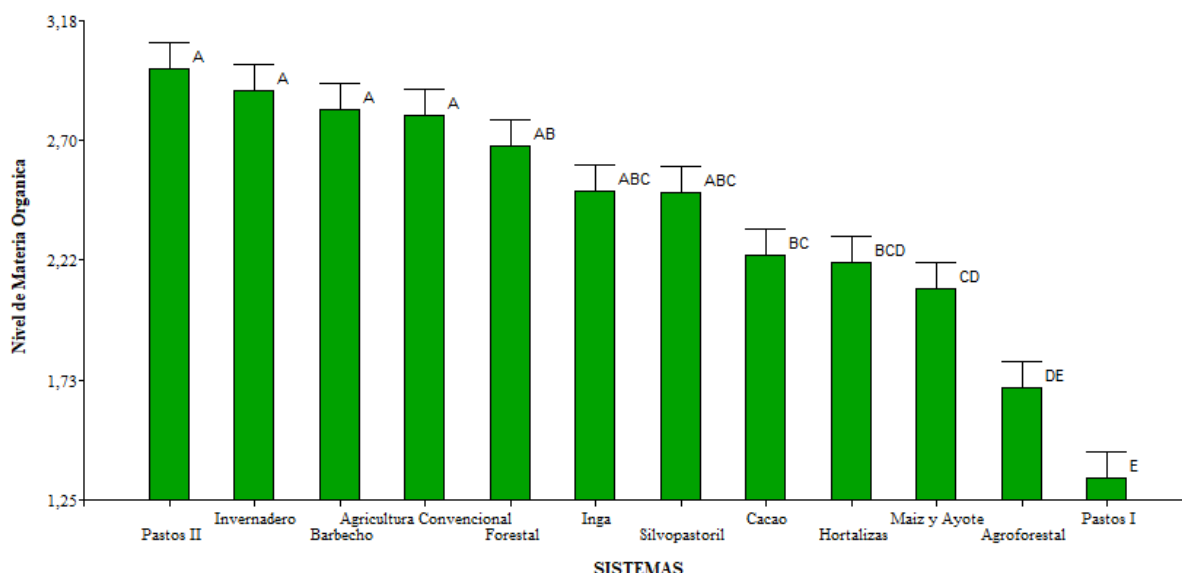


Figura 10 Niveles de Materia Orgánica en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).

Los suelos de todos los sistemas en estudio resultaron con un nivel bajo de materia orgánica disponible en el suelo como se puede observar en la (Figura 10), ya que tal como nos muestra la (tabla 5) de niveles de contenido de M.O, los suelos que posean un nivel de $<3\%$ son considerados bajos en porcentaje de materia orgánica disponible, debido a que los niveles óptimos o normales deben tener un contenido de 4-5 % de M.O para ser distinguidos de buen nivel.

La materia orgánica del suelo (MOS) desempeña un papel fundamental en el mantenimiento y la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El bajo nivel de materia orgánica presente en estos sistemas puede depender de varios factores, como el nivel de pH alcalino, que puede influir en la capacidad del suelo para retener nutrientes.

Además, la falta de aplicación de enmiendas orgánicas al suelo, como compost, estiércol o restos de cultivos verdes, también puede contribuir a este bajo nivel de materia orgánica. De igual forma, otra causa de este bajo nivel puede ser que anteriormente la finca no era agroecológica por lo cual se mantenía el uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas, así como la labranza intensiva, dichas prácticas pueden haber disminuido el contenido de materia orgánica disponibles en estos sistemas estudiados.

Se pueden implementar algunas de las prácticas sostenibles para mejorar el nivel de materia orgánica en el suelo como el uso de estiércol animal ya que se puede utilizar de manera efectiva en combinación con otras prácticas sostenibles, estos aportan nutrientes importantes para las plantas, como nitrógeno, potasio y fósforo, al suelo, mejorando su calidad, aumento de la aplicación de compostaje para aumentar la materia orgánica del suelo y la rotación de cultivos porque al variar diferentes cultivos en una misma área, se promueve la diversidad de residuos vegetales y se fomenta la actividad microbiana en el suelo, lo que contribuye a la acumulación de materia orgánica (Docampo 2014).

5.2.3. Nitrógeno (N)

En la (Figura 11) se muestran los resultados de los suelos tanto en los sistemas agroecológicos de la finca de la UNAG, como en el sistema de agricultura convencional. En los cuales según el análisis estadístico Tukey nos muestran que hay diferencia significativa entre los sistemas de Pastos II, Invernadero, Barbecho y agricultura convencional en los que se encontró el nivel más alto de Nitrógeno disponible en el suelo con un porcentaje medio de 0.15, a diferencia del sistema de pastos I el cual presentó un nivel más bajo con una media de 0.07% de nitrógeno total, todas las concentraciones de N en todos estos agroecosistemas son considerados de rango bajo debido a que los suelos con nivel normal de N deberían ostentar de 0.20 a 0.30 de N disponible.

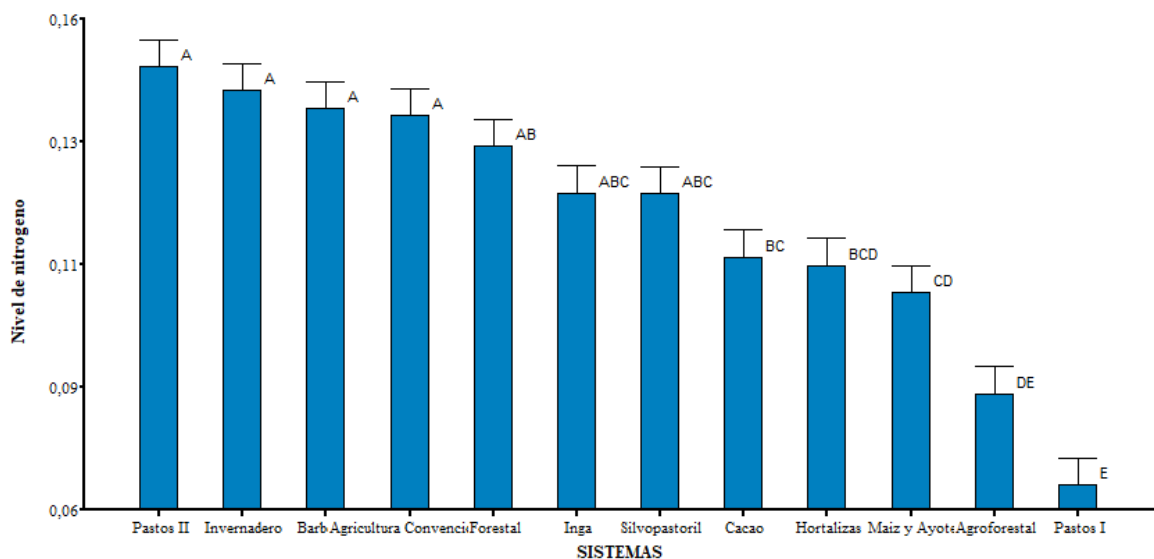


Figura 11 Nitrógeno total del suelo en los diferentes sistemas estudiados, obedeciendo al método que el 5% de la materia orgánica es nitrógeno. Las barras que presentan desigualdad de letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).

Este nutriente de suelo es muy importante para el desarrollo correcto de los cultivos que están presentes en los agroecosistemas, ya que todas las plantas lo necesitan para el crecimiento vegetal, el sistema de pastos I y el sistema agroforestal son los que resultaron con más bajo nivel de N en comparación con los demás, esto puede deberse a la poca disponibilidad de restos orgánicos en descomposición y también a que es un elemento muy demandado por todas las plantas en grandes cantidades (Perdomo y Barbazán 2007).

La mayoría de sistemas estudiados presentan rangos bajos de N total disponible en el suelo, por lo cual es importante seguir utilizando abonos orgánicos, como estiércol o compost en los sistemas que presentan un nivel adecuado porque pueden mejorar la fertilidad del suelo y aumentar el contenido de nitrógeno en mayor cantidad, así mismo estos materiales liberan gradualmente nutrientes, incluido el nitrógeno, a medida que se descomponen, lo que proporciona una fuente sostenible de nutrientes para las plantas.

Los sistemas que presentan un porcentaje bajo de nitrógeno es necesario aumentar los niveles mediante diferentes prácticas como el uso de leguminosas que proporcionan buen nivel de nitrógeno y también la aplicación de abonos orgánicos, como gallinaza o porquinaza, con el fin de aumentar el contenido de este nutriente en el suelo de estos sistemas que lo necesitan (Perdomo y Barbazán 2007).

5.2.4. Fósforo (P)

El análisis estadístico comparativo Tukey nos indica que se refleja diferencia significativa entre los sistemas ya que el sistema Forestal, Inga y Cacao presentan un valor menor de 13 mg/kg, en cambio el sistema de pastos II presenta el nivel más alto de P disponible con una media 74.17 mg/kg el cual es un rango muy alto en comparación con los rangos normales de fósforo los cuales deberían ser de 13 a 30 mg/kg de P disponibles en el suelo. Este rango elevado que presenta este sistema en comparación con los demás agroecosistemas es debido a que anteriormente hace 8 años este era un sistema de hortalizas en el cual aplicaban muchas tensiones de enmiendas orgánicas ricas y caldos sulfocálcicos muy ricos de base fosfórica.

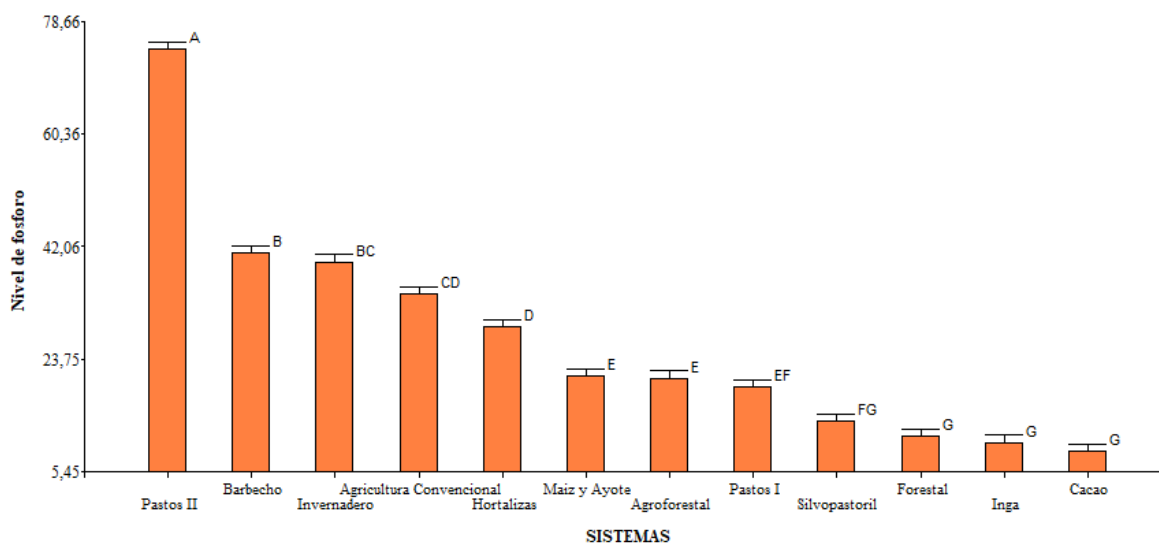


Figura 12. Niveles de fosforo en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).

En la (Figura 12) los suelos de los sistemas de Silvopastoril, Pastos I, Agroforestal, Maíz y Ayote, y Hortalizas presentan un nivel adecuado de P, mientras que los sistemas de Agricultura Convencional, Invernadero, Barbecho y pastos II son los que presentaron un nivel alto de fosforo que sobrepasan los 30 mg/kg, mientras que el sistemas Forestal, Inga y Cacao muestran un rango bajo, porque lo que dichos sistemas necesitan mejorar el rango de este nutriente tan importante para el crecimiento fisiológico adecuado de las plantas.

Los altos contenidos de P no perjudican directamente a los cultivos, pero pueden tener diferentes efectos dependiendo del contexto, como la presencia de la disponibilidad de otros nutrientes como el hierro, nitrógeno o zinc los cuales son muy importantes para todas las plantas, por lo que es necesario adaptar estas estrategias a las condiciones específicas de estos suelos y los cultivos, además, es fundamental seguir las prácticas de manejo sostenible y no sobre aplicar abonos orgánicos que contengan altos contenido de fosforo para tener un equilibrio y rango normal. Para los sistemas que presentan un nivel bajo de fosforo es necesario aplicar las cantidades necesarias de estiércol porque son una fuente natural de fósforo para el suelo. Al incorporar estiércol en el suelo, se puede mejorar la calidad y fertilidad del mismo, lo que contribuye al aumento de los niveles de fósforo.

5.2.5. Potasio (K)

Los resultados en la (Figura 13) muestran que en todos los suelos de todos los sistemas en estudio presentan niveles muy altos, ya que todos están con una media de 865.10 mg/kg para arriba y el rango normal es de 150 a 250 mg/kg de K disponible en el suelo, el sistema de pastos II es el que presenta la concentración más alta de K, este nivel alto que presenta esta zona en comparación con los demás agroecosistemas es debido a que anteriormente era un sistema de hortalizas el cual era sometido a muchas tensiones a diversas enmiendas orgánicas ricas en potasio.

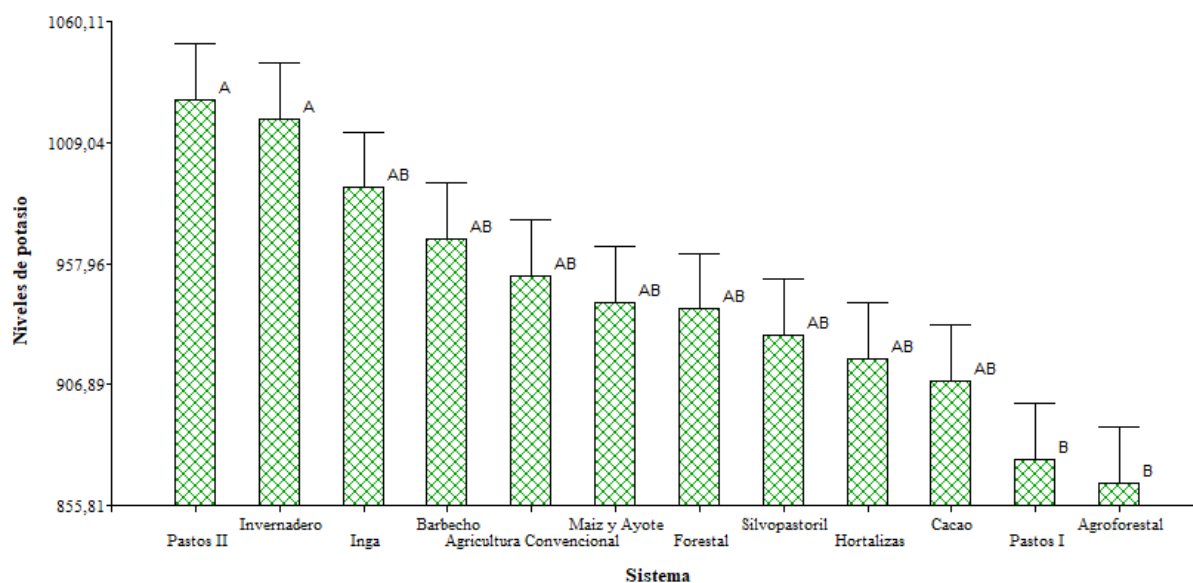


Figura 13 Niveles de Potasio que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=2$).

Según Sanzano (2010) Estos niveles tan altos pueden ser porque algunos suelos pueden tener niveles naturalmente altos de potasio debido a los minerales presentes en las rocas madre del suelo o también porque anteriormente esta finca antes de ser agroecológica realizaba aplicaciones en exceso de enmiendas o fertilizantes específicos que contienen altas cantidades de potasio que pudieron aumentar los niveles de este nutriente en el suelo.

debido a ello, sería muy bueno manejar algunas plantas que tengan una mayor capacidad para absorber y utilizar el potasio del suelo, al elegir cultivos correctos que sean menos sensibles al exceso de potasio y que puedan ayudar a reducir los niveles en el suelo. agregando a lo anterior, también sería necesario realizar análisis de suelo periódicos para monitorear los niveles de nutrientes y ajustar las prácticas de manejo sostenibles según sea necesario para lograr un nivel adecuado de este nutriente en todos los suelos de estos agroecosistemas.

Los niveles altos de potasio en el suelo pueden provocar antagonismo con otros elementos en el cual principalmente puede agravar la deficiencia de calcio (Ca) y magnesio (Mg), producido por su conocido antagonismo entre estos elementos. Sin embargo, es importante resaltar que un nivel alto de potasio no suele ser perjudicial para el crecimiento de las plantas, por lo que estos niveles altos de K que presentan los suelos no afectan a los diversos agroecosistemas (Intagri 2015).

5.2.6. Calcio (Ca)

Los resultados presentes en la (Figura 14), donde nos dice que se observa poca diferencia significativa, la media más alta de Ca concentrado en el suelo se mostró en el sistema de Pastos I con una media de 1660.13 mg/kg disponible en el suelo, el sistema de pastos II demuestra el nivel más bajo de Ca disponible en el suelo con una media de 1341.40 mg/kg

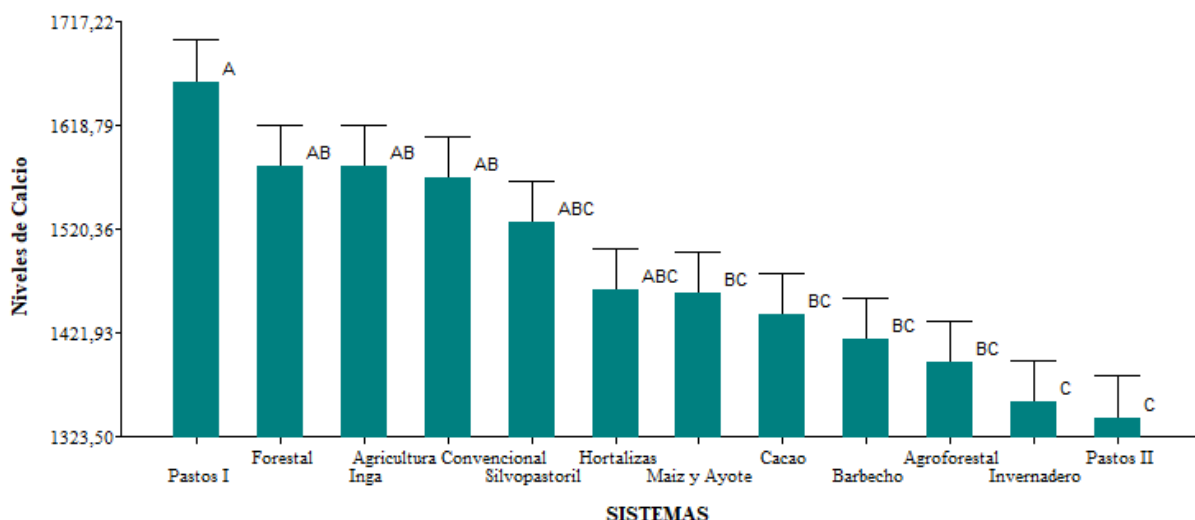


Figura 14 Niveles de Calcio en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).

La presencia de Ca en el suelo es esencial para crear y mantener la estructura de los suelos de los agroecosistemas, lo que permite que el aire y el agua penetren a través de los poros, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las raíces y facilitando la absorción de nutrientes y agua. Además, el calcio tiene diversas funciones dentro de los diversos cultivos, como la regulación de la división y el alargamiento celular, la translocación de carbohidratos, y señales fundamentales para el metabolismo vegetal, y la absorción de elementos nutritivos. La presencia adecuada de calcio en el suelo es crucial tanto para el suelo como para obtener un sistema eficiente y sostenible.

5.2.7. Magnesio (Mg)

Según el análisis estadístico comparativo Tukey nos indica que si se refleja diferencia en las concentraciones de magnesio disponible en el suelo de los diferentes sistemas estudiados como se representa en la (Figura 15). El sistema de pastos II muestra el nivel más alto de Magnesio con una media concentrada de 345.87 mg/kg de Mg disponible en el suelo, este nivel alto es debido a que anteriormente este era un sistema de hortalizas el cual era sometido a muchas tensiones de enmiendas orgánicas ricas en nutrientes para el suelo.

En cambio, el sistema de pastos y Silvopastoril muestran las medias más bajas con 214.40 mg/kg y 216,13 mg/kg de Mg concentrado en el suelo.

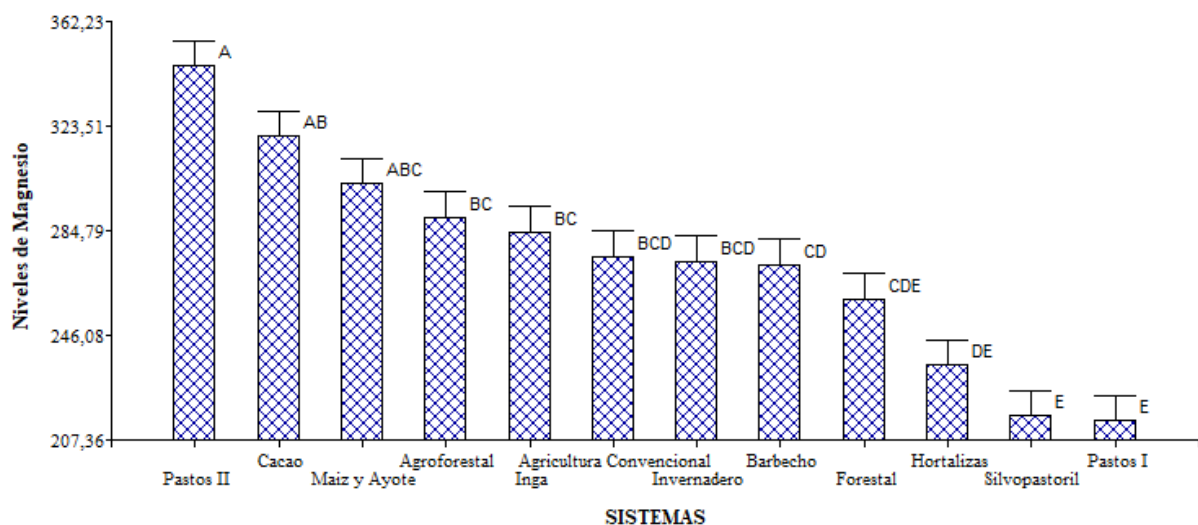


Figura 15 Niveles de Magnesio en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).

El magnesio en el suelo es fundamental para el crecimiento saludable de las plantas y tiene un impacto significativo en varios procesos fisiológicos y en la calidad del suelo, debido a ello es la gran importancia que posee este nutriente químico. un exceso de Mg en relación con el calcio puede disminuir la infiltración del suelo, de la misma forma, el elevado nivel de magnesio puede afectar la absorción de otros nutrientes, como el calcio y el potasio, lo que puede tener un impacto negativo en el crecimiento de las plantas. Por lo tanto, es importante monitorear y equilibrar los niveles de magnesio en el suelo para garantizar un ambiente óptimo para el crecimiento de los cultivos.

5.2.8. Zinc (Zn)

Según el análisis estadístico comparativo de Tukey realizado en Infostat nos demuestra que, en el análisis de los niveles del elemento de Zn en los diferentes agroecosistemas de la finca, no representan ninguna diferencia significativa en los sistemas estudiados. Como se demuestra en la (Figura 16) el sistema de cacao presento la media más elevada en comparación con los demás sistemas con 20.70 mg/kg concentrado en el suelo, en cambio el sistema forestal presento la media más baja con 16.25 mg/kg en el suelo, pero ninguno de los sistemas analizados presento alguna diferencia significativa.

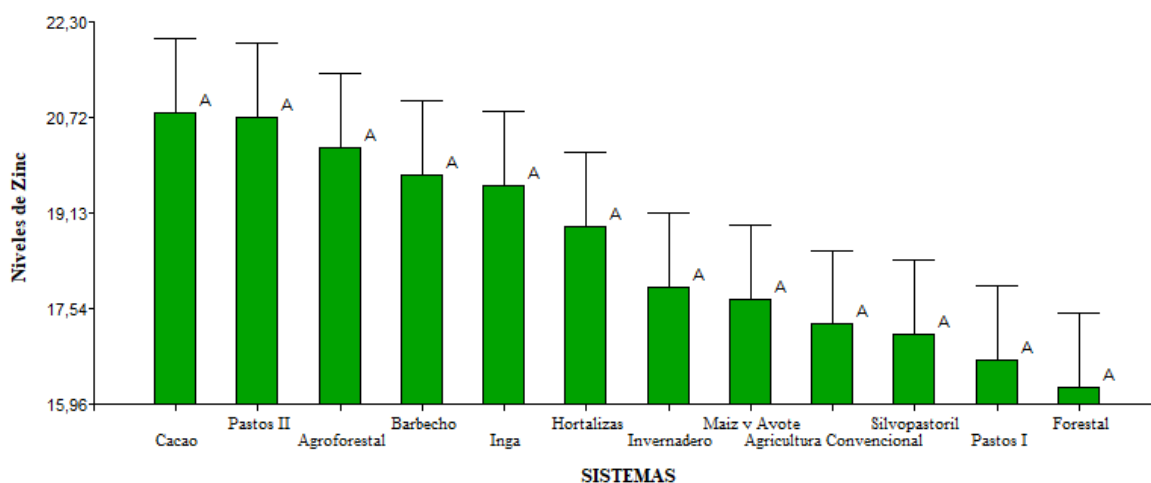


Figura 16 Niveles de Zinc en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=3$).

El zinc es un elemento vital para el desarrollo óptimo de las plantas y su ausencia puede afectar negativamente su salud y en los rendimientos de los sistemas agroecológicos. El exceso de zinc puede interferir con la absorción de otros nutrientes por parte de las plantas, como el hierro y el manganeso, lo que puede provocar deficiencias de estos nutrientes.

Además, los niveles excesivos de zinc en el suelo pueden ser tóxicos para las plantas, lo que se manifiesta en síntomas como amarillamiento de las hojas, disminución del crecimiento de las raíces y daño en la estructura de la planta. Por lo tanto, es importante monitorear y equilibrar los niveles de zinc en el suelo para garantizar un ambiente óptimo para el crecimiento de los cultivos.

5.2.9. Manganeso (Mn)

Según el análisis estadístico comparativo Tukey nos indica que si se refleja diferencia en los niveles de manganeso disponible del suelo en los diferentes sistemas estudiados como se observa en la (Figura 17). El sistema de pastos I presenta el nivel más alto de potasio con una media de 143.48 mg/kg por lo que se puede considerar que posee un rango alto de manganeso, en cambio el sistema de Pastos II presenta el nivel más bajo en comparación con los demás sistemas con una media de 68.24 mg/kg debido a ello este suelo se considera de rango medio en el nivel de manganeso disponible en el suelo.

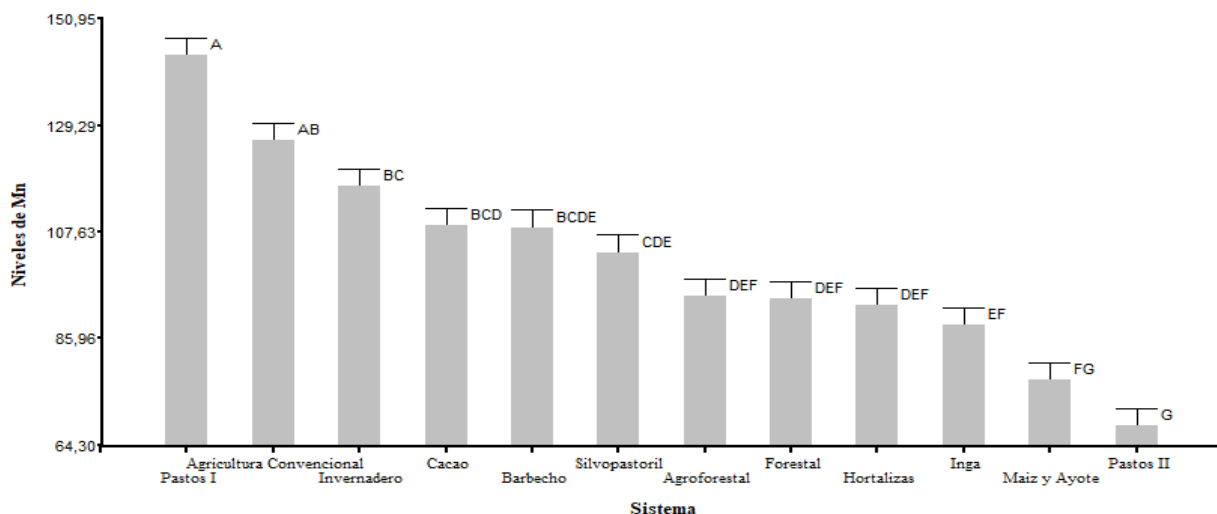


Figura 17 Niveles de Manganeso en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=2$).

En la (Figura 17) se representan los resultados en media de todos los sistemas agroecológicos de la finca de la UNAG y el sistema de agricultura convencional, 9 de 12 sistemas en estudio mostraron rangos medios de Manganeso según los rangos de concentración de Mn, por lo que los diversos cultivos presentes en estos sitios tienen a la disponibilidad suficiente de este nutriente para el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas. Por otra parte, 3 sistemas presentaron contenidos altos de manganeso los niveles altos pueden tener efectos negativos en su crecimiento y desarrollo de las plantas, al igual que puede causar toxicidad y provocar síntomas como clorosis (amarillamiento de las hojas), necrosis (muerte de tejidos) y disminución general en la salud de la planta.

5.2.10. Cobre (Cu)

En la (Figura 18) se representan los resultados, en el cual todos los suelos de sistemas agroecológicos y el sistema de agricultura convencional presentan medias con rangos muy altos de concentraciones de Cu total disponible en el suelo, estos niveles elevados podrían deberse a que la finca anteriormente era convencional y aplicaban contenidos excesivos de fertilizantes, plaguicidas, fungicidas sintéticos, debido a ello podría ser que los suelos de estos sistemas presentan altas concentraciones de Cu total. Los suelos del sistema de agricultura convencional son los que presenta el nivel más alto de cobre con una concentración de 61.03 mg/kg, de la misma forma el sistema de cacao presentó el nivel más bajo con 46.94 mg/kg en comparación con los otros sistemas.

Los suelos de los sistemas en estudio se encuentran en niveles muy altos de cobre, basados en los análisis de laboratorio. El exceso promedio de cobre en el suelo puede afectar el desarrollo de la raíz; porque quema sus puntas provocándole un crecimiento lateral excesivo, por otra parte el cobre en el suelo no impide ni la entrada ni el acumulo de hierro en la parte aérea de las plantas, aunque si impiden el acumulo del hierro en los cloroplastos y provocan así una disminución en la producción de clorofila por lo que las plantaciones agroecológicas no se desarrollan adecuadamente si no se controlan estos niveles altos de cobre tal en el suelo (Alvaro Cordero 1979).

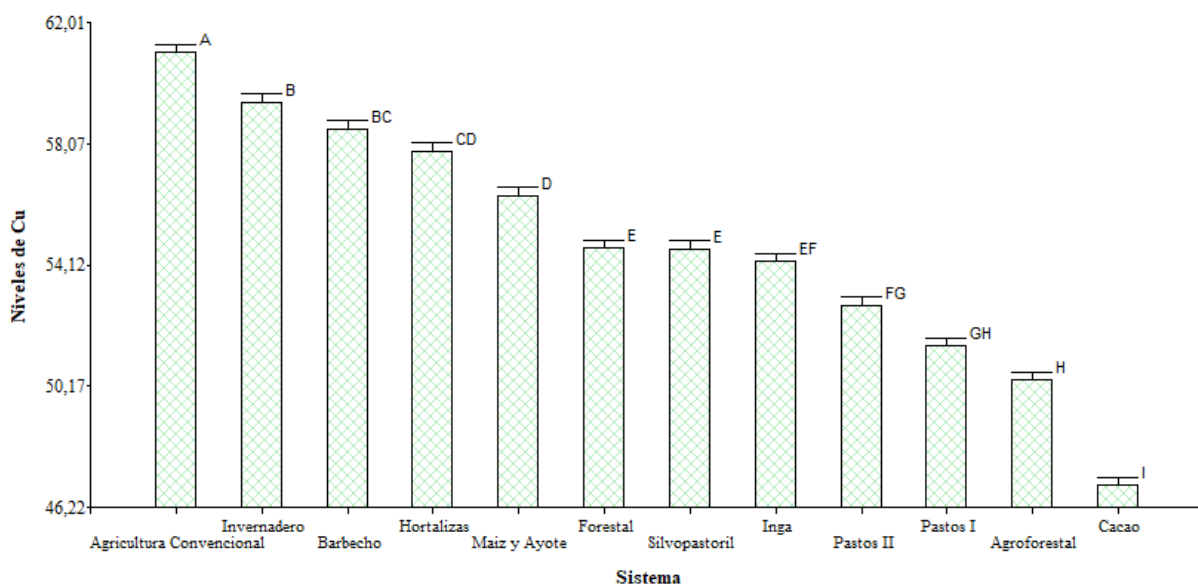


Figura 18 Niveles de Cobre en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=2$).

5.2.11. Hierro (Fe)

En la (Figura 19) los resultados muestran que los suelos en estudio presentan concentraciones muy elevadas de Fe según la tabla de interpretación la cual nos dice que el rango medio de este nutriente es de 56 mg/kg a 112 mg/kg. Estas concentraciones podrían deberse a que es un elemento muy común y abundante en el suelo, ya que puede estar disponible en condiciones naturales, además, las actividades agrícolas anteriormente implementadas podrían contribuir a estas elevadas concentraciones de Fe (Juárez *et al.* 2007).

Las altas concentraciones de hierro pueden variar dependiendo de las especies de planta que se encuentren y las condiciones específicas del suelo, pero estas concentraciones muy altas en el suelo pueden causar toxicidad, especialmente en especies sensibles a este nutriente ya que puede provocar manchas foliares graves y daño en las raíces de los cultivos que poseen los diversos sistemas. Es recomendable no hacer aplicaciones de fertilizantes o bioplagicidas que contenga Fe para no elevar la concentración disponible en el suelo (Heeren 2021).

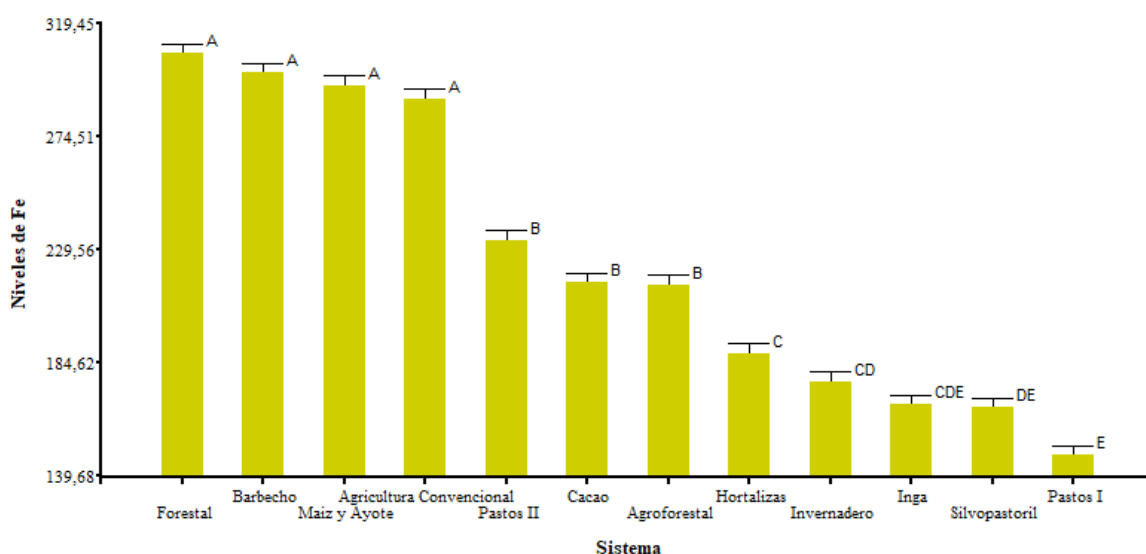


Figura 19. Niveles de Hierro en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=2$).

5.2.12. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Los resultados obtenidos en los sistemas agroecológicos de la finca y el sistema convencional se representan en la (Figura 20), estadísticamente según Tukey la CIC de suelos en estos sistemas no representa ninguna diferencia significativa por lo cual todas las medias rondan en valores similares. El sistema inga presentó una media más elevada de CIC en comparación a los demás sistemas con 11.57 cmolc/kg, en cambio el sistema agroforestal demostró una media más baja con 10,28 cmolc/kg de CIC presente en el suelo.

Los suelos de estos sistemas estudiados presentan una capacidad de intercambio catiónico muy buena, considerando que la mayoría de estos suelos como se observa en la (Figura 4) son predominantes las texturas franco arenoso y franco en los sistemas analizados, por lo tanto, poseen una buena cantidad de cationes para que el suelo pueda liberar y retener los nutrientes esenciales que los cultivos necesitan para su correcto desarrollo y crecimiento en los diversos sistemas agroecológicos presentes (Muñoz Araque 1978).

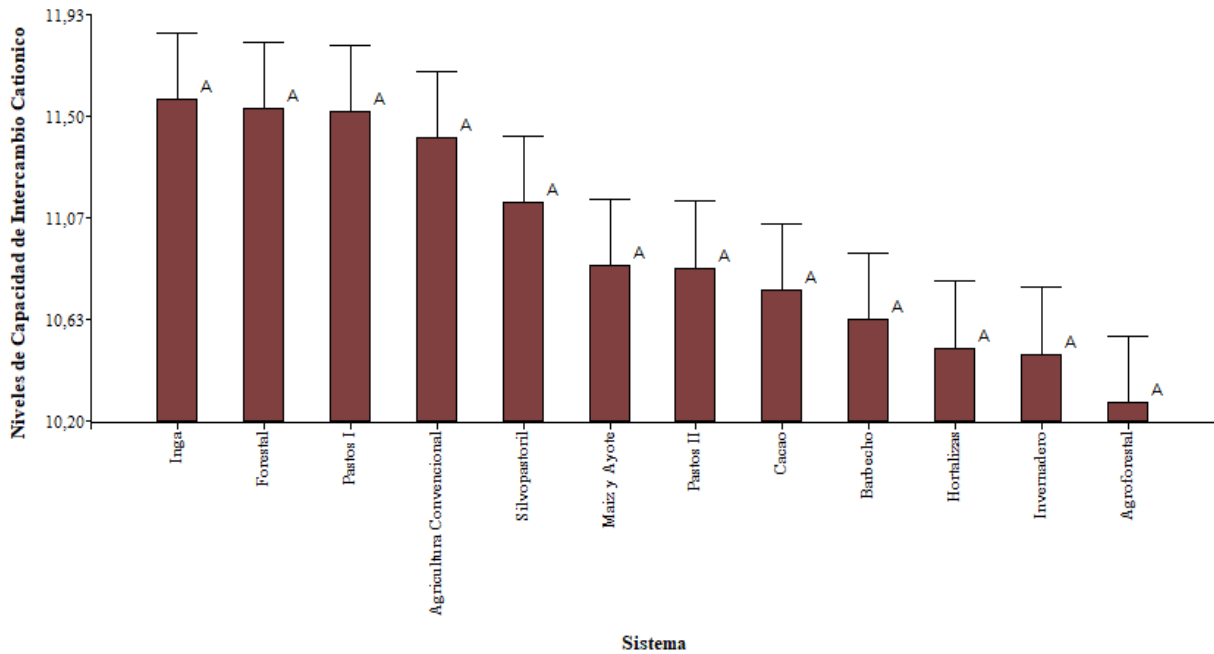


Figura 20. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo que presentaron los sistemas estudiados en la finca de la UNAG. Las barras que presentan desiguales letras son diferentes estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05\%$, $n=2$).

5.3. Correlaciones de los parámetros de suelos

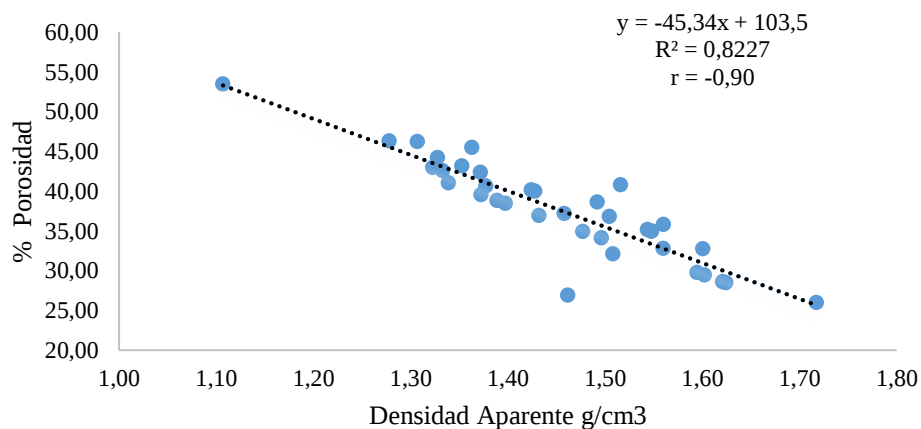


Figura 21. Gráfico de correlación entre Densidad aparente y porosidad.

La correlación entre la densidad aparente y la porosidad del suelo es negativa, lo que indica que a medida que aumenta la densidad aparente, la porosidad disminuye. La gráfica muestra un coeficiente de valoración (r) de -0,90, lo que confirma esta valoración negativa entre la densidad aparente y la porosidad del suelo. Esta relación entre la densidad aparente y la porosidad del suelo es un aspecto importante en la caracterización de las propiedades del suelo, ya que influye en su capacidad para retener agua, la circulación de aire y otros procesos fundamentales para su uso en agroecosistemas (Rubio Gutiérrez 2010).

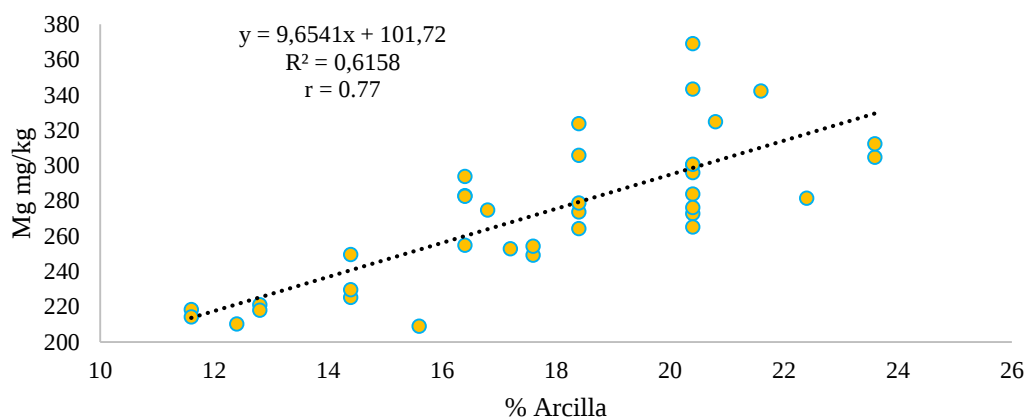


Figura 22. Gráfico de correlación entre Arcilla y Magnesio.

En la (figura 22) se demuestra que la correlación entre arcilla y magnesio en el suelo es significativa, con un coeficiente de correlación (r) de 0,77, lo que indica una relación positiva entre arcilla y magnesio. Esta relación sugiere que la presencia de arcilla puede influir en la disponibilidad de magnesio en el suelo, lo que a su vez puede afectar la fertilidad y la capacidad del suelo para soportar el crecimiento de las plantaciones sostenibles.

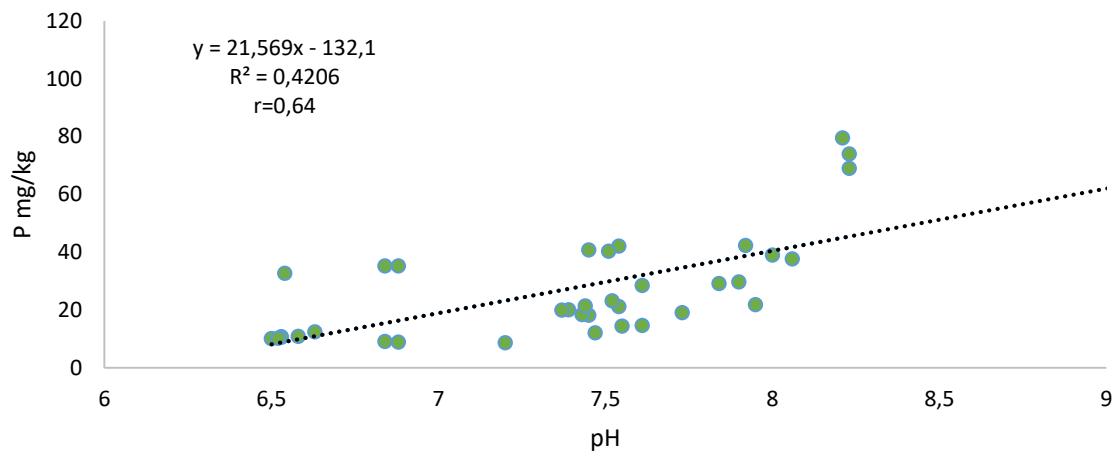


Figura 23. Grafica de correlación entre P mg/kg y pH

El fósforo y el pH en el suelo presentan una correlación positiva moderada según la (Figura 23). Estos parámetros presentan un coeficiente de correlación (r) de 0,64, lo cual nos indica que un pH más alto puede influir en la disponibilidad de fósforo para las plantas, asimismo el pH del suelo juega un papel crucial en la disponibilidad de fósforo, lo que puede tener un impacto significativo en la productividad de los agroecosistemas (Fertilab 2013).

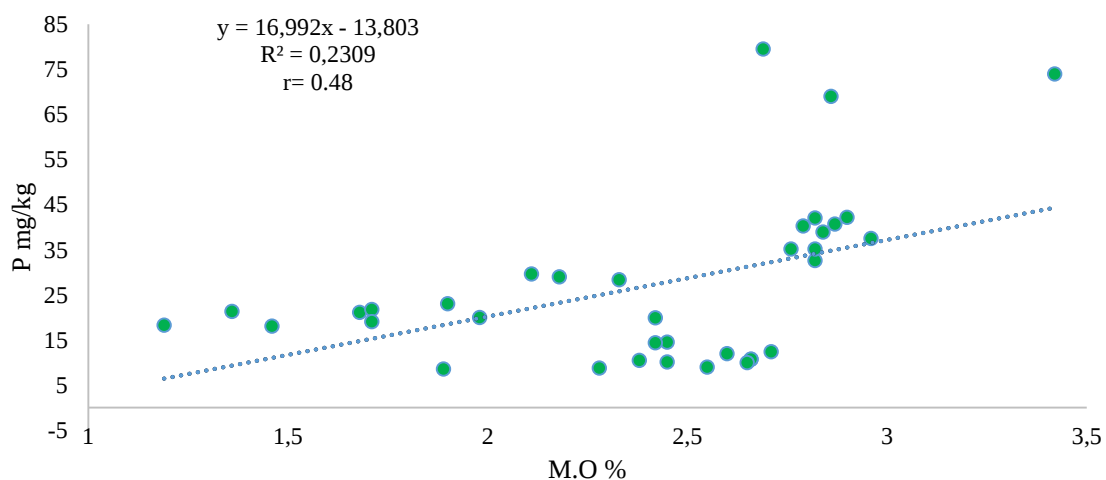


Figura 24. Grafica de correlación entre M.O % Y P mg/kg

Lo observado en la gráfica de la figura 24 indica una correlación positiva significativa entre la materia orgánica (M.O) y el fósforo (P), con un coeficiente de correlación (r) de 0,48. Esta alta activación positiva del fósforo con la materia orgánica en el suelo señala una relación estrecha entre estos dos elementos, lo que es crucial para el desarrollo de todos los agroecosistemas, asimismo, esta evaluación positiva es importante, ya que la materia orgánica y el fósforo son elementos clave para la salud y la conservación del suelo. (Torres 2018).

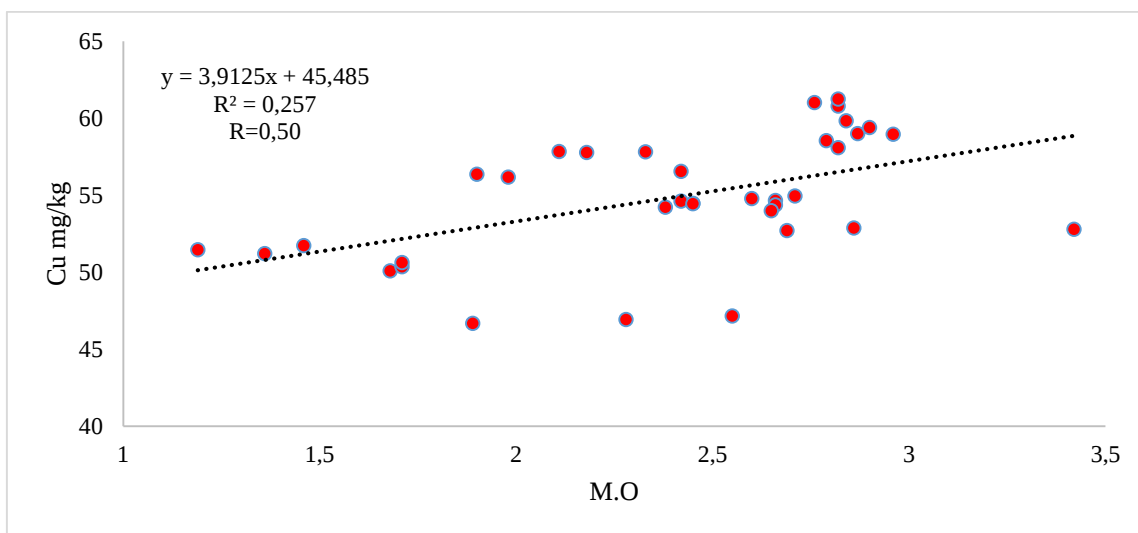


Figura 25. Grafica de correlación entre materia orgánica y cobre

La Materia Orgánica (M.O) y el Cobre (Cu) están estrechamente relacionados, como se observa en la Figura 25, donde presentan un coeficiente de correlación (r) de 0.50. Debido a esto, la distribución de cobre en el suelo se correlaciona positivamente con la materia orgánica, lo que significa que donde hay un mayor contenido de materia orgánica, aumenta el contenido de cobre disponible en el suelo. Además, se destaca que el factor más importante en la acumulación de cobre en el suelo es la materia orgánica, ya que tiene la calidad de formar y combinarse en formas más estables con el cobre (Alvaro Cordero 1979).

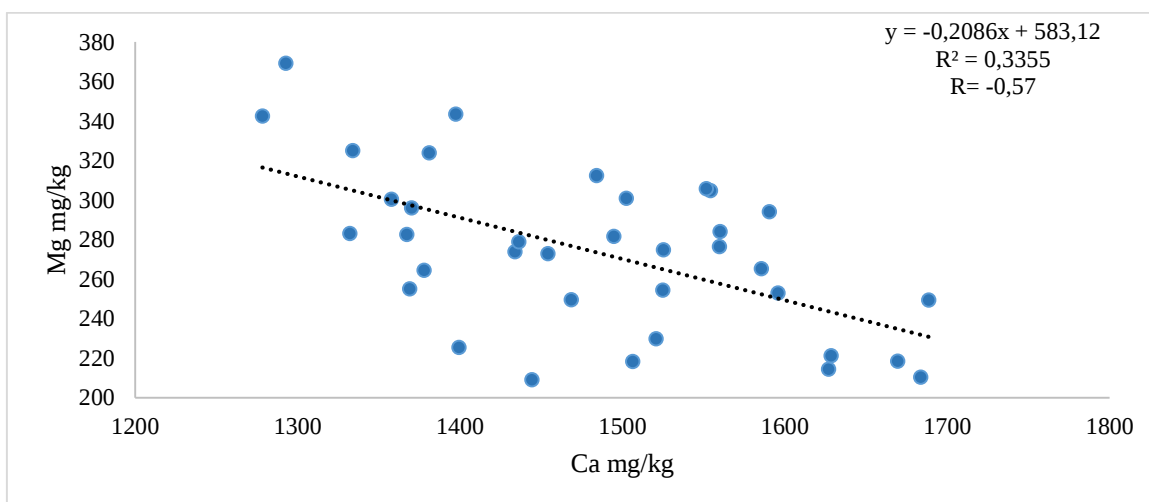


Figura 26. Grafica de correlación entre Calcio y Magnesio

La correlación moderadamente significativa negativa con un coeficiente de evaluación (r) de -0,57 entre el calcio y el magnesio disponibles en el suelo indica que a medida que el calcio aumenta, el magnesio disminuye. Esta relación es un factor importante para la salud de las plantas, ya que la disponibilidad equilibrada de estos nutrientes es crucial para el desarrollo adecuado de las plantaciones agroecológicas productivas.

5.4. Análisis de componentes principales.

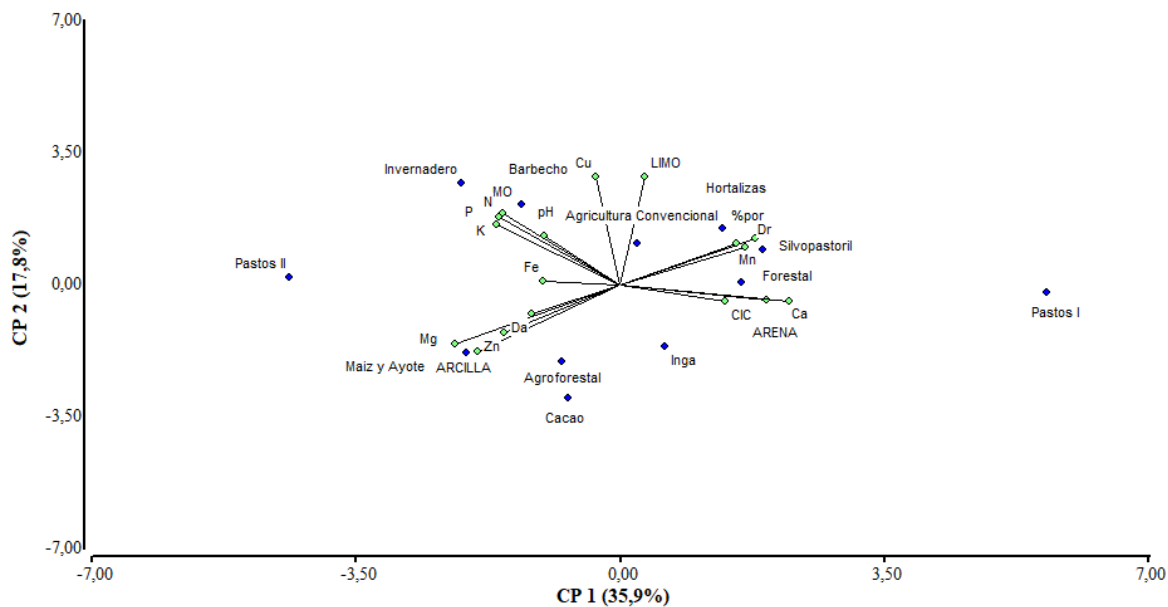


Figura 27. Análisis de los componentes principales de los agroecosistemas y los parámetros en estudio.

En el análisis estadístico de los componentes principales se representa en la (figura 27), este análisis dividió en tres grupos los componentes principales, los de mayor influencia en el de micronutrientes, el de macronutrientes y el de las bases para CIC. Los agroecosistemas de pastos II, maíz y ayote, agroforestal fueron los que tuvieron mayor influencia en los macronutrientes, en cambio los sistemas de Pastos II, Invernadero, Barbecho y el sistema de agricultura convencional fueron los que resultaron con una afluencia más alta en los micronutrientes disponibles en los suelos. los agroecosistemas que mostraron mayor influencia en las bases son el sistema Silvopastoril, Forestal, pastos I y Hortalizas.

5.5. Análisis de calicatas

5.5.1. Calicata A

La calicata presento diferentes niveles en los diferentes parámetros como se observa en la (Figura 27), en el horizonte A se observó una profundidad de 17 cm con un color marrón oscuro donde se presentó un pH muy alto de 7.2, este horizonte se considera alcalino, con una densidad aparente de 1.41 y un nivel de materia orgánica bajo con 2.44. El horizonte E se manifestó una profundidad de 14 cm, predominante el color negro, un pH alto de 7.2, la densidad aparente de 1.41 y una materia orgánica de nivel medio con 3.07% el cual resulto alto incluso más el de los agroecosistemas en estudio, por lo que este horizonte se considera aterrado y debido a ello presenta mayor porcentaje de M.O. En el horizonte B hay una profundidad de 15 cm de color marrón rojizo oscuro, un pH alto y una materia orgánica muy baja. En el horizonte C hubo una profundidad de 54 cm color marrón rojizo oscuro.



Figura 28. Análisis de calicata ubicada en el sistema de cacao.

5.5.2. Calicata B

La calicata presento diferentes niveles en los diferentes parámetros estudiados como se observa en la (Figura 28), en el horizonte A se observó una profundidad de 25 cm con un color marrón muy oscuro donde se presentó un pH de 6.5, con una densidad aparente de 1.22 y un nivel de materia orgánica bajo con 1.22. El horizonte E se mostró una profundidad de 12 cm, predominante el color marrón oscuro, un pH alto de 6.7, la densidad aparente de 1.89 y una materia orgánica de nivel bajo con 1.92. En el horizonte B hay una profundidad de 20 cm de color marrón rojizo oscuro, un pH alto y una materia orgánica muy baja. En el horizonte C hubo una profundidad de 43 cm con color marrón rojizo.

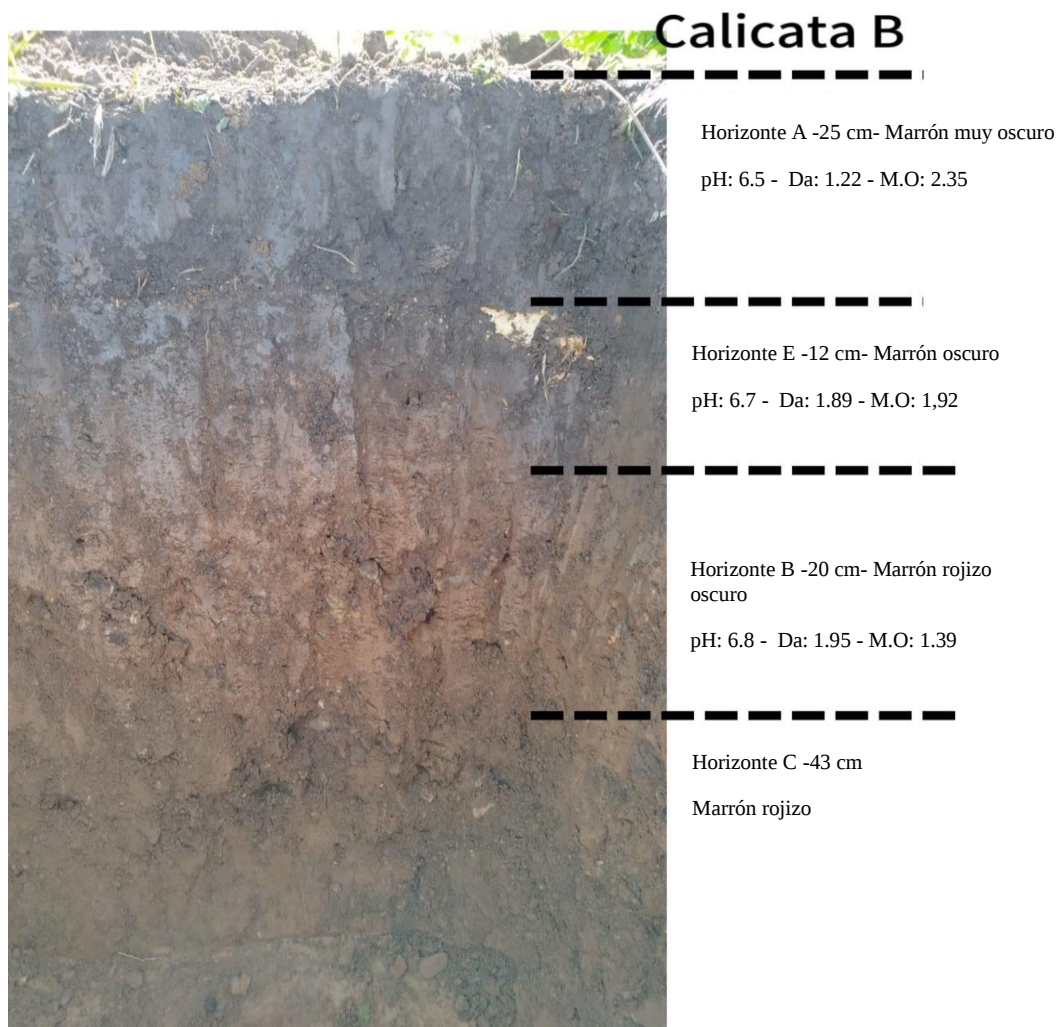


Figura 29. Análisis de calicata ubicada en el sistema inga.

5.6. Análisis Biológico

5.6.1. Macrofauna de suelo

En la (Tabla 7) se representa la macrofauna total encontrada en los suelos de cada sistema en estudio donde se acertaron con 11 especies en total, asimismo se encontró que las hormigas, las terminas y las lombrices de tierra son las que más predominan en estos sistemas.

En el cual la zona agroforestal presento la mayor riqueza de organismos en el suelo, con 10 especies diferentes observadas en comparación con el sistema de pastos I en el que solo se encontraron 6 especies de organismos de suelo. por otra parte, la mayor abundancia de individuos se encontró en el sistema Inga con 215 contabilizados, el sistema de barbecho presenta menor cantidad de individuos.

Esta diversidad de macroorganismos en el suelo son muy importantes porque desempeñan un papel esencial en la salud y fertilidad del suelo. Contribuyen a la descomposición de la materia orgánica, mejoran la estructura del suelo, participan en el ciclo de nutrientes y ayudan en el control de plagas. Su presencia y actividad son indicadores de un suelo saludable y equilibrado.

Tabla 10 Riqueza y abundancia de especies presentes en cada uno de los sistemas.

Sistemas Especies	M y											
	Cac	Agrof	Pts I	Pts II	Silvopas	For	Inga	A	Hort	Barb	Invern	A.C
Ácaros	0	4	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Caracoles	0	5	0	3	3	2	0	0	11	4	12	7
Ciempíes	13	7	28	22	21	17	12	0	21	10	12	0
Cochinilla	8	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Cucarrones	2	9	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
Escarabajos	3	7	0	1	0	4	8	11	0	4	0	6
Gallina Ciega	8	4	9	8	7	2	0	15	5	13	16	19
Hormigas	37	61	45	39	53	48	68	51	33	18	23	36
Lombrices	22	18	32	33	29	43	51	51	37	29	52	18
Milpiés	31	13	17	19	12	33	27	16	17	21	23	21
Termitas	51	0	39	46	42	61	44	33	61	25	28	11
Total de abundancia	175	131	170	171	167	210	215	177	190	124	166	118
Total de riqueza	9	10	6	8	7	8	7	6	9	8	7	7
Índice de Shannon	1.829	1.817	1.687	1.760	1.671	1.680	1.662	1.652	1.893	1.905	1.814	1.791

VI. CONCLUSIONES

1. Los parámetros físicos en los diferentes usos de suelos de los sistemas agroecológicos presentaron buenas condiciones de textura, estructura, color porosidad, Da y Dr, por lo que cumplen para tener un buen desarrollo de las raíces de plantaciones productivas sostenibles.
2. La concentración de los elementos químicos como (K, Mg, Zn, Cu, Fe,) es elevada en la mayoría de los sistemas estudiados sobrepasando los niveles normales que debería tener por lo cual están disponibles en grandes cantidades para las plantas. Por otra parte, las concentraciones de (P, Ca, Mn) presentaron en rangos de medio y bajos en los diferentes agroecosistemas.
3. Los rangos de pH que mostraron los suelos de los sistemas agroecológicos y convencional son moderada y ligeramente alcalinos en los diversos sistemas por lo que se consideran como suelos que presentan alcalinidad como nos muestra la tabla de interpretación.
4. Los resultados de los análisis de materia orgánica del estudio, realizados con el método Walkey and Black presentaron niveles muy bajos de M.O, ya que son menores del 3%.
5. Los suelos de estos agroecosistemas no mostraron diferencia significativa en los análisis ya que la mayoría poseen condiciones similares y proporcionan un entorno favorable para el desarrollo de plantaciones productivas sostenibles. Además, que también tiene un impacto en la calidad del medio ambiente, la seguridad alimentaria y la salud de las plantas y los animales lo cual es el objetivo de la agroecología.

6. En los diferentes agroecosistemas bajo estudio se encontraron diversas especies, las poblaciones de macro organismos más frecuentes son las hormigas, termitas y lombrices.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar monitorios de los rangos pH constantemente, ya que si siguen aumentando se perderá en gran medida la disponibilidad de algunos nutrientes muy importantes para el desarrollo normal de los cultivos agroecológicos.
- Es necesario aumentar los niveles de materia orgánica de buena calidad en el suelo, lo cual se hace agregando constantemente enmiendas orgánicas, como compost, estiércol o residuos vegetales muy ricos en N. Estas modificaciones aportaran nutrientes y materia orgánica al suelo, mejorando su estructura y capacidad de retención de agua, para obtener mejor desarrollo y producción en los sistemas agroecológicos.
- El Cobre y el Hierro disponible se presentaron niveles muy elevados por lo que hay que hacer constantes análisis químicos de suelos para tratar de reducir o controlar estos rangos ya que pueden llegar a ser tóxicos para las diversas plantaciones agroecológicas.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acevedo-Sandoval, O; Ortiz-Hernández, E; Cruz-Sánchez, M; Cruz-Chávez, E. 2004. Role of Iron Oxides in Soils (en línea). Terra Latinoamericana 22(4):485-487. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/573/57311096013.pdf>.

Agrovitra. 2020. La gran importancia del nitrógeno en las plantas. Al servicio de la Agricultura :1-2.

Alvaro Cordero, GR. 1979. ACUMULAMIENTO DE COBRE EN LOS SUELOS DEL PACIFICO SUR DE COSTA RICA Y SUS EFECTOS DETRIMENTALES EN LA AGRICULTURA (en línea). Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar 6(August):128. Disponible en https://www.mag.go.cr/rev_agr/v03n01_063.pdf.

Álvaro G.J. 2019. ¿Por qué es importante conocer la textura de un suelo agrícola? (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.fertibox.net/single-post/textura-del-suelo>.

_____. 2020. El calcio y su importancia en el crecimiento vegetal (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.fertibox.net/single-post/calcio-agricultura#:~:text=El calcio es un macronutriente,estructura de los suelos agrícolas>.

Amezcu, JC; Lara, M. 2017. El Zinc en las Plantas (en línea). Ciencia 68(3):28-35. Disponible en <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/zinc-in-plants>.

Anacafé. 2022. Analab incrementa la eficiencia en sus análisis incorporando la metodología Mehlich III (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.anacafe.org/articles/metodologia-mehlich-III/#:~:text=Mehlich III es una soluci3n,para el cultivo del caf3.>

Arpi, CAG. 2018. Validaci3n del m3todo para determinar materia org3nica en el suelo por la t3cnica de Walkley And Black (en l3nea). Universidad de Cuenca :34. Disponible en <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31352/1/Trabajo de titulacion.pdf>.

Atencia, JJG; Polo, MML. 2017. CARACTERIZACI3N FISICOQU3MICA DE LOS SUELOS AGR3COLAS DEL DISTRITO DE RIEGO DEL MUNICIPIO DE REPEL3N, ATL3NTICO. s.l., Universidad de la Costa (CUC). .

Barbeito, V; Bono, A. 2006. Determinaci3n de fracciones texturales para suelos de la regi3n semi3rida Pampeana usando variaciones al M3todo de Bouyoucos. Aspectos de la evaluaci3n y el manejo de los suelos en la regi3n semi3rida Pampeana :1-14.

Bonilla, R. 2002. ASPECTOS GENERALES SOBRE LA BIOLOGIA DET SUELO (en l3nea, sitio web). Disponible en https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/17877/42502_46555.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Borges, J; Barrios, M; Sandoval, E; Bastardo, Y; M3rquez, O. 2012. Caracter3sticas f3sico-qu3micas del suelo y su asociaci3n con macroelementos en 3reas destinadas a pastoreo (en l3nea). Bioagro 24(1316-3361):121-126. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85723473006>.

Buenaver Ortiz, MT; Rodríguez Araujo, EA. 2016. Determination of stability of soil aggregates in different agroecosystems of the north Department of Santander. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo 46(1-2):42-50.

Cabajal, RR. 1997. PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS (en línea). CONVENIO FENALCE - SENA - SAC . Disponible en <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>.

Cabrera, G; Socarrás, A; Gutiérrez Cubría, E; Tcherva, T; Martínez-Muñoz, C; Lozada Piña, A. 2017. La fauna del suelo. En:Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas (C.A. Mancina y D. D. Cruz, Eds.) :502.

Cabria, F; Calandroni, M; Monterubbianesi, G. 2002. Tamaño y estabilidad agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas. Ciencia del Suelo 20(2):69-80.

Calderón, C; Bautista, G; Rojas, S. 2018. Propiedades químicas , físicas y biológicas del suelo , indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. s.l., s.e. 141-157 p.

Castillo, C. 2005. Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cusamá el Tuma - La Dalia Matagalpa,2005 (en línea). Investigación :1-106. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263123192010.pdf>.

Castmío, Jairo. 1992. AGROECOSISTEMAS: INTERVENCION HUMANA Y DESARROLLO DE ENFERMEDADES DE PLANTAS (en línea). La Escuela Agrícola Panamericana :237. Disponible en

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/e4f25045-de2c-4206-9562-c89f10cf43e0/content>.

Cevallos Suarez, M; Urdaneta Ortega, F; Jaimes, E. 2019. Desarrollo de sistemas de producción agroecológica: Dimensiones e indicadores para su estudio. Revista de Ciencias Sociales 25(3):172-185. DOI: <https://doi.org/10.31876/rcs.v25i3.27365>.

Ciancaglini, N. 2017. R-001-Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico (en línea). :10. Disponible en http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO_R001_Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico.pdf.

CLIMATE DATA. Clima: OLANCHO (en línea, sitio web). Disponible en <https://es.climate-data.org/america-del-norte/honduras/olancho-2487/#:~:text=La temperatura media anual es,aproximada es de 845 mm>.

Contexto Ganadero. 2017. La importancia de conocer la capacidad de intercambio catiónico del suelo (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/la-importancia-de-conocer-la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>.

Conú, L. 2014. DETERMINACIÓN DE TEXTURA POR EL METODO DE BOUYOUCOS (en línea, sitio web). Disponible en https://www.academia.edu/9677695/DETERMINACIÓN_DE_TEXTURA_POR_EL_METODO_DE_BOUYOUCOS#:~:text=El método del hidrómetro de,puede medir con el densímetro.

Corone, NL. 2003. Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas (en línea). facultad de ciencias pecuarias y agroindustriales :1-2. Disponible en file:///C:/Users/orlin/Downloads/1178-Texto del artículo-2985-1-10-20160401.pdf.

Docampo, R. 2014. Manejo En Producción Frutícola (en línea). Inia 67:81-89. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>.

Domínguez Soto, JM; Román Gutiérrez, AD; Prieto García, F; Acevedo Sandoval, O. 2011. Evaluación de color en suelos del Cerro de Denganthza, municipio de Francisco I. Madero, Hidalgo. Acta Universitaria 21:92-100. DOI: <https://doi.org/10.15174/au.2011.42>.

Espejo, R. 2013. Importancia del suelo como recurso natural en los ecosistemas agrarios Rafael Espejo Serrano . Catedrático de Edafología en la UPM (en línea). :2. Disponible en http://www.conama.org/conama/download/files/conama2016/STs2016/1998972102_doc_REspejo.pdf.

Esquivel, G. 2020. Importancia del hierro (Fe) en la Agricultura (en línea). Drokasa (Cl):5-7. Disponible en [http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_\(Fe\)_en_la_agricultura_peruana.pdf](http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_(Fe)_en_la_agricultura_peruana.pdf).

FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos (en línea). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación :100. Disponible en file:///C:/Users/Alina Belen Ortiz/Downloads/a0541s00 (1).pdf.

_____. 2023. Propiedades Biológicas (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-biologicas/es/>.

Fernandez, MT. 2007. Fosforo: Amigo o enemigo (en línea). Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) . Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>.

Fertilab. 2013. La Fijación de Fósforo en el Suelo (en línea). Fertilab :4. Disponible en <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/178-La-Fijacion-de-Fosforo-en-el-Suelo.pdf>.

_____. 2018. El color del suelo como indicador de su fertilidad (en línea). FertiLab :1-3. Disponible en <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/Vista/El-Color-del-Suelo-como-Indicador-de-su-Fertilidad.php>.

Figeroa, AE. 1999. METODOLOGIA DE ANALISIS DE SUELOS DEL LABORATORIO DE LA FUNDACION HONDUREÑA DE INVESTIGACION AGRICOLA (FHIA). s.l., Universidad Nacional de Agricultura. 49 p.

Fuentes Aguilar, L. 1971. Interpretación y análisis de suelos. Investigaciones Geográficas 1(4). DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.58865>.

Gannini-kurina, F; Balzarini, M; Koritschoner, J; Rampoldi, A; Hang, S. 2021. Modelos Para La Conversión De Las Concentraciones De Fe, Mn, Cu Y Zn Entre Los Métodos Mehlich-3 Y Dtpa-Tea En Suelos De Córdoba. Argentina) 39(2):202-216.

García Realpe, BM. 1994. Manejo de suelos. (en línea). :113-126. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12324/31686>.

Gisbert, J; Ibáñez, S; Moreno, H. 2008. La textura de un suelo (en línea). Universidad Politécnica de Valencia 4(1):1-8. Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>.

González-cervantes, JLGG; Chávez-ramírez, E. 2012. Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México III:21-32.

Heeren, O. 2021. Hierro (Fe) Disponible En El Suelo Sobre El Lima-Perú. .

Hossne García, A; Mayorca Jaime, YN; Salazar Bastardo, LD; Subero Llovera, FA; Zacillo Contreras, AM. 2009. Humedad compactante y sus implicaciones agrícolas en dos suelos franco arenoso de sabana del estado monagas, venezuela. Revista Científica UDO Agrícola 9(4):937-950.

Ibarra-Castillo, D. 2009. Distribución espacial del pH de los suelos Agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. Agricultura Técnica en México 35(3):267-276.

IICA. 2021. Manejo de fincas a través de prácticas y tecnologías agroecológicas de adaptación al cambio climático (en línea). :13. Disponible en <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19867/CDHN22038299e.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

INCA. 2015. USO Y MANEJO DE PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS EN FINCAS DE LA LOCALIDAD DE SAN ANDRÉS, MUNICIPIO LA PALMA (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/1932/193246976002/html/>.

Instituto Nacional de Investigación Agroecuaría (INIA). 2015. Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas INIA Tacuarembó 20 de mayo de 2015. Inia :19.

Intagri. 2015. Sinergismos y Antagonismos entre Nutrientes (en línea). INTAGRI, S.C . Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/sinergismos-y-antagonismos-entre-nutrientes>.

INTAGRI. 2022. El cobre en la Nutrición Vegetal (en línea). INTAGRI, S.C . Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-cobre-en-la-nutricion-vegetal>.

IZQUIERDO, JFM. 2016. Caracterización química, física y biológica de suelos de la granja agroecológica uniminuto villavicencio (en línea). CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS :1-119. Disponible en https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/4881/1/T.IAG_MartinezIzquierdoJuanFelipe_2017.pdf.

Jimenez, AS. 2009. Use of Instructional Designs, Teaching Methods and Strategies by Professors in College of Agriculture and Life Sciences. Journal of Agricultural Education and Human Resource Development 41(1):191-210. DOI: <https://doi.org/10.23840/agehrd.2009.41.1.191>.

Juárez, M; Cerdán, M; Sanchez, A. 2007. Hierro en el sistema suelo-planta. (en línea). Química del Sistema Suelo Planta (August 2015):1-32. Disponible en <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1845/1/HIERRO.pdf>.

L. Rodriguez. 2011. Materia orgánica y actividad biológica (en línea). :1-28. Disponible en <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-104576/1>. Materia orgánica y actividad biológica.pdf.

León-Arteta, R. 2008. Biología del Suelo: ¿Suelo, Ente Vivo? (La Importancia del Estudio de la Biología del Suelo y 2/2). (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/11/02/105611>.

Lince-Salazar, LA; Castro, AF; Castaño, WA. 2020. Estabilidad de agregados de suelos de la zona cafetera colombiana. Revista Cenicafe 71(2):73-91. DOI: <https://doi.org/10.38141/10778/71206>.

Meza Pérez, E; Geissert Kientz, D. 2003. Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del Cofre De Perote, Veracruz, México. Foresta Veracruzana 5(5):57-60.

Michel, V; Grand, A. 2020. Materia orgánica del suelo (en línea). Best4Soil :3-5. Disponible en https://orgprints.org/id/eprint/43417/7/MATERIA_ORGÁNICA_DEL_SUELO.pdf.

Mikkelsen, R. 2010. Fuentes de Magnesio (en línea). Informaciones agronómicas 94(2):26-28. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/47833649504C3064852579A0006A1A38/\\$FILE/3.Fuentes de Magnesio.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/47833649504C3064852579A0006A1A38/$FILE/3.Fuentes%20de%20Magnesio.pdf).

Mirta Toribio, FM. 2016. La importancia del Zinc en nuestros cultivos. (en línea). Fulton Carlos Reátegui Ordóñez 17(1):61-67. Disponible en <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/bt-n-21-la-importancia-del-zinc-en-nuestros-cultivos-2015.pdf>.

Mixquititla Casbis, G; Villegas Torres, ÓG. 2016. Importancia de los fosfatos y fosfitos en la nutrición de cultivos. ACTA AGRÍCOLA Y PECUARIA, 2(3):55-61.

Monge, E; Val, J; Sanz, M; Blanco, A; Montañés, L. 1994. El calcio nutriente para las plantas. Bitter pit en manzano. An Estación Experimental de Aula Dei. (Zaragoza) 21(3):189.

Moreno, J. 2010. El color del suelo (en línea). Universidad Politecnica de Valencia 31:663-668. Disponible en file:///C:/Users/TOSHIBA/Downloads/Color_suelo_Uni_Valencia.pdf.

Muñoz Araque, R de J. 1978. El análisis de suelos y su interpretación. (en línea). :69-88. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12324/22521>.

Murillo, JMB; Lepe-López, MA. 2022. In vitro evaluation of five ixodicides against Rhipicephalus microplus in Catacamas, Olancho, Honduras. Revista MVZ Cordoba 27(2). DOI: <https://doi.org/10.21897/rmvz.2463>.

Neira, FG. 1974. PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS SUELOS (en línea). INSTITUTO GEOGRAFICO "AGUSTIN SUBDIRECCION AGROLOGICASUBDIRECCION AGROLOGICA (11). Disponible en file:///C:/Users/orlin/Downloads/43269_51268.pdf.

Novillo, I; Carrillo, M; Cargua, J; Moreira, V. 2018. Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas. Temas Agrarios 23(2):177-187.

Novillo, J; Rico, M.; Álvarez, J. 2009. Manganeso: Deficiencia en plantascultivadas y su corrección (en línea). Agricultura (Alloway):614-618. Disponible en https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri%2FAgri_2009_921_614_618.pdf.

Ortega, D. 1995. Consideraciones Generales para Interpretar Análisis de Suelos. Suelos de

Colombia, origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Canal Ramírez Antares Ltda. Bogotá. :423.

Osorio, NW. 2012. pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES El concepto del pH Medición del pH del suelo Suelos ácidos y Aluminio. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín 1(4):4-7.

Owen, E. 1995. Características físico-químicas del suelo y su incidencia en la absorción de nutrimentos, con énfasis en el cultivo de la palma de aceite (en línea). Revista Palmas 16(1):31-39. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706115300380>.

Peñaranda, I. 2019. Importancia del manganeso en plantas (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.metroflorcolombia.com/importancia-del-manganeso-en-plantas/>.

Perdomo, C; Barbazán, M. 2007. Nitrógeno (en línea). Área De Suelos Y Aguas 1:54. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo N.pdf>.

Pineda, J. 2008. Clasificación Del Suelo Clasificación Del Suelo (en línea). . Disponible en <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/31/31448/suelos.pdf>.

Pinzón, S; Guillaume, XR; Rocha da Piedade, A; Celentano, D; Corrêa Zelarayán, M; Braun, H. 2014. La macrofauna del suelo como indicadora de degradación de bosques ribereños en la amazonia oriental brasileira. Rev. Fac. Agron 114(1141):49-60.

PLA, L. 2006. BIODIVERSIDAD: INFERENCIA BASADA EN EL ÍNDICE DE

SHANNON Y LA RIQUEZA (en línea). Asociación Interciencia Venezuela :583. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/339/33911906.pdf>.

Ramón, M; Blanquer, G; Manuel, J; Asensio, I. 2010. La estructura de un suelo. Suelos 8(9):1-9.

Raquel, PI; Sara, VY. 2014. La materia orgánica del suelo. papel de los microorganismos. (en línea). Ciencias Ambientales :1-11. Disponible en <http://www.ugr.es/~cjl/MO en suelos.pdf> en <https://www.ugr.es/~cjl/MO en suelos.pdf>.

Ravi, A; King, DA; Sheppard, N. 2004. Propiedades Físicas del Suelo. Transactions of the Faraday Society 64:3358-3360. DOI: <https://doi.org/10.1039/TF9686403358>.

Rivera, E. 2018. pH como factor de crecimiento en plantas pH as a growth factor in plants. Universidad Tecnológica de Panamá 4:101-105.

Rivera, MÁO; Altamirano, JPH; Barahona, WEC; Costales, JHN. 2023. SUELOS: CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA (en línea). s.l., s.e. Disponible en <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-01-18-140934-L2022-031.pdf>.

ROJAS, C. s. f. Disponibilidad , del fosforo y su corrección (en línea). . Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/8761/NR28126.pdf?sequence=9&isAllowed=y>.

Rojas, J; Peña, S. 2012. Densidad aparente (en línea). 1 1(1):3. Disponible en

www.inta.gov.ar/saenzpe.

Ross, M. 2004. Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite (en línea). Revista Palmas 25:98-104. Disponible en <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1071/1071>.

Rubio Gutiérrez, AM. 2010. LA DENSIDAD APARENTE EN SUELOS FORESTALES DEL PARQUE NATURAL LOS ALCORNOCALES. :1-96.

Ruiz, N. 2011. ANALIZADORES ELECTROQUÍMICOS PARA MEDIR EL pH DEL ANALIZADORES ELECTROQUÍMICOS PARA MEDIR EL pH DEL (en línea). Universidad de San Carlos de Guatemala :75. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0785_EA.pdf.

SAG, SAG-DICTA, COPECO-CENAOS, F-I. 2017. Reporte Agro-Meteorológico para Granos Básicos (en línea). Secretaria de Agricultura y ganaderia (17). Disponible en <http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/416/Reporte-Agro-Meteorologico-V-No.-17.pdf?sequence=1>.

Sandoval, RR. 2016. EDITORIAL , LAS FINCAS AGROECOLÓGICAS. .

Sanzano, A. 2010. El potasio del suelo (en línea). Química del suelo :6-8. Disponible en [file:///C:/Users/orlin/Downloads/El Potasio del suelo.pdf](file:///C:/Users/orlin/Downloads/El%20Potasio%20del%20suelo.pdf).

Sarasty, J.; Ortega, J.; Castillo, J. C. 2017. Diagnóstico de problemas de manejo del suelo

con abonos orgánicos utilizando un minisimulador de lluvia (en línea, sitio web). Disponible en <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/download/3689/4447?inline=1>.

Sela, G. 2019. EL COBRE EN LAS PLANTAS (en línea). Cropaia-Agricultura, Nutrición vegetal . Disponible en <https://croipaia.com/es/blog/cobre-en-las-plantas/>.

SEPLAN. 2013. PLAN DE DESARROLLO REGIONAL CON ENFOQUE DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (en línea). SECRETARIA TECNICA DE PLANIFICACIÓN Y COOPERACION EXTERNA :1-76. Disponible en <https://acchonduras.files.wordpress.com/2014/07/pdr-ot-r-08-valles-de-olancho-vf.pdf>.

Torres, JR. 2018. Degradación de hojarasca y aporte de nutrientes del manglar en la Laguna Mecoacán, Golfo de México (en línea, sitio web). Disponible en https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442018000200892.

U.N.L.P. 2019. Apunte de edafología. Suelos “POROSIDAD Y AIREACIÓN DENSIDAD REAL Y APARENTE 1(1):1.

Vallejo, GA. 1975. Catacamas, Olancho Necesidad de Mejorar los Servicios de Salud (en línea). UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE HONDURAS :6-7. Disponible en <http://www.bvs.hn/TMH/pdf/TMH3/pdf/TMH3.pdf>.

Vargas-Rodriguez, D.; Cerón-González, A; Olivares-Martínez, L.; Bobadilla-Ballesteros, M. 2020. Manual de evaluación de suelos. Cmes :1-45.

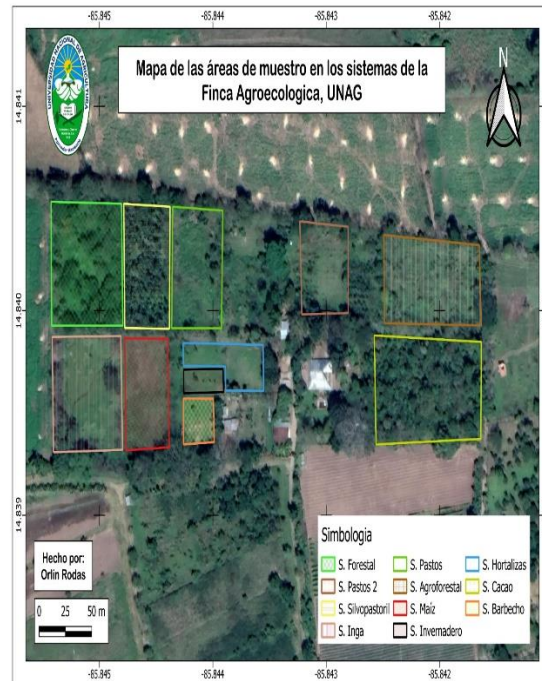
Velasques, J. 2003. Boletines Tecnicos De Suelos (en línea). Ministerio De Agricultura - PSI 0:1-19. Disponible en <http://www.psi.gob.pe/wp->

content/uploads/2016/03/biblioteca_boletines_el_suelo.pdf.

Zerbino. 2010. La macrofauna del suelo y su relación con la heterogeneidad florística (en línea). Proyecto FPTA 175 :98. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8813/1/Fpta-26-p.97-111.pdf>.

IX. ANEXOS

Anexo 1 Reconocimiento y clasificación de los sistemas con su respectivo uso de suelo.



Anexo 2 Extracción de las muestras con el barreno y el cilindro





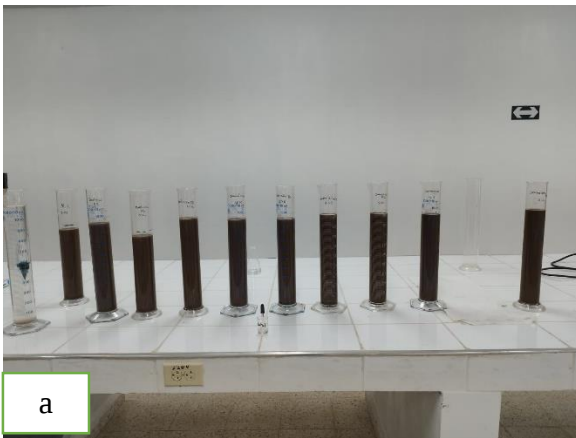
Anexo 3 Secado de muestras en el Laboratorio de Suelos Agrícolas de la UNAG.



Anexo 4 Limpieza, tamizado y almacenamiento de las muestras.



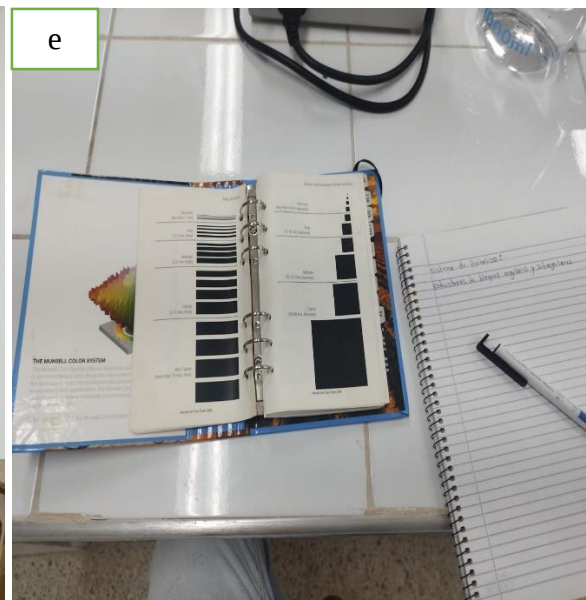
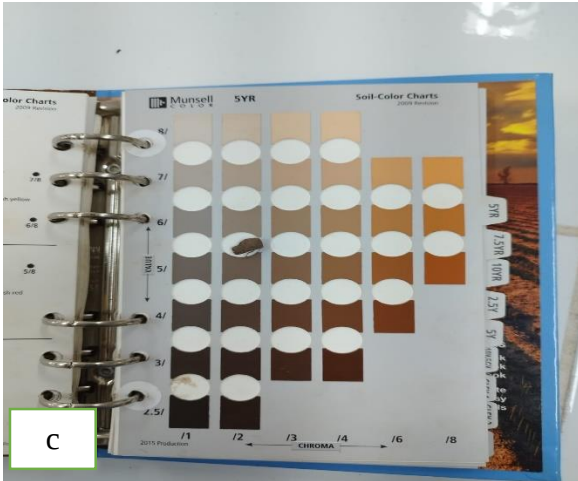
Anexo 5 Determinación de los parámetros físicos del suelo: a) Textura, b) Densidad aparente, c) color, D) Estabilidad de los agregados e) Estructura.



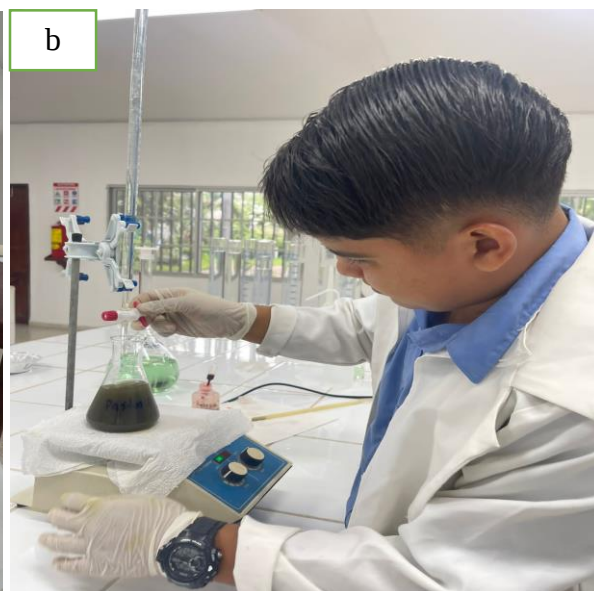
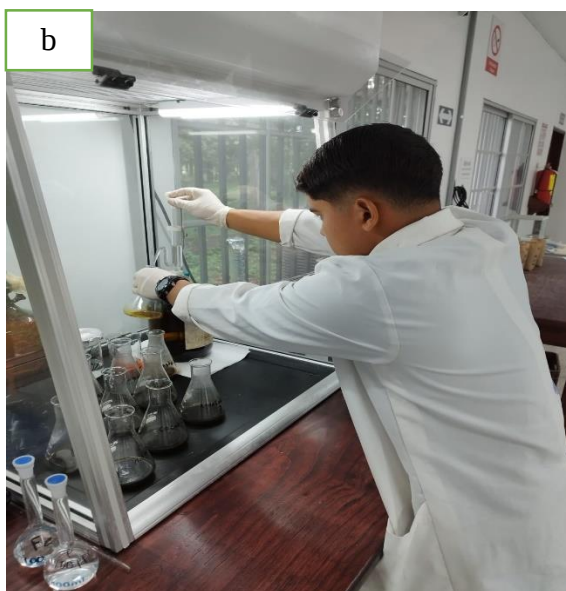
a



b



Anexo 6 Determinación de a) pH, b) M.O, c) P.





Anexo 7 Extracción de muestras con la solución Mehlich III par análisis de los elementos químicos del suelo.



Anexo 8. Análisis químicos con el Espectrofotómetro de absorción atómica.



Anexo 9 Calicatas de 100 m3 en la finca agroecológica de la UNAG.



