

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA
SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**INFLUENCIA DE INDICADORES FISICOQUÍMICOS EN LA CALIDAD DEL
SUELO EN PLANTACIONES DE *Coffea arábica* (CAFÉ) EN EL DISTRITO DE
HERMILO VALDIZAN – LEONCIO PRADO**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:
TRUJILLO CHIARA, MARICARMEN SILVANA**

TINGO MARÍA – PERÚ

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 121-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 07 de noviembre de 2024, a horas 7:45 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“INFLUENCIA DE INDICADORES FISICOQUÍMICOS EN LA CALIDAD
DEL SUELO EN PLANTACIONES DE *Coffea arábica* (CAFÉ) EN EL
DISTRITO DE HERMILIO VALDIZAN – LEONCIO PRADO”**

Presentado por la Bachiller: **TRUJILLO CHIARA MARICARMEN SILVANA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “MUY BUENA”.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 23 de diciembre de 2024

Ing. MSc. SANDRA L. ZAVALA GUERRERO
PRESIDENTE

Ing. MSc. ABBY S. DA CRUZ RODRIGUEZ
MIEMBRO



Ing. MSc. JOSÉ VÍCTOR QUIROZ RAMIREZ
MIEMBRO

Blgo. MSc. CESAR AUGUSTO GOZME SULCA
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS
Correo: repositorio@unas.edu.pe



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 071 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un Índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
INFLUENCIA DE INDICADORES FÍSICOQUÍMICOS EN LA CALIDAD DEL SUELO EN PLANTACIONES DE Coffea arábica (CAFÉ) EN EL DISTRITO DE HERMILIO VALDIZAN – LEONCIO PRADO	TRUJILLO CHIARA, MARICARMEN SILVANA	19 % Diecinueve

Tingo María, 14 de marzo de 2025


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA
SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**INFLUENCIA DE INDICADORES FISICOQUÍMICOS EN LA CALIDAD DEL
SUELO EN PLANTACIONES DE *Coffea arábica* (CAFÉ) EN EL DISTRITO DE
HERMILIO VALDIZAN – LEONCIO PRADO**

Autor : Trujillo Chiara, Maricarmen Silvana
Asesor : Blgo. MSc. César Augusto Gozme Sulca
Programa de Investigación : Ciencia y Tecnología Ambiental.
Línea de Investigación : Ecología, Ecosistema, Biodiversidad y Conservación.
Eje Temático : Biodiversidad.
Lugar de Ejecución : Distrito Hermilio Valdizán – Leoncio Prado
Duración del Trabajo : 6 meses
Financiamiento : S/. 9,000
FEDU : No
Propio : Sí
Otros : No

**Tingo María – Perú,
2023**



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE
LA SELVA

**REGISTRO DE TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO DE MAESTRO,
 TÍTULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA**

I. DATOS GENERALES DE POSTGRADO

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	: Facultad de Recursos Naturales Renovables
Título de la tesis	: Influencia de Indicadores Físico-Químicos en la Calidad del suelo en plantaciones de <i>Coffea arábica</i> (café) en el Distrito de Hermilio Valdizán – Leoncio Prado.
Autor	: Maricarmen Silvana Trujillo Chiara
Asesor	: Blgo. MSc. Gozme Sulca, César Augusto
Programa de Investigación	: Ciencia y Tecnología Ambiental
Línea de Investigación	: Ecología, Ecosistema, Biodiversidad y Conservación
Eje Temático	: Biodiversidad
Lugar de Ejecución	: Padre Abad
Duración	: Fecha de inicio : Julio 2023 : Fecha de término : Noviembre 2024
Financiamiento	: Propio : S/. 9 000.00

Tingo María, Perú. 20234

Maricarmen Silvana Trujillo Chiara
Tesisista

Blgo. MSc. César Augusto Gozme Sulca
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN

DEDICATORIA

A Dios, por ser el creador de todo cuanto existe y nos dio el libre albedrío para nosotros forjar nuestro camino, pero aun así nuestro señor siempre está allí, para guiarnos, fortalecernos, bendecir nuestro camino y la sabiduría para ser mejores humanos en nuestro periplo de la vida.

A mi Hijo, Thiago Sebastian Pizarro Trujillo, por ser el motor, motivo e inspiración de mi existencia y el motivo de mi lucha que día a día hoy se convierten en triunfo; y, ser mi gran bendición en mi etapa de guía y madre.

A mis padres con mucho amor, Don Miguel Trujillo y Doña Elizabeth Chiara, por ser los alfareros de la arcilla de mi vida, como autores de mi existencia, mis logros, y porque a través de su amor, paciencia y apoyo me han permitido concluir con éxito cada etapa de mi vida.

A mis hermanos Claudia y Miguel Trujillo por estar presente en cada etapa de mi vida brindándome su compañía y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables y la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por brindarme a través de sus enseñanzas la oportunidad de forjarme una profesión y poder afrontar el camino de la vida con mayor perspectiva.

A mi asesor Blgo. MSc. César Augusto Gozme Sulca, por su amistad y colaboración en el asesoramiento para poder realizar la presente investigación.

Gracias a todas las amistades de la comunidad universitaria, de nuestra prestigiosa Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), que aportaron en el desarrollo de la presente investigación.

Gracias a todos los familiares y amistades de la comunidad universitaria, de nuestra prestigiosa Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), que de alguna manera también han sido educadores en mi desarrollo, enseñándome a superar obstáculos.... Y muchísimas cosas más..... gracias totales.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	13
1.1.	Objetivo general.....	16
1.2.	Objetivos específicos	16
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1.	Antecedentes:	17
2.1.1.	Antecedentes internacionales	17
2.1.2.	Antecedentes nacionales	18
2.1.3.	Suelo.....	19
2.1.4.	Agroecosistemas: Suelos Fértiles.....	21
2.1.5.	Calidad del suelo	23
2.1.6.	Indicadores de calidad del suelo.....	23
2.1.7.	Indicadores de calidad física del suelo	26
2.1.8.	Indicadores químicos del suelo	28
2.1.9.	Índices de calidad del suelo (ICS).....	32
2.2.	Cultivo de <i>Coffea arábica</i> (café)	34
2.2.1.	Origen y distribución.....	34
2.2.2.	Características del café.....	35
2.2.3.	Requerimientos medioambientales	36
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1.	Lugar de ejecución del estudio	38
3.1.1.	Ubicación	38
3.1.2.	Clima	39
3.1.3.	Plantación de <i>C. arábica</i>	39
3.1.4.	Suelo.....	40
3.2.	Materiales y equipos	40
3.2.1.	Materiales de campo y laboratorio	40
3.2.2.	Materiales de laboratorio.....	40
3.2.3.	Equipos de campo y laboratorio.....	40
3.3.	Método.....	41

3.3.1. Tipo y nivel de investigación	41
3.3.2. Variables de Estudio.....	41
3.3.3. Diseño de la investigación.....	41
3.3.4. Determinación y Delimitación de la Zona de Estudio	42
3.3.5. Determinación de indicadores de calidad fisicoquímica del suelo	44
3.3.6. Determinación de la Calidad del Suelo a través del Índice de la calidad (ICS) de Cantú, en plantaciones de Coffea arabica.....	45
3.3.7. Determinación de indicadores relevantes a través del análisis de componentes principales (ACP) y la correlación entre indicadores de calidad del suelo y de rendimiento, a través del análisis de Pearson, en plantaciones de Coffea arabica “café”.	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1. Determinación de Indicadores fisicoquímicos del suelo en las plantaciones de <i>Coffea arabica</i>	50
4.1.1. Indicadores físicos del suelo en plantaciones de Coffea arábica (café)	50
4.1.2. Análisis de varianza para las fracciones físicas	51
4.1.3. Indicadores químicos del suelo	53
4.2. Calidad del suelo a través de los índices de calidad ICS	65
4.3. Determinación de los Indicadores relevantes del ACP y la Correlación entre los indicadores fisicoquímicos del suelo con plantaciones de <i>Coffea arabica</i>	67
V. CONCLUSIONES.....	70
VI. PROPUESTAS A FUTURO	71
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS	83

INDICE DE TABLAS

Tablas	Pág.
1. Interacción textura, Da y crecimiento radicular.	28
2. Niveles de pH.	29
3. Niveles de MO.	29
4. Niveles de P.	30
5. Niveles de K+.	31
6. Niveles de Ca.	31
7. Niveles de Mg.	32
8. Niveles de CIC.	32
9. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual del suelo.	46
10. Rangos interpretativos del SUSS.	46
11. Valores máximos y mínimos de Cantú.	47
12. Clases de calidad de suelos.	47
13. . Modelo del análisis de varianza.	48
14. Análisis mecánico del suelo	50
15. Análisis ANOVA de la fracción arena	51
16. Análisis post-hoc de Duncan para el % de arena.	51
17. Análisis ANOVA de la fracción arcilla.	52
18. Análisis post-hoc de Duncan para el % de arcilla	52
19. Análisis ANOVA de la fracción limo.	53
20. Índices de calidad del suelo	66
21. Índices de calidad del suelo	68
22. Análisis de varianza para la variable pH del suelo.	83
23. Análisis post-hoc de Duncan para la variable pH del suelo.	83
24. Análisis de varianza para la variable MO del suelo.	84
25. Análisis de varianza para la variable N del suelo.	84
26. Análisis de varianza para la variable P del suelo.	85
27. Análisis post-hoc de Duncan para la variable P del suelo.	85
28. Análisis de varianza para la variable K del suelo.	86
29. Análisis post-hoc de Duncan para la variable K del suelo.	86

30. Análisis de varianza para la variable Ca del suelo.	86
31. Análisis post-hoc de Duncan para la variable Ca del suelo.....	87
32. Análisis de varianza para la variable Mg del suelo.	87
33. Análisis post-hoc de Duncan para la variable Mg del suelo.....	87
34. Análisis de varianza para la variable CIC del suelo	88
35. Análisis post-hoc de Duncan para la variable CIC del suelo	88
36. Análisis de varianza para la variable BC del suelo	88
37. Análisis post-hoc de Duncan para la variable BC del suelo.....	89

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. El triángulo de Moebius, donde se muestra las tres dimensiones involucradas en la idea de sostenibilidad. (Hünemeyer et al. 1997).....	24
2. Triangulo para determinar las clases texturales.....	27
3. Clasificación de la densidad aparente.....	28
4. Localización geográfica del área de estudio, Región Huánuco (A), Provincia Leoncio Prado (B) y Distrito Hermilio Valdizan (C y D).	39
5. Esquema del área geográfica de estudio, delimitando las cuatro (04) sub-áreas de muestreo, en la carretera de penetración del Distrito Hermilio Valdizan.	42
6. Muestras tomadas en Hermilio Valdizán, de suelos con sembríos de café.	43
7. Comportamiento del pH en suelos con plantaciones de café	54
8. Comportamiento de la MO del suelo con plantaciones de café	55
9. Comportamiento del N en suelos con plantaciones de café.	56
10. Comportamiento del P en suelos con plantaciones de café	57
11. Comportamiento del K en suelos con plantaciones de café.	58
12. Comportamiento del Ca en suelos con plantaciones de café.....	59
13. Comportamiento del Mg en suelos con plantaciones de café.....	61
14. Comportamiento de la CIC en suelos con plantaciones de café.....	62
15. Comportamiento de BC en suelos con plantaciones de café.....	64
16. Visita al área de estudio en el Primer muestreo.....	90
17. Reconocimiento del área del primer muestreo.	90
18. Toma de muestra aleatorio, en el primer muestreo.	91
19. Visita al área de estudio en el segundo muestreo.	91
20. Reconocimiento del área del segundo muestreo.....	92
21. Toma de muestra aleatorio, en el segundo muestreo.....	92
22. Transporte de las muestras en el segundo muestreo.....	93
23. Procesamiento de las muestras.	93
24. Muestras en procesamiento para el análisis.....	94

RESUMEN

El suelo, sustrato y recurso base para la biodiversidad de la Tierra; pero, su masificadora utilidad genera impactos significativos, tomando relevancia los indicadores físico-químico-biológico para la sostenibilidad de sus servicios ecosistémicos. Al no establecerse estándares universales sobre la calidad del suelo, recurrimos a indicadores para diagnosticar y sugerir correcciones para una calidad ambiental sostenible. Siendo necesario entender, ¿Cómo influyen los indicadores físico-químicos en la calidad del suelo en plantaciones de *Coffea arábica* (café) del Distrito Hermilio Valdizán?, por ello, evaluamos los indicadores físico-químicos del suelo en plantaciones de café, de dos(C2), tres(C3), cuatro(C4) y cinco(C5) años respectivamente. Determinándose: Textura Franco Arenoso y Franco Arcillosos Arenoso; pH ligeramente ácidos; nivel medio de M.O., N, P, Ca; niveles bajos en K, Mg, CIC, BC; la clasificación de calidad indican, C2, C4 y C5 baja calidad y C3 calidad moderada; El análisis de componentes principales(ACP) y la correlación entre indicadores de calidad indican, relación positiva significativa, negativa débil entre tratamientos y % de arena; negativa media con Ca, Mg, K y negativa considerable con CIC, positiva débil con pH y positiva media con arcilla y BC, relación positiva media del K con Ca, Mg y CIC; positiva media del pH con P y BC; el Ca, correlación positiva muy fuerte con Mg y CIC; y, positiva considerable entre Ca y CIC. Concluimos que, los indicadores físico-químicos condicionan directamente la calidad del suelo, influyendo negativamente el desarrollo de plantaciones de café del Distrito Hermilio Valdizán.

Palabras clave: Sostenibilidad, Diagnosticar, Análisis, Componentes, Correlación.

ABSTRACT

The soil, substrate and base resource for the Earth's biodiversity; However, its mass utility generates significant impacts, making physical-chemical-biological indicators relevant for the sustainability of its ecosystem services. Since universal standards for soil quality have not been established, we turn to indicators to diagnose and suggest corrections for sustainable environmental quality. Being necessary to understand, How do physical-chemical indicators influence the quality of the soil in *Coffea arabica* (coffee) plantations in the Hermilio Valdizán District? Therefore, we evaluated the physical-chemical indicators of the soil in coffee plantations, of two (C2), three (C3), four (C4) and five (C5) years respectively. Determining: Texture Sandy Loam and Sandy Clay Loam; slightly acidic pH; average level of M.O., N, P, Ca; low levels in K, Mg, CEC, BC; The quality classification indicates C2, C4 and C5 low quality and C3 moderate quality; The principal component analysis (PCA) and the correlation between quality indicators indicate a significant positive relationship, a weak negative relationship between treatments and % of sand; medium negative with Ca, Mg, K and considerable negative with CIC, weak positive with pH and medium positive with clay and BC, medium positive relationship of K with Ca, Mg and CIC; positive mean pH with P and BC; Ca, very strong positive correlation with Mg and CEC; and, considerable positive between Ca and CEC. We conclude that physical-chemical indicators directly condition soil quality, negatively influencing the development of coffee plantations in the Hermilio Valdizán District.

Keywords: Sustainability, Diagnose, Analysis, Components, Correlation

I. INTRODUCCIÓN

El suelo, debido a su papel crucial en la agricultura, la ganadería y la silvicultura, es uno de los recursos más importantes para la vida en la Tierra. La forma en que se utiliza el suelo tiene un impacto significativo en la producción de alimentos (Martin y Adad, 2006); es así que, durante los últimos tiempos se vienen complementando las interpretaciones en la propiedades físicas, químicas y biológicas del suelos y destacando cada vez más en su sostenibilidad a fin de contribuir y sustentar los servicios ecosistémicos que brinda como Servicios de Soporte (edafogénesis, ciclo del carbono y nutrientes, producción primaria, biodiversidad), Servicios de Abastecimiento (de alimentos, productos maderables y no maderables, agua pura, medicamentos), Servicios de Regulación (de agua, clima y gases de efecto invernadero, control de plagas y enfermedades); y, Servicios Culturales (culturales ancestrales, turismo y recreación, educación ambiental) y como disminuir la polución medioambiental. Sin embargo, aún no se han establecido estándares universales para medir los cambios en la calidad del suelo, por lo que se recurre a indicadores que son rasgos edáficos susceptibles al manejo y a las condiciones edafoclimáticas, entre otras características, que nos brinde apreciar su estado. (García et al 2012).

A nivel mundial el Perú es el segundo mayor productor de “café orgánico”, siendo esta actividad el principal pilar de la agroexportación del país (Ministerio de Agricultura y Riego, 2019), y de acuerdo con la Organización Internacional del Café (OIC, 2019) en producción, ocupa el decimoprimer lugar.

El MINAGRI (2019), establece que la producción de café en el territorio peruano se intensificó en 17 regiones, abarcando 67 provincias y 338 distritos en el que compromete la participación de aproximadamente 225 000 familias, pero la casi totalidad es decir el 35% son pequeños agricultores, propietarios de, no mayor de 5 hectáreas; El 75% de los cultivos de café en territorio del Perú son producidos en zonas ubicadas entre 1000 a 1800 msnm.; y, el tipo de café de mayor producción corresponde al café Arábica, siendo la variedad de mayor proporción *típica*, *caturre* y otros, con más de 70%, 20% y 10% respectivamente.

En el presente, los sustratos de agroecosistemas cafetaleros vienen degradándose progresivamente debido principalmente al inadecuados criterios de utilizados en este sistema de uso de suelo y cultivo, sumándose a esto los efectos del cambio climático (variaciones climáticas no frecuentes con la épocas del año, incrementos bruscos de sucesos meteorológicos drásticos) conllevando a los ecosistemas naturales a reducir sus propiedades de resiliencia que brindan y consecuentemente aumentan la vulnerabilidad de las zonas rurales amenazando más aún la producción agrícola y biodiversidad; y, si analizamos la tendencia climática para la región amazónica hacia el 2030, se pronostica variaciones notorias en el clima, lo que va a generar el incremento de temperatura y por consiguiente las precipitaciones convirtiéndose estos en los gestores de la aparición de plagas y enfermedades.

Los agroecosistemas de la zona de estudio muestran problemáticas vinculadas con la sostenibilidad ambiental a causa de la aplicación deficiente de técnicas que no han tenido los resultados esperados en la sostenibilidad y consecuentemente ha deteriorado la calidad del suelo y su conservación repercutiendo directamente en los sistemas de plantaciones más predominantes como el del “café”. Por lo argumentado, esta investigación realiza la siguiente interrogante: ¿Cómo influyen los indicadores fisicoquímicos en la calidad del suelo en plantaciones de café en el Distrito Hermilio Valdizán – Leoncio Prado?

El poco conocimiento de información sobre la calidad del suelo según los parámetros fisicoquímicos en la zona de estudio, justifica el desarrollo de buscar de datos recientes que puedan ayudar y estar disponible para contribuir en la toma de decisiones y contribuir en la gestión adecuada a mejorar y recuperar los sistemas de uso de suelo en plantaciones de café y otros, contribuyendo a la recuperación de suelos degradados por acciones antrópicas.

Ante la escases de aportes sobre la calidad del suelo en el Distrito Hermilio Valdizán, la presente investigación pretende aportar información al respecto y relacionar los parámetros fisicoquímicos en la calidad del sustrato de plantaciones de café, contribuyendo datos disponibles a las instituciones competentes (locales, provinciales,

regionales y nacionales) colaborando en la gestión para promover acciones correctivas y mejoras que permitan a los agroecosistemas cafetaleros a una mayor sostenibilidad productiva y amigables al ambiente. Permittiéndonos de esta forma plantear la hipótesis: Los indicadores fisicoquímicos influyen de forma significativa en plantaciones de *Coffea arábica* (Café) en el Distrito Hermilio Valdizán – Leoncio Prado.

1.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de los indicadores físico-químicos en la calidad del suelo en plantaciones de *Coffea arábica* (“café”) en el distrito Hermilio Valdizán – Leoncio Prado.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímicos del suelo (textura, pH, MO, N, P, K, Ca, Mg y CIC), en plantaciones de *Coffea arábica* (Café) en el distrito Hermilio Valdizán – Leoncio Prado.
- Determinar la calidad del suelo a través del índice de calidad (ICS) de Cantú, en plantaciones de *Coffea arábica* (Café) en el distrito Hermilio Valdizán – Leoncio Prado.
- Determinar los indicadores relevantes a través del análisis de componentes principales (ACP) y la correlación entre indicadores de calidad del suelo en plantaciones de *Coffea arábica* (Café) en el distrito Hermilio Valdizán – Leoncio Prado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes:

2.1.1. Antecedentes internacionales

En Cuba se reconocen catorce tipos de suelos diversos (Instituto de Suelos, 1999). Estos grupos tienen elementos comunes (clima, roca madre, flora, relieve) y se desarrollan de manera similar.

Según el total, el suelo Pardo Sialítico (27,0%), el suelo Ferralítico (16,7%) y el suelo Ferralítico (11,6%) son los tipos de suelo más comunes (Instituto de Suelos, 1999). Según las evaluaciones más recientes de las tierras del país, el 65% de los suelos se clasifican como tipos III y IV (Instituto de Suelos, 2006). Esto sugiere que estos suelos están impactados por uno o más factores limitantes, lo que reduce su rendimiento potencial a menos del 50%.

Esto indica que para que la agricultura sea sostenible, el manejo de los agroecosistemas debe hacerse con sumo cuidado y eficiencia, a fin de mantener el equilibrio ecológico. La falta de materia orgánica y nutrientes en los suelos cubanos, unido a su propensión a la acidez, son las principales causas de su baja productividad. Investigaciones recientes revelaron una depreciación de 10 526 millones de USD/ha; el 94% de la cantidad total correspondió a carbono, y el resto al nitrógeno; también se demostró la disminución de la materia orgánica, esencial para la sostenibilidad de los ecosistemas.

En el 2005 en Turrialba en el país de Costa Rica, estudios realizados sobre la calidad del suelo en fincas de café orgánico y convencional, a través de la identificación de variables físicas (como: densidad aparente, textura, humedad, etc.), químicas (como: materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, etc.) en bosques y fincas sin coberturas demostró que, los índices de calidad del suelo inciden en, una mejor y eficiente producción biológica con respecto a fincas convencionales sin coberturas (George, 2006).

En Bogotá - Colombia, en el municipio de Madrid, en el año 2012, se evaluó la calidad del suelo en sistemas productivos orgánicos con el propósito de: 1°. Describir el agroecosistema orgánico a fin de conocer su estructura, funcionalidad y el manejo; 2°. Analizar las propiedades físico-químico-biológicas del suelo con productos de diferentes

edades (20 años, 10 años y 3 años); y, 3°. Evaluar la calidad del suelo en subsistemas de plantaciones de sembrado de hortalizas orgánicas. Los resultados indicaron que, presentan suelos de alta calidad, aun así, también mostraron que algunos factores como el tipo de laboreo y la aplicación de materia orgánica pueden ser mejoradas aumentando la calidad de los suelos (Abi-Saab, 2012).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la tesis, "Enmiendas, calidad del suelo y desempeño de la asociación *Trifolium pratense* - *Lolium eterna* bajo invernadero", se trazaron los siguientes objetivos: (i) evaluar el impacto de los niveles de estiércol y dolomita en la calidad del suelo; (ii) evaluar el impacto de los niveles de estiércol y dolomita en la salud de la asociación de pasturas (*Trifolium pratense* - *Lolium eterna*); y (iii) identificar los niveles de estiércol y dolomita que tienen el mayor impacto tanto en la calidad del suelo como en la salud de la asociación de pasturas. Se utilizó un diseño totalmente al azar en un arreglo factorial 2 x 4 con tres repeticiones y cinco extras en macetas con capacidad de 4 kg. El experimento se llevó a cabo en un invernadero sobre un suelo arcilloso, muy ácido. Se formaron dos grupos: uno con plantas y otro sin ellas. Se evaluaron tres marcos temporales: (i) Los aspectos físicos de la calidad del suelo incluyen densidad aparente, tasa de infiltración, índice de inestabilidad estructural; (i-2) Los aspectos químicos incluyen materia orgánica, fósforo disponible, calcio, magnesio y potasio intercambiables, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), pH (i-3); (ii) Los aspectos de sanidad del cultivo incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, número y peso de nódulos. Una mayor cantidad de estiércol hace que los indicadores de inestabilidad estructural y densidad aparente disminuyan linealmente, mientras que los indicadores de infiltración, químicos y biológicos aumentan. Las plantas presentan un desequilibrio de calcio, magnesio y nitrógeno en dosis de 10 y 15 t de estiércol con dolomita. Estos hallazgos están respaldados por los resultados del análisis de varianza, la prueba de comparación de promedios de Tukey y el análisis de tendencias realizados durante los primeros seis meses del experimento. El estiércol tiene un impacto menor en las propiedades físicas del suelo y un mayor impacto en los aspectos químicos y biológicos. Una dosis de 20 t de estiércol/ha y 4 t de dolomita/ha mejora el rendimiento general. Todos los parámetros evaluados sufren modificaciones más notables como resultado de la catálisis de las raíces (Arévalo, 2014).

En la tesis titulada “Dinámica de los indicadores de calidad del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao”, se establecieron varios objetivos: (i) analizar las variaciones en las características físicas y químicas del suelo en dos tipos de producción de cacao; (ii) investigar la dinámica poblacional de hongos y nematodos en la rizosfera de diferentes genotipos de cacao en esos dos sistemas; y (iii) calcular índices de calidad del suelo a partir de esta información. Para ello, se realizó un experimento en el sitio “El Choclino” del Instituto de Cultivos Tropicales en Tarapoto, San Martín, Perú, donde se trasplantaron y evaluaron diez genotipos de cacao junto con un híbrido local en dos sistemas de producción: uno convencional y otro agroforestal. Se tomaron muestras de suelo durante los años 2004, 2006, 2008 y 2010 para llevar a cabo análisis físicos, químicos y de la comunidad microbiana, considerando el genotipo y tres profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm). Se evaluaron las variaciones en las poblaciones de microorganismos (hongos y nemátodos) según el sistema, genotipo, profundidad y año, así como los cambios en los parámetros fisicoquímicos del suelo. A partir de estos datos, se calculó el Índice de Calidad del Suelo (ICS) para ambos sistemas. La densidad aparente y la porosidad fueron indicadores de propiedades físicas que mostraron diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las evaluaciones. Asimismo, los indicadores químicos como pH, contenido de materia orgánica, y las relaciones NPK (nitrógeno/fósforo/potasio) y microelementos también presentaron diferencias significativas entre los sistemas. Con el tiempo, los sistemas evaluados influyeron en la abundancia de nematodos y hongos, así como en los índices de riqueza y diversidad de Shannon-Weaver y Simpson. La transformación del entorno natural genera diversas alteraciones físicas, químicas y biológicas en el suelo, lo que afecta su idoneidad para una agricultura sostenible (Cerda, 2008).

2.1.3. Suelo

“El suelo es un sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, fundamental e irremplazable, desarrollado a partir de una mezcla de materia orgánica, minerales y nutrientes capaces de sustentar el crecimiento de organismos y microorganismos”, afirma la teoría propuesta por Atlas y Bartha (2002) y Nannipieri et al. (2003).

Es por eso que, el sustrato terrestre “suelo” es el pilar base sobre el cual se sustenta el crecimiento vegetal y animales asegurándonos así la generación de

alimentos, pero, solo una correcta manipulación de los agroecosistemas será permitida, si se acoplan adecuadamente factores como: el clima, manipulación de plantas, los animales y la formación cultural.

La vegetación y en especial las plantaciones se abastecen de nutrientes en la cantidad necesaria que le permitan un crecimiento y desarrollo gracias a la fertilidad del suelo, la cual depende directamente de la interacción ecuánime de sus capacidades físicas, químicas y biológicas (Pentón et al).

El desarrollo del suelo sucede a través de un proceso multifacético que incluye modificaciones en su química, biología y propiedades físicas de la roca original. Las modificaciones físicas, que se producen por los ciclos de hielo-deshielo, la lluvia y otros factores ambientales, involucra la reducción del tamaño de las partículas sin cambiar el contenido del material. Las modificaciones químicas se crean cuando las partículas minerales se separan de las rocas; el agua, el oxígeno, el dióxido de carbono y las sustancias orgánicas son los principales responsables de su modificación o aniquilación y resíntesis en compuestos sólidos estables (Budhu, 2007).

La preservación del suelo está vinculada a su capacidad de resiliencia, la cual se asocia con la calidad del suelo en relación con la recuperación de sus funciones, como la producción sostenible y los servicios ambientales. Esta resiliencia depende de diversos factores, incluyendo las comunidades biológicas, las condiciones climáticas, las prácticas de manejo del suelo, así como el tipo e intensidad de las perturbaciones y la escala temporal y espacial de observación (Labrador, 2008). Cuando el suelo sufre disturbios de manera continua, su habilidad para restablecer el equilibrio dinámico de sus funciones disminuye, lo que hace necesario implementar buenas prácticas de manejo para facilitar su recuperación.

El suelo se considera un recurso natural limitado y no renovable que proporciona múltiples servicios ecosistémicos. En lo que respecta a la producción de alimentos y biomasa, más del 95 % de esta actividad depende directa o indirectamente del suelo. Este elemento es fundamental para los ciclos biogeoquímicos esenciales para la vida, como el carbono, nitrógeno, fósforo y zinc, entre otros. Además, un tercio de la superficie terrestre se destina a la agricultura, y el suelo actúa como el principal sumidero de carbono, almacenando en su primer metro 1,5 veces más carbono que las plantas.

El suelo actúa como base para las actividades humanas y proporciona materias primas; es un reservorio de biodiversidad; un almacén del patrimonio geológico y arqueológico; y constituye el entorno físico y cultural de la humanidad (Burbano, 2016).

Según Soto (2006), el suelo ya no es un recurso renovable y debe descomponer la materia orgánica para reciclar los nutrientes y regenerarse.

El suelo, es considerado el único sustrato medioambiental, base para los organismos autótrofos que: capta, retiene, recepciona y contiene y proporciona el recurso hídrico, siendo ambientalmente un efectivo filtro, asimismo, la capacidad de autorregularse y operar de acuerdo con las limitaciones del ecosistema con el que interactúa y del que forma parte de esta manera (Parr et al, 1992).

2.1.4. Agroecosistemas: Suelos Fértiles

Los agroecosistemas son el resultado de los cambios que la comunidad produce en el entorno físico y en la composición demográfica. El ecosistema tiene una fuerza o tendencia que conduce al desarrollo de un ecosistema estable. El clímax es la última etapa de un ecosistema, y la comunidad final que se forma allí está determinada por las características agroclimáticas de la región, la topografía, el clima y otros factores. Esta etapa de clímax se caracteriza por generar sistemas estables, o más o menos estables, donde teóricamente se obtiene la biomasa máxima por unidad de energía (Odum, 1998). Dado que las etapas de desarrollo son las etapas permanentes de los agroecosistemas, estas se denominan “etapas seriadas” y tienen un impacto significativo en los sistemas agrícolas.

Según Odum (1984), los agroecosistemas son un tipo único de ecosistema que se encuentra entre los ecosistemas naturales y los ecosistemas urbanos, como las ciudades, que están completamente construidas por los seres humanos. Debido a que nos brindan alimentos y fibras y tienen un impacto significativo en el medio ambiente, los agroecosistemas pueden tener la mayor influencia en la vida humana de todos los ecosistemas.

Existen varias distinciones y paralelismos entre los agroecosistemas y los ecosistemas naturales. La planificación de una gestión adecuada de estos ecosistemas con el propósito de una producción sostenible a largo plazo requiere el

conocimiento de estas características y el impacto que los métodos agrícolas específicos tienen sobre ellos.

Al mantener continuamente el ecosistema en sus fases juveniles extremadamente productivas mediante subsidios energéticos, el productor puede cambiar la propensión natural del ecosistema hacia la complejidad.

Existen muchas ideas y conceptos para caracterizar lo que se entiende por “suelos fértiles”. Sin embargo, el término "suelo fértil" se ha utilizado de manera histórica y tradicional para referirse a la condición y comportamiento de los suelos en contextos tanto forestales como agrícolas (Brady, 1990; Havlin et al., 1999). Generalmente, se define el suelo fértil como aquel que puede proporcionar suficientes nutrientes a los cultivos para apoyar su crecimiento y desarrollo (Brady, 1990; Havlin et al., 1999).

No obstante, varios autores consideran que estas definiciones son insuficientes o limitadas, ya que omiten factores clave en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por ejemplo, Pieri (1989) y Etchevers (1999) argumentan que la fertilidad del suelo es un concepto mucho más amplio que debe incluir atributos físicos, químicos y biológicos.

Estos tres atributos contribuyen de manera significativa a la estabilidad y productividad de los agroecosistemas, y están interrelacionados. Según Huerta et al. (2008), los macroinvertebrados del suelo facilitan procesos como la infiltración, la aireación y la incorporación de materia orgánica. Por su parte, los microorganismos, a menudo considerados como ingenieros químicos del suelo, son responsables de la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes accesibles para seres humanos, animales y plantas, además de desempeñar un papel esencial en la formación de humus. En este contexto, Cairo y Herrera (1994) informaron que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) aumenta en 2 cmol.kg⁻¹ por cada 1% de incremento en el contenido de materia orgánica.

Así, un suelo fértil se caracteriza por mantener las propiedades físicas, químicas y biológicas óptimas, al mismo tiempo que proporciona suficiente agua y nutrientes, así como soporte mecánico para las plantas (Etchevers, 1999). Por lo tanto, las propiedades biológicas del suelo están estrechamente ligadas a sus propiedades físicas,

como la agregación, y a sus propiedades químicas, como la capacidad de intercambio iónico y la disponibilidad de nutrientes.

2.1.5. Calidad del suelo

La calidad del suelo es conceptualizada como la capacidad de utilidad del suelo para un objetivo específico en un intervalo de tiempo, que está condicionado directamente por las propiedades dinámicas del suelo (Romig et al, 1995).

La calidad del suelo tiene como propósito buscar que sustrato permite maximizar la producción y antagónicamente minimizar la erosión. A través de la calidad del suelo se busca asociarse muy estrechamente a la sostenibilidad (quien presenta varias excepciones) del sistema de uso de suelos, basándose en la capacidad siempre de proporcionar atributos como la fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Todos estos deben ser considerados instrumentos que nos permiten comprender la utilidad y salud del estrato y recurso “suelo”.

Los ecosistemas naturales y/o condicionados como los agroecosistemas (sistemas de uso de suelo) para mantener su funcionamiento adecuado depende de su capacidad. Es por eso que, para el Comité para la salud del suelo de la Soil Science Society of America, para obtener la calidad del suelo óptimo, este dependerá directamente de la multifuncionalidad que le permite una capacidad de funcionar en los límites de un sistema natural y/o condicionado (Agroecosistemas, sistemas de uso de suelo) que le brinde productividad, manejo o mejoras de su campo y brindar sostenibilidad a la salud humana y su hábitat. (Karlen et al, 1997).

Por tal motivo, durante la evaluación de la sostenibilidad de los agroecosistemas, se requieren indicadores que permitan estimar la calidad ambiental a largo plazo que permitiría generar una gestión idónea en el manejo de estas (Doran, 1994).

2.1.6. Indicadores de calidad del suelo

Los indicadores también son conocidos como “variables” que nos muestran la situación y a la vez nos brinda señales sobre las tendencias que está tomando en este caso el sustrato terrestre suelo (Dumanski et al, 1998); y, de acuerdo con Adriaansen (1993), los indicadores son herramientas que nos permite examinar, abreviar, valorar e informarnos los sucesos que están sucediendo en un sustrato. En el caso del sustrato terrestre suelo, son sus propiedades físicas, químicas, biológicas y diferentes procesos restringen el buen desempeño del suelo (SQI, 1996).

Según Hünne Meyer et al (1997), el uso de los indicadores del suelo se aplica con la finalidad de facilitarnos cuatro ventajas:

- 1°. Examinar la actual situación y reconocer los puntos críticos que restringen la sostenibilidad del suelo.
- 2°. Estudiar los impactos que se han generado por alguna alteración.
- 3°. Evaluar los impactos de las actividades antrópicas; y,
- 4°. Facilitar el diagnóstico de la sostenibilidad del recurso suelo.

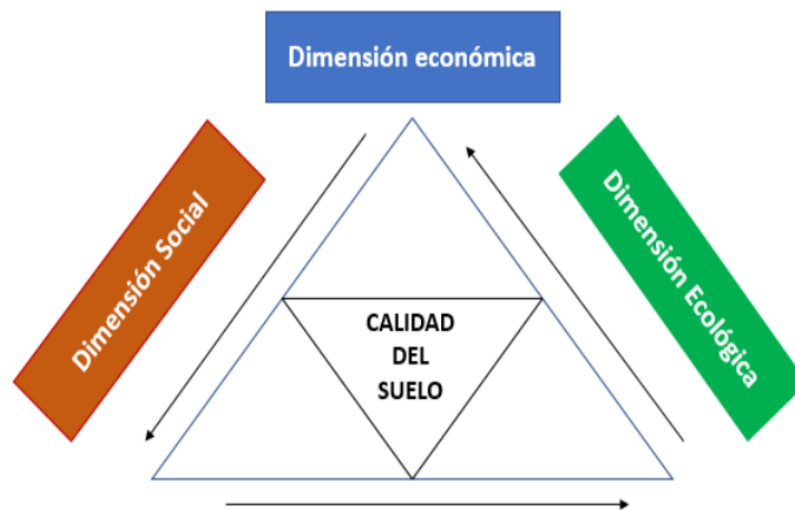


Figura 1. El triángulo de Moebius, donde se muestra las tres dimensiones involucradas en la idea de sostenibilidad. (Hünne Meyer et al. 1997)

La calidad del suelo se basa en la sostenibilidad de este recurso y depende de tres elementos, pilares en el aprovechamiento de todo recurso, y son:

- 1) La Dimensión Ecológica, donde los componentes y las interacciones del ecosistema deben mantenerse en el tiempo.
- 2) La Dimensión Económica, en el que la rentabilidad generada debe ser razonable a través del tiempo.
- 3) La Dimensión Social, debe presentar un grado de satisfacción aceptable de acuerdo a las necesidades.

Los sistemas de uso de suelo o agroecosistemas abocados a la producción de café, también son participes del desarrollo agrícola y consecuentemente abarca las tres vertientes señaladas por Hünne Meyer et al (1997). En base a esta perspectiva nos muestran que, los Índices de Calidad del Suelo (ICS) siempre mostrará un dinamismo en el tiempo por lo que se buscará siempre el equilibrio entre estos tres propósitos de la sostenibilidad.

Entonces, según Arshad y Coen (1992), los indicadores que permiten examinar la Calidad del Suelo siempre tienden a variar de acuerdo a la localidad, tipo de uso, su función y factores que condicionan la formación del suelo; Asimismo, Doran et al (1996), señala que el reconocimiento eficaz de indicadores adecuados para analizar la calidad del suelo estará sujeto al propósito de estudio de múltiples componentes, es por eso que el reconocimiento siempre esta enmarañado por múltiples factores que condicionan los ciclo biogeoquímicos y sus magnitudes por periodos y tiempo.

Es por eso que, las siguientes son las funciones del suelo para las cuales se utilizó por primera vez el término "calidad del suelo" (Doran y Parkin, 1994; Karlen et al., 1997):

1. Incentivar la producción del sistema al tiempo que se preservan sus características químicas, físicas y biológicas (productividad biológica sostenible).
2. Reducir la presencia de agentes patogénicos y minimizar la contaminación medioambiental. (calidad ambiental).
3. Fomentar el bienestar de las personas y la biodiversidad.

Se cree que la calidad del suelo está determinada por su aptitud para soportar un uso determinado (Gregorich et al., 1994). De la misma forma Arshad y Coen (1992) proporcionaron una definición más ecológica de esta idea, afirmando que es la disposición de absorber, retener y reutilizar energía, minerales y agua para la generación de cultivos de una manera que mantenga la salud ambiental.

Para que las características del sustrato terrestre se han fundamentados como indicadores de calidad, tienen que cumplir requisitos (Masera et al., 1999):

- Tener capacidad integradora.
- Tener cuantificación rápida, respaldándose en datos imparciales y de fácil identificación
- Ajustarse al sistema en estudio y al grado de análisis.
- Adaptable a variedad de ambientes y circunstancias.
- Tener en cuenta el factor de sostenibilidad que se evaluará.
- Presentar comprensión simple.
- Estar sujeto a ajustes y variaciones entre sistemas.
- Reunir detalles obvios y útiles.

Entre las características elegidas como marcadores de la calidad del suelo, además de las circunstancias mencionadas anteriormente, Ramírez (2004) señaló que:

Los procesos que se integran en el suelo, deben estar altamente correlacionados con los procesos ecosistémicos; deben ser sensibles a los cambios, tanto en los procesos de degradación como de recuperación; y deben ser razonablemente simples para que los productores y los expertos puedan medirlos en el campo.

2.1.7. Indicadores de calidad física del suelo

Las propiedades físicas del suelo son de gran utilidad en el estudio de la calidad del suelo, ya que su mejoría es muy compleja (Singer y Ewing, 2000). Esta propiedad del suelo nos muestra la forma de como el suelo capta, contiene y propaga el recurso hídrico a la vegetación y del mismo modo nos indica las restricciones que afectan el crecimiento radicular, el desplazamiento a través de los horizontes y su influencia en la composición y porosidad. Los indicadores físicos que contribuyen a la calidad son números, por lo cual en la investigación tomó en consideración a aquellos que muestran una rápida respuesta de acuerdo al sistema de uso de suelo o agroecosistemas, y en esta investigación se trata de suelos de producción cafetalera.

Así mismo, las propiedades físicas están directamente involucrado con la reducción del efecto invernadero y el aumento de la productividad agrícola a través del uso efectivo del agua, fertilizantes requeridos y la intensidad de pesticidas aplicados (Navarro et al, 2008 y Lal, 1998). Es por eso que, la cuantificación de estos parámetros físicos está influenciados por el sistema de uso de suelos o agroecosistemas aplicados y sus respectivas técnicas de manejo (Carter, 2002; Sánchez-Maranon et al, 2002; Dextre, 2004). Es así como, existen un amplio número de parámetros físicos del suelo, pero solo, la textura, la densidad aparente, han sido considerados en la presente investigación por su rápida respuesta ante los sistemas de uso de suelo.

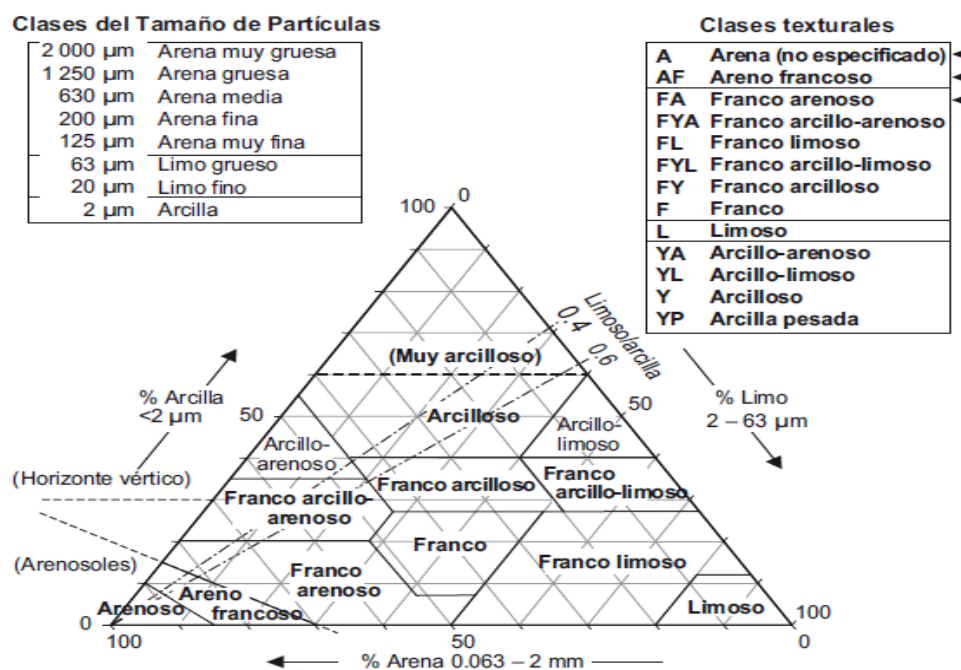
- **Textura**

Se emplea para describir las proporciones de arena, arcilla y limo, que son minerales con diámetros variables, determinando así la textura del suelo según la relación de cada fracción. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) desarrolló un sistema de clasificación basado en la interpolación de estas tres fracciones

en un gráfico que abarca 13 categorías o clases texturales (Figura 1) (FAO, 2021). En el contexto de este curso, se permite realizar deducciones directas relacionadas con otros signos físicos.

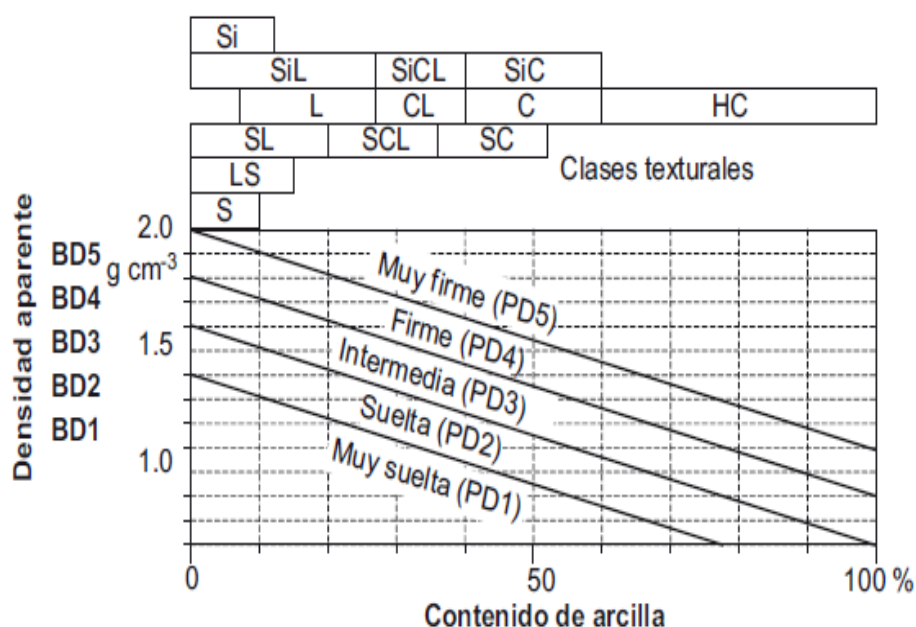
- **La textura del suelo y la Da**

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación – SAGARPA (2012) identificó rangos de interacción entre densidad y textura (Cuadro 1) en función del desarrollo de la planta ya que demuestran una estrecha relación en la que cambios en una conllevan a cambios en la otra.



Fuente: FAO (2009)

Figura 2. Triángulo para determinar las clases texturales.



Fuente: FAO (2009) *BD1 (0,9-1,2)*, *BD2 (1,2 -1,4)*, *BD3 (1,4-1,6)*, *BD4 (1,6-1,8)*, *BD5 >1,8 g/cm³*

Figura 3. Clasificación de la densidad aparente

Tabla 1. Interacción textura, Da y crecimiento radicular.

Textura	Ideal (kg m ⁻³)	Aceptable (kg m ⁻³)	Puede afectar el crecimiento (kg m ⁻³)	Restringe crecimiento (kg m ⁻³)
Ar, Ar - fr	< 1,60	1,60 a 1,69	1,69 a 1,80	> 1,80
Fr - ar, Fr	< 1,40	1,40 a 1,63	1,63 a 1,80	> 1,80
Fr - arc - ar, Fr - arc	< 1,40	1,40 a 1,60	1,60 a 1,75	> 1,70
Li	< 1,30	1,30 a 1,60	1,60 a 1,75	> 1,75
Fr - li, fr - ar - li	< 1,40	1,40 a 1,55	1,55 a 1,65	> 1,65
Arc - ar, Arc - li	< 1,10	1,10 a 1,39	1,39 a 1,58	> 1,58
Arc (más de 45 %)	< 1,10	1,10 a 1,39	1,39 a 1,47	> 1,47

Fuente: SAGARPA (2012)

2.1.8. Indicadores químicos del suelo

Los condicionantes de este tipo se relacionan directamente con las reacciones químicas entre el suelo y la vegetación (plantaciones), la capacidad amortiguadora del sustrato, disposición hídrica y de nutrientes para la vegetación y microorganismos (SQI, 1996), y al interactuar determinan las variaciones de la materia

orgánica, la disposición de nitrógeno total y mineralizable, el potencial de hidrogenión, la capacidad de intercambio catiónico; y, la disposición de otros nutrientes nos muestra de la calidad del sustrato evaluado en la presente investigación.

El potencial de hidrógeno (pH), que es el indicador de referencia, es importante para determinar el grado de solubilidad de los minerales y su disponibilidad para la alimentación de las plantas debido a sus complejas propiedades químicas y su participación en las actividades del suelo (SAGARPA, 2012).

Tabla 2. Niveles de pH.

Nivel	Rango
Fuertemente ácido	<5,00
Medianamente ácido	5,00 a 6,50
Neutro	6,50 a 7,30
Medianamente alcalino	7,30 a 8,50
Fuertemente alcalino	≥8,50

Fuente: SAGARPA (2012)

Debido al impacto que la MO y el N tienen sobre otras cualidades del suelo, son cruciales para la nutrición de las plantas, se ha reconocido su contenido en la agricultura y las condiciones de fertilidad están determinadas por su concentración en el suelo (Demuner et al., 2013).

Tabla 3. Niveles de MO.

Clasificación	% MO
Muy bajo	<0,50
Bajo	0,50 a 1,50
Medio	1,50 a 3,50
Alto	3,50 a 6,00

Fuente: SAGARPA (2012)

El fósforo y el potasio son macronutrientes esenciales en la dieta. El fósforo es parte esencial de los fosfatos, necesarios para el crecimiento y la nutrición de las plantas. Las plantas dependen de aplicaciones externas y microorganismos simbióticos para satisfacer sus demandas porque rara vez está presente en formas asimilables y está presente en bajas concentraciones en la mayoría de los suelos. Otro nutriente importante y que la planta necesita en cantidades sustanciales es el potasio. Cuando el catión K^+ se libera de las partículas de arcilla, se absorbe de la solución del suelo (SAGARPA, 2012).

Tabla 4. Niveles de P.

Categoría	P (ppm)
Bajo	$P < 5,50$
Medio	5,50 a 11,00
Alto	$\geq 11,00$

Fuente: SAGARPA (2012)

Otra clase importante de nutrientes son las bases intercambiables (BC), como el calcio, abundante en suelos calcáreos y salinos, propios de zonas semiáridas; y el magnesio, componente de la clorofila vinculado a la fotosíntesis (SAGARPA, 2012). Ambos componen los principales nutrientes que utilizan las plantas.

Se debe tener en cuenta el contenido de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} y la proporción o relación entre ellas (para determinar su nivel de relación de acuerdo al tipo de cultivo a emplearse). Estas relaciones son importantes especialmente para seleccionar las enmiendas que se deben aplicar al suelo para neutralizar el aluminio intercambiable. Además, se recomienda en caso de que se presenten relaciones amplias de Ca/Mg, es conveniente la aplicación de dolomita para no ampliar esta relación.

Es importante saber que las bases cambiables (K^{+} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+}) presentes en el suelo nos permite conocer el estado nutricional y su nivel de fertilidad, por eso la dinámica del suelo está sujeto a diversos factores (tipo de cultivo, zona geográfica, historia de los sistemas de uso, tipo de sustrato, pendiente, etc.) que varían con el tiempo.

Las Bases Cambiables (BC) son considerados K^{+} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , siendo considerados los 3 primeros como Macronutrientes esenciales en ese orden de requerimiento respectivo por parte de la planta y el cultivo para un adecuado crecimiento: el K requerido en mayor cantidad, luego el Ca y finalmente el Mg.

Pero por parte de suelo hacia la planta, el orden de macronutrientes disponible es: $\text{K}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$, y es en ese orden también, como el suelo manifiesta su deficiencia. Y, por lo que, el suelo requiere en cantidad $\text{K}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$; porque la planta tiene mayor necesidad de K para su crecimiento, y el suelo tiene más suministro de Ca y Mg.

Para un óptimo suelo fértil, las BC están condicionados al pH del suelo:

pH = 7 → La suma de BC: $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+ = 100\% \text{CIC}$. → Hay Dominancia Cationes sobre las Cargas Negativas de los coloides del suelo.

pH < 7 → aparecen elementos de intercambio (ejemplo: Al)

pH < 5 → Aumenta el Al^{+3} = Intoxicación de raíces del cultivo (malformación) → Absorción de nutrientes crítico → [Al]% AUMENTA : BC Disminuye.

Por lo tanto, si las BC son mayores, la acidificación será poco probable. Para esta condición, la concentración de arcilla en el suelo, será un factor determinante que permite estimar la capacidad de acidificación del suelo.

Lo ideal en los análisis de suelos, las bases deberían estar en los siguientes niveles por cada base de intercambio:

Calcio (Ca^{+2}) = 7 a 12 cmol kg

Magnesio (Mg^{+2}) = 1 a 2 cmol kg

Potasio (K^+) = 0,4 a 0,6 cmol kg

Sodio (Na^+) = menor a 1 cmol kg

Suma de Bases Cambiantes = Mayor a 10 cmol kg

Tabla 5. Niveles de K^+ .

Categoría	K (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy bajo	<0,20
Bajo	0,20 a 0,30
Medio	0,30 a 0,60
Alto	≥0,60

Fuente: SAGARPA (2012)

Tabla 6. Niveles de Ca.

Categorías	Ca (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy bajo	<2,00
Bajo	2,00 a 5,00
Medio	5,00 a 10,00
Alto	≥10,00

Fuente: SAGARPA (2012)

Tabla 7. Niveles de Mg.

Categoría	Mg (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy bajo	<0,50
Bajo	0,50 a 1,30
Medio	1,30 a 3,00
Alto	≥3,00

Fuente: SAGARPA (2012)

El parámetro de CIC, permite cuantificar la capacidad que tiene el suelo para intercambiar (retener y liberar) nutrientes catiónicos (Ca, Mg, K, etc.) con las plantas, ayudándonos a deducir la capacidad de nutrientes que posee un determinado suelo y poder aplicar un adecuado sistema de uso del suelo o como poder optimizar la producción. De la misma forma, la sensibilidad de la CIC nos ayudará a determinar la presencia de contaminantes (metales pesados: Pb, Hg, Cd) evaluando así la “**Calidad del Suelo**”, para determinar el uso y tipo adecuado de fertilizantes para la recuperación del sustrato adecuado. El CIC de un suelo presenta una relación directamente proporcional a la retención de nutrientes (CIC Alto: Más nutrientes; y, CIC Bajo: menos nutrientes) e inversamente proporcional a la susceptibilidad de contaminación por metales pesados. Permittiéndonos así, maximizar la productividad y por consiguiente minimizar los costos, tratando así, de optimizar la sostenibilidad de estos recursos.

Tabla 8. Niveles de CIC.

Clase	CIC (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy alto	≥ 40,00
Alto	25,00 a 40,00
Medio	15,00 a 25,00
Bajo	5,00 a 15,00
Muy bajo	< 5,00

Fuente: SAGARPA (2012)

2.1.9. Índices de calidad del suelo (ICS)

Es la capacidad homogénea que debe mostrar el suelo a través de sus tres componentes (físico, químico y biológico), con la finalidad de brindar productividad, calidad, sostenibilidad y desarrollo al ecosistema que va a constituir. Mostrando una capacidad de funcionamiento dentro de los límites que un ecosistema (en este caso la

rizosfera) necesita y que puedan ser notados y cuantificados a través variables o indicadores que nos brinde información relevante de un fenómeno o suceso de interés perceptible y cuantificable en información. Es por eso que los índices dependen de sus indicadores que van a cumplir la función de: Evaluar tendencias o condiciones, comparar situaciones, evaluar metas y propósitos, para poder informar preventivamente y poder anticipar tendencias futuras.

En la investigación se utilizaron adaptaciones de dos propuestas conocidas, SAGARPA (2012) y Cantú et al. (2009), para los índices, las cuales se basan en la normalización de valores de varios indicadores que indican la calidad del suelo. Dichas propuestas se presentan a continuación:

- **Metodología del Sub Índice de Uso Sustentable del suelo (SUSS)**

SAGARPA (2012) desarrolló una técnica para calcular el índice de calidad del suelo que incorpora las ideas de enfoques anteriores y agrega el requisito de realizar los cálculos con base en indicadores de calidad, también llamados indicadores relevantes. Esta metodología evalúa los efectos de manera exhaustiva y es de gran ayuda para rastrear los cambios que surgen a lo largo del tiempo como resultado del uso de ciertas estrategias de manejo del suelo. Al estandarizar cada indicador del suelo, el SUSS agrupa los indicadores de calidad fisicoquímica (SAGARPA, 2012).

$$SUSS = \frac{\sum_i^n = 1 P_i}{n}$$

Donde:

P: Es el promedio del valor de los parámetros normalizados.

i: Es cada indicador o parámetro analizado.

n: Es el número total de parámetros analizados.

- **Índice de calidad de Cantú**

Se utiliza en la investigación porque, aunque se basa en el mismo principio fundamental que el método SUSS, incorpora algunos indicadores adicionales que no estaban contemplados en dicho método. El Índice de Calidad del Suelo (ICS) de Cantú presenta dos escenarios: el primero se refiere a cuando el valor máximo del indicador (I_{max}) representa la mejor condición posible para la calidad del suelo, lo que establece un valor normal del índice de 1; el segundo escenario se presenta cuando el

valor I_{max} se asocia a la peor situación posible para la calidad del suelo, resultando en un valor normal del índice de 0 (Cantú et al., 2007).

2.2 Cultivo de *Coffea arábica* (café)

Uno de los cultivos más populares para las exportaciones agrícolas de Perú es el café. Con 359,508 hectáreas de producción repartidas en todo el país y un rendimiento promedio por hectárea de 1,010 kg (FAO, 2019), el país ocupa el quinto lugar en el mundo en exportaciones de café arábico, detrás de Honduras, Etiopía, Colombia y Brasil (DGPA, 2020). Esto lo coloca como el séptimo mayor exportador de café a nivel mundial. El 58,0% del monto exportado es adquirido por Estados Unidos, Alemania y Bélgica, que son los principales países importadores (SSE, 2020).

2.2.1. Origen y distribución

El café se originó en las montañas africanas de Etiopía y Sudán. Sus orígenes se remontan al Yemen, donde su cultivo comenzó quizás en el siglo XV. Desde allí, se expandió rápidamente por todo el mundo árabe. Los holandeses se convirtieron en los principales productores de café en Europa una vez que lograron transportar el producto y comenzaron a cultivarlo en Malabar e Indonesia en 1699. Se plantó por primera vez en América en la década de 1720 y, una vez que llegó a América Central en 1825, su cultivo comenzó a expandirse progresivamente por todo el mundo (Montalvo y Villalva, 2017).

Según Külh (2004), los primeros registros de la producción y uso del café en Nicaragua datan de 1820. Antes de 1825, el café se llevaba a la meseta de Carazo y antes de 1845, se cultivaba comercialmente en las Sierras de Managua, en las faldas de los volcanes Granada y León. Se dice que antes de 1860, los monjes Policarpo y Gordiano incentivaron el cultivo del café en las regiones del norte del país. Debido a acontecimientos históricos, la cultura del cultivo del café en la nación se expandió, aumentando la exportación y la producción a pesar de la volatilidad de los precios. En 1848, se tiene registro del primer envío de café de Nicaragua a Mazatlán, México.

En Centroamérica, según IICA (2004), se pueden producir todos los tipos de café con el suelo y el clima adecuados, pero no se está aprovechando todo su potencial. Como el café se desarrolla naturalmente en cubiertas forestales de cuatro capas y sombra perpetua, los primeros sistemas con tipos tradicionales se crearon bajo cubiertas forestales en un esfuerzo por imitar el hábitat natural. Sin embargo, se puede cultivar sin

sombra, ya que varios estudios han indicado mayores rendimientos con mayores requisitos de insumos y variaciones en la calidad del grano.

Hace aproximadamente 200 años, unos pioneros europeos trajeron el café al Perú. En la actualidad, se cultiva en 230.000 hectáreas repartidas en la cordillera de los Andes, a alturas de entre 1.800 y 900 metros sobre el nivel del mar y con temperaturas moderadas. 323 millones de cafetos conforman esta importante superficie de cultivo, que emplea directa e indirectamente a 117.000 hogares y a un millón de personas más (Külh (2004).

2.2.2. Características del café

a. La planta

El café pertenece a la familia de las rubiáceas, que se compone principalmente de plantas y arbustos tropicales y tiene más de 500 géneros y más de 6.000 especies. Hay más de cien especies en el género *Coffea*, todas ellas autóctonas de África tropical y de algunas islas del océano Índico, incluida Madagascar. Todas son leñosas, sin embargo, varían en altura de 5 a 10 metros para los arbustos a los árboles. Tienen hojas puntiagudas y elípticas que crecen en pares. Presentan pequeñas estípulas y pecíolos cortos. Además, las hojas pueden tener una variedad de tonos, como verde lima, verde oscuro, bronce o matices morados. (OIC, 2014; Waller et al., 2007).

Linneo publicó la primera descripción de *Coffea arábica* en 1753. Su naturaleza tetraploide (con 44 cromosomas en total en lugar de 22) lo distingue genéticamente de otras especies de café. Con hojas ovaladas, brillantes y de color verde oscuro, este enorme arbusto crece hasta una altura de casi cinco metros. Después de la temporada de lluvias, la planta comienza a florecer. Sus flores blancas y fragantes se agrupan. Después de siete a nueve meses, los frutos verdes y ovalados maduran y se vuelven carmesí. Generalmente, cada fruto de la planta de café contiene dos semillas aplanadas, conocidas como granos de café. La especie *Coffea arábica* se cultiva en diversas regiones de América Latina, India, Indonesia y África central y oriental. Las variedades más reconocidas incluyen "Arabica" (Typica) y "Bourbon", de las cuales han surgido otras subvariedades, tales como "Caturra", "Mundo Novo", "Tico", "San Ramón", "Moca", "Maragogipe", "Columnaris" y "Blue Mountain", que se abordarán en mayor profundidad más adelante (Small, 2009; Waller et al., 2007; Masefield et al., 1980).

Las plantas de café presentan un tronco robusto y resistente, inflorescencias opuestas, y flores hermafroditas que cuentan con corolas blancas o ligeramente rosadas. Su tamaño varía desde pequeños arbustos hasta árboles de considerable altura. El fruto es una drupa indehisciente, compuesta por una pulpa dulce que alberga las dos semillas (Cenicafé, 2013).

2.2.3. Requerimientos medioambientales

Las condiciones edafoclimáticas establecen una secuencia de acciones que tienen en cuenta la planta, el suelo y el sistema climático para producir cultivos de alta calidad y cantidad (Solórzano, 2005). Es importante recordar que cada variedad puede requerir algunos ajustes menores en las condiciones de cultivo y manejo agronómico. Estos ajustes indicarán la importancia de cada variedad y la selección de los métodos de propagación en función de su adaptación a los diversos elementos edafoclimáticos. En términos generales, se enumeran como condiciones requeridas las siguientes:

a. Altitud

Las regiones tropicales y subtropicales húmedas tienen la capacidad de adaptarse a las variaciones de temperatura y precipitación. Entre los 1.700 metros sobre el nivel del mar se encuentra la altura ideal para el cultivo del café (CICAPE, 2011). Se cultiva entre los 600 y 1.800 metros sobre el nivel del mar (Canet et al., 2016).

b. Precipitación y Humedad

Para la agricultura se considera suficiente una precipitación anual de entre 1.800 y 2.800 mm, distribuida equitativamente a lo largo de los meses del año. La precipitación debe ser de al menos 120 mm mensuales (FNC, 2014).

El componente más limitante del cultivo es la lluvia. El régimen de lluvias debe incluir algunos meses con poca o ninguna lluvia para inducir la floración. El café (especie arábica) prefiere una precipitación anual total de 1400 a 2000 mm; sin embargo, a pesar de su distribución favorable, los niveles de precipitación inferiores a 800 mm pueden ser peligrosos debido a sus efectos perjudiciales sobre la producción del cultivo (Wintgens, 2009).

Como la humedad excesiva favorece el crecimiento de hongos y la propagación de plagas, la humedad relativa debe ser inferior al 85% (CICAPE, 2011) (Wintgens, 2009).

c. Temperatura

El café crece mejor a una temperatura de alrededor de 21 °C, con un límite inferior de 10 °C y un límite superior de 32 °C. El crecimiento de la planta es insignificante a otras temperaturas (Jaramillo et al., 1984).

d. Viento

Lo mejor es elegir terrenos que estén resguardados del viento o construir cortavientos para evitar el efecto de los vientos fuertes, ya que pueden provocar daños mecánicos y desecación en el tejido vegetal, además de aumentar la frecuencia de enfermedades (CICAPE, 2011).

e. Suelo

En términos generales, el café crece mejor en suelos que satisfacen ciertas necesidades mínimas, como: 1) Una profundidad mínima del suelo de 30 centímetros; 2) Tipo de textura del suelo: franco-arcilloso, franco; 3) Rango de pH del suelo: 4,5 a 7; 4) Drenaje suficiente; y 5) Es intolerante tanto a la sal como a la alcalinidad (Pérez y Geissert, 2006; Benacchio, 1982)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución del estudio

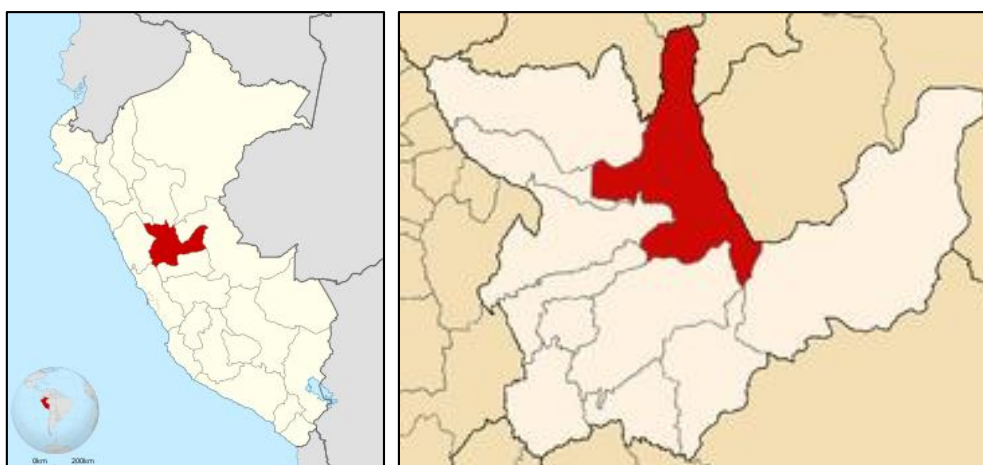
3.1.1. Ubicación

El área de estudio se ubica en el Distrito Hermilio Valdizán, dentro de la provincia de Leoncio Prado (Figura 3), que forma parte del departamento y región de Huánuco. Este distrito abarca una superficie de 12,900 hectáreas, equivalentes a 129 km², y se encuentra a una altitud de 1,451 msnm, con un rango altitudinal de 600 a 2,200 msnm. Geográficamente, se sitúa en las siguientes coordenadas:

Latitud : -9.1525
Longitud : -75.8261
Latitud : 9° 9'9" Sur
Longitud : 75° 49'34" Oeste

El distrito de Hermilio Valdizán limita al Norte con el distrito de Pueblo Nuevo, al Sur y Oeste con el distrito de Daniel Alomía Robles, al Este con el distrito de Padre Abad.

El relieve del distrito de Hermilio Valdizán se caracteriza por la presencia de una cadena colinosa que ocupa aproximadamente el 85% de su territorio. Además, un 25% del área distrital corresponde a un paisaje montañoso, que es altamente erosionable y cuenta con cubiertas de vegetación natural arbórea.



(A)

(B)

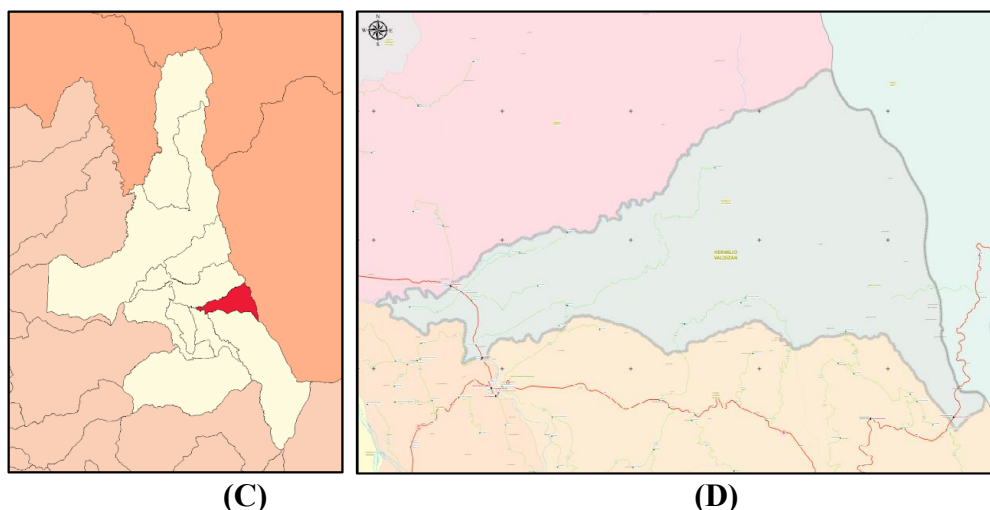


Figura 4. Localización geográfica del área de estudio, Región Huánuco (A), Provincia Leoncio Prado (B) y Distrito Hermilio Valdizán (C y D).

Las áreas evaluadas, fueron netamente hectáreas sometidas a sistemas de uso de suelos con cultivos permanentes (T1, T2, T3 y T4) con plantaciones de *Coffea arábica* (“café”).

3.1.2. Clima

De acuerdo con Holdridge (2000), el Distrito de Hermilio Valdizán se clasifica dentro del ecosistema de bosque muy húmedo - Premontano Tropical (bmh-PT). Las condiciones climáticas predominantes en esta área son de tipo tropical y cálido-húmedo, con una temperatura media anual de 26.2 °C, alcanzando un máximo de 26.6 °C y un mínimo de 25.9 °C. La humedad relativa se sitúa en un 84%, mientras que la precipitación media anual es de 3,400 mm, con un rango que varía entre 2,000 y 4,000 mm (SENAMHI, 2021).

3.1.3. Plantación de *C. arábica*

En el área de estudio se cultiva *Coffea arábica*, conocido localmente como "café". La densidad de siembra de la plantación es de 3x3 m entre plantas y filas, y el manejo se realiza de manera tradicional, que incluye:

- Control de malezas mediante la aplicación de glifosato, con una frecuencia trimestral.
- Cosecha manual con un intervalo de 15 a 20 días.
- No se lleva a cabo la renovación de la plantación.

- Se gestiona un número de tres plantas por mata para prevenir la proliferación excesiva, minimizar la competencia por nutrientes y reducir la incidencia de plagas y enfermedades.

3.1.4. Suelo

El suelo en donde se desarrolla el cultivo de *Coffea arábica*, son en gran parte, aledaños al trayecto del recorrido de la carretera de penetración que circunda desde el Caserío de San Isidro, pasa por el municipio del Distrito Valdizán, el Caserío de Ugarteche, el Caserío de Sortilegio, para nuevamente llegar a la carretera Marginal, zona de la Divisoria.

La zonas evaluadas presentan parcelas constituidas por suelos altamente residuales (superficiales y moderadamente profundos), es decir sin suelos pobres, con presencia de pendientes elevadas, no apropiadas para la agricultura intensiva, pero sí, muy apropiados para cultivos permanentes, con presencia de plantaciones adaptadas a pH bajos lo que justifica la presencia de frutales, té, café, pastizales, forestales y varias hectáreas de purma, es debido a eso que en el análisis de suelos, realizado a las muestras, nos detalló que la Clase Textural se presenta como Franco Arenoso, Franco Arcilloso, Franco y Franco Arcillo Arenoso. Los suelos corresponden al orden inceptisols.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales de campo y laboratorio

Para las actividades de campo se emplearán bolsas plásticas, marcadores, botas de protección y cinta métrica.

3.2.2. Materiales de laboratorio

Los materiales y equipos utilizados en el laboratorio para el procesamiento de las muestras se emplearon: balanza analítica, estufa, matraces, probetas, pipetas y buretas, insumos químicos para el análisis y otros equipos complementarios.

3.2.3. Equipos de campo y laboratorio

Los equipos utilizados en la etapa de campo fueron: Cámara fotográfica, navegador GPS, computador portátil y fijo, balanza gramera, wincha métrica, cordel de 100 m de longitud, palas rectas, marcos de madera de 25cm x 25 cm, machetes,

bolsas de polietileno de 10k de capacidad, bolígrafos, lápices, plumones marcadores, cuaderno de apuntes, libreta de campo y otras herramientas que complementen la toma de muestra.

3.3. Método

3.3.1. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que se basa en conocimientos consolidados en las ciencias agrícolas para evaluar la variabilidad de la calidad del suelo en plantaciones permanentes de *Coffea arábica* en el Distrito Hermilio Valdizán. El enfoque de la investigación es descriptivo-comparativo, dado que se analizó la calidad del suelo en términos de sus parámetros físico-químicos y se comparó con los principales indicadores de producción de café en dicha zona. Por lo tanto, también se clasifica como una investigación prospectiva, ya que los datos recopilados son utilizados exclusivamente con el fin de este estudio.

3.3.2. Variables de Estudio

Las muestras recolectadas son netamente muestras de suelo en diferentes puntos fisiográficos aledaños a la carretera de penetración del Distrito de Hermilio Valdizán, los cuales son la “unidad de estudio”, y presenta las siguientes variables:

A. Variable Independiente:

Sistemas de uso de suelo con plantaciones de *Coffea arábica* “café”

B. Variable Dependiente

- Parámetros físicos.
- Parámetros químicos.

3.3.3. Diseño de la investigación

La presente investigación se clasifica como no experimental, según lo definido por Hernández y Mendoza (2018), quienes indican que "la investigación no experimental es aquella en la que no se manipulan las variables mediante condiciones o estímulos que afecten a los sujetos de estudio". Asimismo, es "descriptiva y comparativa", ya que se aplicó un diseño estadístico completamente al azar (DCA), considerando como

tratamientos las plantaciones de *Coffea arabica*. Para establecer la existencia de diferencias significativas, se realizó un análisis de varianza ($p < 0.50$); además, para determinar la relación entre los indicadores y los parámetros fisicoquímicos del suelo en las plantaciones de café, se utilizó la correlación de Pearson. Los datos se someterán a un análisis de varianza (ANOVA) y se llevarán a cabo pruebas post-hoc de Duncan con un nivel de confianza del 95% para comparar las medias entre los indicadores de calidad del suelo y los indicadores de producción de café.

3.3.4. Determinación y Delimitación de la Zona de Estudio

La zona de estudio se estableció en áreas aledañas a la carretera de penetración en sectores con sistemas agroforestales (árboles forestales con coberturas) con plantaciones de café, con orografía montañosa (montañas bajas a altas), todas ellos aledaños al trayecto del recorrido de la carretera de penetración que circunda desde el Caserío de Hermilio Valdizán, Caserío de José Mariano Ugarteche y Caserío de Río Azul, para nuevamente llegar a la carretera Marginal, zona de la Divisoria.

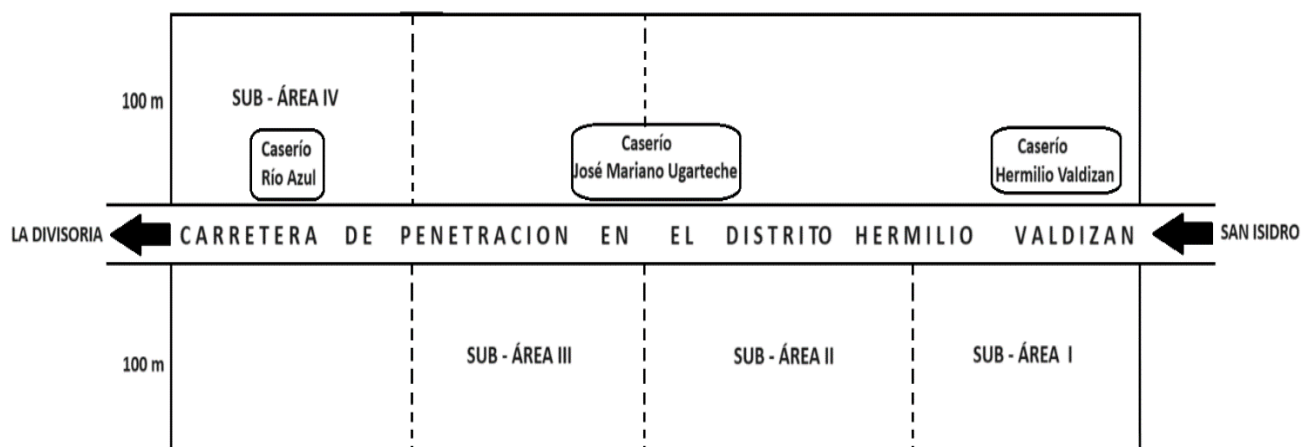


Figura 5. Esquema del área geográfica de estudio, delimitando las cuatro (04) sub-áreas de muestreo, en la carretera de penetración del Distrito Hermilio Valdizán.

a. Identificación de áreas a evaluar

Se identificaron áreas de evaluación con plantaciones de *C. arábica* de 2, 3, 4 y 5 años de manejo y aprovechamiento de la plantación, sin renovación.

b. Muestreo de suelos

Para el muestreo se delimitó las zonas aledañas a la carretera de penetración a lo largo de los caseríos, tomando como principal criterio la predominancia

de sistemas de uso de tierra con sembríos de *Coffea arábica* “café” con cobertura de sombra con especies forestales, determinándose realizar dos muestreos, para lo cual se demarcó cuatro (04) sub-áreas: Las cuatro sub-áreas se delimitaron en “franjas paralelas a la carretera”, de 100 metros de ancho. De cada Sub-área (2, 3, 4 y 5 años respectivamente) se han extraído diez (10) muestras, tomadas de forma aleatoria e independiente cada una.

LUGAR DE INVESTIGACIÓN:						
DISTRITO HERMILIO VALDIZAN						
TOMA DE MUESTRA	SUB-ÁREA	EDAD DEL SEMBRIO	N° DE MUESTRAS	ORDEN DE LAS MUESTRAS	N° de Muestras Extraídas	TOTAL DE MUESTRAS
PRIMERA (09/10/23)	I	2 años	10	M1 – M10	20	40
	II	3 años	10	M11 – M20		
SEGUNDA (09/03/24)	III	4 años	10	M21 – M30	20	
	IV	5 años	10	M31 – M40		

Figura 6. Muestras tomadas en Hermilio Valdizán, de suelos con sembríos de café.

De acuerdo con Cenicafe (1995), la ubicación para el recorrido y trayecto de la toma de las diez (10) muestras se realizó en forma de “zig zag” a travessando cada subárea. (figura 7).

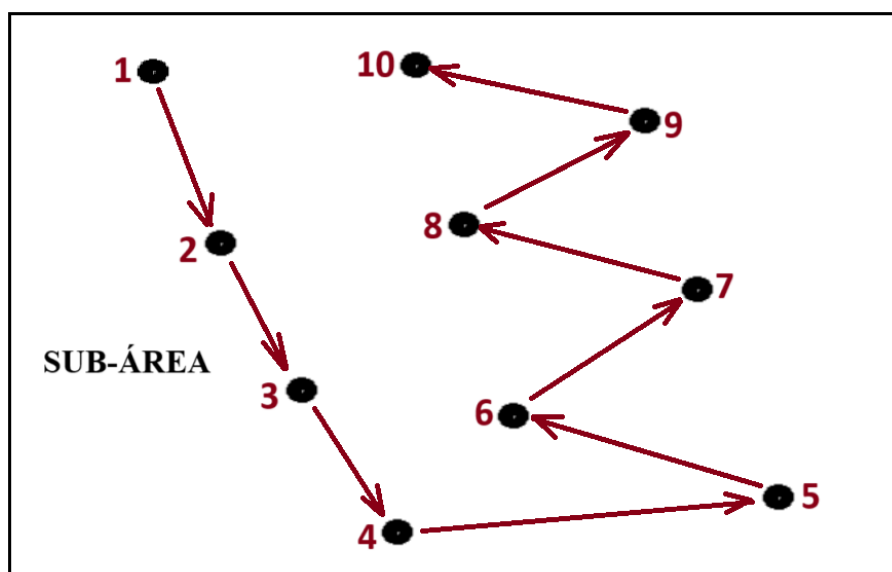


Figura 7. Trayecto y número de toma de muestras en cada sub-área establecida.

Una vez determinada las cuatro (04) subáreas de muestreo de acuerdo a la edad de los sembríos, se estableció las parcelas a través de una franja de 100

m paralelos a la carretera de penetración. De ellos se tomarán de forma aleatoria donde se recomienda para suelos con cultivos, tomar muestras con una profundidad de 0 a 20 cm (IGAC, 2006), sin embargo, la presente investigación modificó realizando extracciones con monolitos de 25cm x 25cm x 30cm de profundidad, descartando de 0 cm a 10 cm superficiales y quedando con los 10 a 30 cm de profundidad de la muestra (figura 8).

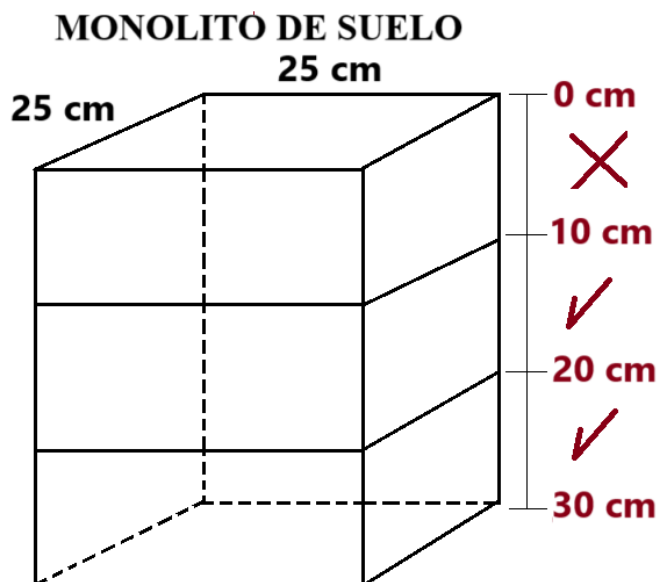


Figura 8. Dimensiones del monolito de la muestra de suelo.

3.3.5. Determinación de indicadores de calidad fisicoquímica del suelo

La evaluación del suelo se realizará siguiendo los siguientes pasos:

a. Análisis de muestras

El análisis de textura se llevará a cabo utilizando el método del hidrómetro de Bouyoucos. Los valores de pH se medirán en agua destilada con una relación de 1:2.5, previamente calibrados con soluciones patrón de pH 4.0 y 7.0. Los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+} se extraerán con acetato de amonio a pH 7, y se determinarán mediante espectrometría de absorción atómica. Los iones Al^{3+} y H^{+} se extraerán utilizando KCl y se cuantificarán por titulación con una solución de NaOH 0.05 mol L^{-1} . El fósforo disponible se medirá mediante el método de Olsen modificado, utilizando una solución de NaHCO_3 0.5 mol L^{-1} a pH 8.5, y se determinará por colorimetría. El contenido de carbono orgánico se analizará de acuerdo con el método de Walkley y Black, y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se calculará mediante

saturación con acetato de amonio (CH_3COOH) a pH 7. Los protocolos para estas determinaciones están detallados en Bazán (2017).

3.3.6. Determinación de la Calidad del Suelo a través del Índice de la calidad (ICS) de Cantú, en plantaciones de *Coffea arabica*.

Se aplicará la combinación de los dos métodos, para ello los datos obtenidos de los diferentes indicadores de calidad del suelo serán sometidos a los siguientes cálculos:

a). Sub índice de SAGARPA- SUSS

$$SUSS = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

P : Es el promedio del valor de los parámetros normalizados

i : Es cada indicador o parámetro analizado

n : Es el número total de parámetros analizados

- Promedio de los valores normalizados en cada indicador (i).

$$P = \frac{\sum_{i=1}^m Rn_j}{m} \quad (2)$$

Donde:

Rn : Es el valor resultante del parámetro normalizado

m : Es el número de muestras de suelo analizadas

j : Es cada muestra de suelo

- parámetro normalizado de cada indicador (i).

$$Rn_j = 1 - \left(\frac{Vr_j - d_j}{c_j - d_j} \right) \quad (3)$$

Donde:

Rn : Es el resultado normalizado.

Vr : Es el valor del parámetro fisicoquímico (indicador).

d : Es el valor deseable en el indicador.

c : Es el valor de corte en el indicador

j : Es cada muestra de suelo

Los rangos de los valores óptimos y los umbrales de cada indicador se detallan en la tabla siguiente.

Tabla 9. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual del suelo.

Indicador	Unidad de medida	Rango o valor Deseable (d)	Valor de corte (C)
1. Materia orgánica (MO)	%	MO > 5	0.5
2. Densidad aparente (DA)	g/cm ³	<u>Dap</u> < 1.1	1.47
3. Conductividad eléctrica (CE)	dSm ⁻¹	CE < 1	4.1
4. pH	pH	6 < pH < 7	5 < pH < 8.5
5. Fósforo disponible (P)	mg kg ⁻¹	P > 5.5	0
6. Magnesio intercambiable (Mg)	<u>Cmol(+)</u> kg ⁻¹	Mg > 0.3	0
7. Calcio intercambiable (Ca)	<u>Cmol(+)</u> kg ⁻¹	Ca > 5	0
8. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	<u>Cmol(+)</u> kg ⁻¹	CIC > 15	5
9. Nitrógeno Total	%	N > 0.2	0.05

Fuente: SAGARPA (2012).

La evaluación de la calidad se llevará a cabo de acuerdo con los valores medios finales obtenidos mediante el SUSS (Tabla 11). En esta tabla se presentan los rangos que definirán la calidad, junto con su correspondiente interpretación.

Tabla 10. Rangos interpretativos del SUSS

Calidad de suelo	Descripción
Buena (0.95 < SUSS ≤ 1.0)	Las condiciones de calidad del suelo son las deseables para llevar a cabo la actividad agrícola.
Aceptable (0.80 < SUSS ≤ 0.95)	La calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables analizadas poco se alejan de los valores adecuados.
Sensible (0.65 < SUSS ≤ 0.78)	Los parámetros medios ocasionales se alejan de los valores óptimos.
Marginal (0.45 < SUSS ≤ 0.65)	Los indicadores de calidad a son distantes de los valores deseables.
Pobre (0 < SUSS ≤ 0.45)	La calidad del suelo para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseable.

Fuente: SAGARPA (2012).

- a) El **índice de calidad del suelo “ICS-Cantú”**, se aplicará esta metodología para complementar con algunos indicadores no consideradas en el SUSS y Hay dos casos posibles: primero, cuando el valor máximo del indicador (Imax)

corresponde a la mejor condición de calidad del suelo (valor normal del índice: $V_n = 1$) y el cálculo es como sigue:

$$V_n = (I_m - I_{min}) / (I_{max} - I_{min}) \quad (4)$$

El otro caso se da cuando el valor I_{max} corresponde al peor caso de la calidad del suelo que se pueda encontrar ($V_n = 0$) y se calcula como:

$$V_n = 1 - (I_m - I_{min} / I_{max} - I_{min}) \quad (5)$$

Donde:

V_n = valor normalizado

I_m = medida del indicador

I_{max} = valor máximo del indicador

I_{min} = valor mínimo del indicador

En la Tabla 12, se precisan los indicadores con sus respectivos valores mínimos y máximos que serán aplicados en la investigación.

Tabla 11. Valores máximos y mínimos de Cantú

Indicadores	Unidad	ICS	
		Max.	Min
Saturación de bases	%	100	50
Agregados estables en agua	%	75	10
Velocidad de infiltración	cm/h	10	1
Potencial Zeta (Pz)	Mv	30	-30
Espesor del horizonte A	cm	45	0

Finalmente, los valores de ICS se interpretarán con la tabla 13, para determinar la calidad del suelo por este método.

Tabla 12. Índices de Calidad de suelos

Índice de calidad de suelos	Escala	Clase
Muy alta calidad	0,80 - 1,00	1
Alta calidad	0,60 - 0,79	2
Moderada calidad	0,40 - 0,59	3
Baja Calidad	0,20 - 0,39	4
Muy baja calidad	0,00 - 0,19	5

Fuente: Cantú et al. (2009)

3.3.7. Determinación de indicadores relevantes a través del análisis de componentes principales (ACP) y la correlación entre indicadores físico-químicos en plantaciones de *Coffea arabica* "café".

Para identificar diferencias, los datos serán analizados mediante un análisis de varianza y la prueba post-hoc de Tukey, con un nivel de confianza del 95% para comparar las medias entre los indicadores de calidad del suelo y el rendimiento de *Coffea arabica* ("café"). El procesamiento de los datos se realizará utilizando el software de acceso libre IBM-SPSS 25, aplicando el siguiente modelo de cálculo.

Tabla 13. Modelo del análisis de varianza

Fuente de variación	GL	SC	CM	Valor de F
Tratamiento	t - 1	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_i^2}{r} - \frac{Y^2}{tr}$	SC_{trat}/gl_{trat}	CM_{trat}/CM_{ee}
Error	t(r - 1)	$SC_{total} - SC_{trat}$	SC_{ee}/gl_{ee}	
Total	t.r - 1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{tr}$		

El modelo aditivo lineal que se aplicará:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

Donde:

Y_{ij} = Observación

μ = Media general

T_i = Efecto del tratamiento

β_j = Efecto del tipo de suelo

ε_{ij} = Error experimental

La correlación se evaluará utilizando el software estadístico IBM SPSS 25. El coeficiente de correlación de Pearson relacionará las calificaciones obtenidas en una variable con las puntuaciones de la otra, considerando a los mismos participantes. El valor de r de Pearson puede variar entre -1.00 y 1.00, y los niveles de correlación están descritos en Hernández et al. (2014).

En cuanto al análisis de componentes principales (ACP), los parámetros fisicoquímicos del suelo y el rendimiento del café serán sometidos a este análisis con el fin de identificar los indicadores más significativos que generan cambios en el suelo como resultado del manejo. Los datos se someterán a un análisis de reducción de dimensiones mediante el método Varimax, utilizando el software IBM SPSS 25.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de Indicadores físico-químicos del suelo en las plantaciones de *Coffea arábica*

4.1.1. Indicadores físicos del suelo en plantaciones de *Coffea arábica* (café)

La **Tabla 14**, nos indican que, los valores medios de la estadística básica para los porcentajes de las fracciones arena arcilla y limo, así como la clase textural a la que pertenecen los suelos evaluados. Además, se observa diferencias altamente significativas para arcilla, significativas para arena, y no se observa diferencias entre los valores medios de las plantaciones de 2, 3, 4 y 5 años de manejo para la fracción limo.

Tabla 14. Análisis mecánico del suelo

Indicador	Tratamiento				Estadísticos	
	C2	C3	C4	C5	Cv	p
Arena (%)	61.60±4.40b	58.70±6.63ab	52,00±12.52a	52.20±7.13a	15,96	0,028*
Arcilla (%)	16.80±4.34a	15.80±4.05a	25.60±7.11b	23.80±4.76b	32,23	0,00**
Limo (%)	22.60±4.50a	26.30±5.74a	22.40±6.47a	24,00±5,75a	23,76	0,40ns
Textura	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco Arcillo arenoso	Franco Arcillo arenoso	---	---

C2, ...C4 plantaciones de café de dos, tres, cuatro y cinco años, Cv coeficiente de variación, * significativo $p \leq 0,05$, ** significativo a $p \leq 0,01$, ns no significativo

Rodríguez (2023) llevó a cabo un análisis de las diferentes fracciones de los indicadores de suelo (arena, arcilla y limo) y no encontró diferencias estadísticas, concluyendo que las plantaciones presentan suelos con condiciones texturales similares. Por su parte, Huisa (2020) reportó que la textura del suelo en campos cafetaleros exhibe una alta heterogeneidad en cada una de las fracciones (arena, limo y arcilla), con un elevado coeficiente de variabilidad, atribuible a la heterogeneidad natural del suelo. Según Arancel (2016), la textura de los suelos destinados a la producción de café muestra un contenido promedio de arena del 54.62% (considerado muy alto), arcilla del 9.30% (considerada muy baja) y limo del 32.51% (calificado como alto). Estos resultados difieren de los análisis presentados en la tabla 14, donde se observa que la arena presenta diferencias significativas, la arcilla muestra diferencias altamente

significativas, mientras que para la fracción de limo no se detectan diferencias entre los valores medios de las plantaciones de 2, 3, 4 y 5 años.

4.1.2. Análisis de varianza para las fracciones físicas

Tabla 15. Análisis ANOVA de la fracción arena

Variable dependiente: Arena					
Origen	Σ^2	gl	Media		
			cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	690,275 ^a	3	230,092	3,397	0,028*
Intersección	126000,625	1	126000,625	1860,474	0,000
Tratamiento	690,275	3	230,092	3,397	0,028
Error	2438,100	36	67,725		
Total	129129,000	40			
Total, corregido	3128,375	39			

a. R al cuadrado = 0,221 (R al cuadrado ajustada = 0,156)

F función de probabilidad, gl grados de libertad, * significativo $p \leq 0,05$

La Tabla 15 presenta el efecto intersujeto a través del análisis de varianza, donde se evidencia una significancia estadística ($p=0.028^*$) para la fracción de arena entre las plantaciones de diferentes edades evaluadas (C2, C3, C4 y C5).

Tabla 16. Análisis post-hoc de Duncan para el % de arena

Variable: Arena				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	
Duncan ^{a,b}	C4	10	52,0000	
	C5	10	52,2000	
	C3	10	58,7000	58,7000
	C2	10		61,6000
	Sig.		0,093	0,436

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000.

b. Alfa = 0,05.

C2, ...C4 plantaciones de café de dos, tres, cuatro y cinco años, a, b subconjuntos homogéneos, N número de muestras por plantación evaluada.

Respecto a la prueba de Duncan (**Tabla 16**), agrupa las medias en tres dos subgrupos, a (C4 y C5), b (C2), y ab (C3). C2 presenta la media más alta en % de arena en comparación con el resto de las áreas.

Tabla 17. Análisis ANOVA de la fracción arcilla.

Variable dependiente: Arcilla					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	726,800 ^a	3	242,267	8,943	0,00**
Intersección	16810,000	1	16810,000	620,550	0,00
Tratamiento	726,800	3	242,267	8,943	0,00
Error	975,200	36	27,089		
Total	18512,000	40			
Total, corregido	1702,000	39			

a. R al cuadrado = 0,427 (R al cuadrado ajustada = 0,379)

F función de probabilidad, gl grados de libertad, * significativo $p \leq 0,05$

La Tabla 17 presenta el efecto intersujeto mediante el análisis de varianza de la fracción de arcilla, donde se observa que existen diferencias altamente significativas ($p=0.00^{**}$) entre las plantaciones de distintas edades evaluadas (C2, C3, C4 y C5).

Tabla 18. Análisis post-hoc de Duncan para el % de arcilla

Variable: Arcilla				
	Tratamiento	N	Subconjunto	
			a	b
Duncan ^{a,b}	C3	10	15,8000	
	C2	10	16,8000	
	C5	10		23,8000
	C4	10		25,6000
	Sig.			0,670

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000.

b. Alfa = 0,05.

C2, ...C5 plantaciones de café de dos, tres, cuatro y cinco años, a, b subconjuntos homogéneos, N número de muestras por plantación evaluada

Respecto a la prueba de Duncan (**Tabla 18**), agrupa las medias en tres dos subgrupos, a (C2 y C3), b (C4 y C5). C4, plantación de 4 años presenta la media más alta en % de arcilla en comparación con el resto de las áreas.

Tabla 19. Análisis ANOVA de la fracción limo

Variable dependiente: Limo					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	96,875 ^a	3	32,292	1,008	0,40
Intersección	22705,225	1	22705,225	708,984	0,00
Tratamiento	96,875	3	32,292	1,008	0,40
Error	1152,900	36	32,025		
Total	23955,000	40			
Total, corregido	1249,775	39			

a. R al cuadrado = 0,078 (R al cuadrado ajustada = 0,001)

F función de probabilidad, gl grados de libertad, * significativo $p \leq 0,05$

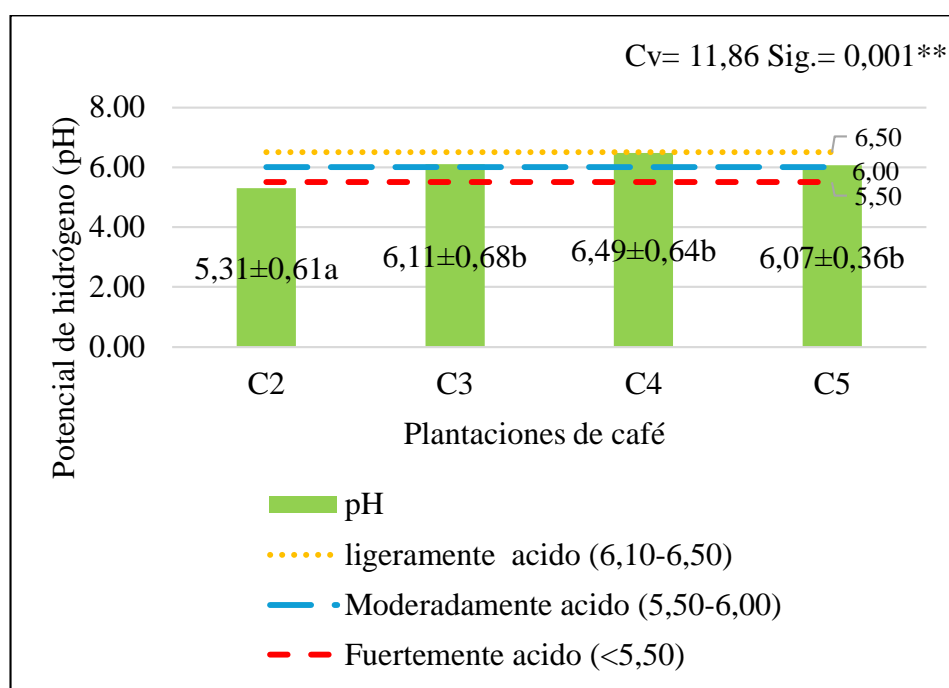
La Tabla 19 presenta el efecto intersujeto mediante el análisis de varianza de la fracción de limo, donde se observa que no existen diferencias significativas ($p=0.40$) entre las plantaciones de diferentes edades evaluadas (C2, C3, C4 y C5).

4.1.3. Indicadores químicos del suelo

Se evaluaron los principales indicadores químicos de calidad del suelo, entre los cuales se incluyen el pH, la materia orgánica (MO), el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K), el calcio (Ca), el magnesio (Mg), el aluminio (Al), la capacidad de intercambio de cationes (CIC), el porcentaje de acidez cambiante (%AC) y el porcentaje de saturación de bases (SB).

4.1.3.1. Potencial de hidrogenión

La **Figura 9**, muestra los valores medios de la estadística para pH de los suelos evaluados. Además, se observa diferencias altamente significativas ($p=0,001^{**}$) entre las medias, además, los valores medios tienden a incrementarse entre las plantaciones de 2 a 4 años y bajar ligeramente en 5 años, la plantación de 4 años sobresale con la media más alta y corresponde a suelo con pH ligeramente ácido.



C2, ...C5 plantaciones de café de dos, tres, cuatro y cinco años, letras distintas en las columnas expresan diferencias a $p \leq 0,05$, Cv coeficiente de variación, Sig significancia, ** altamente significativo

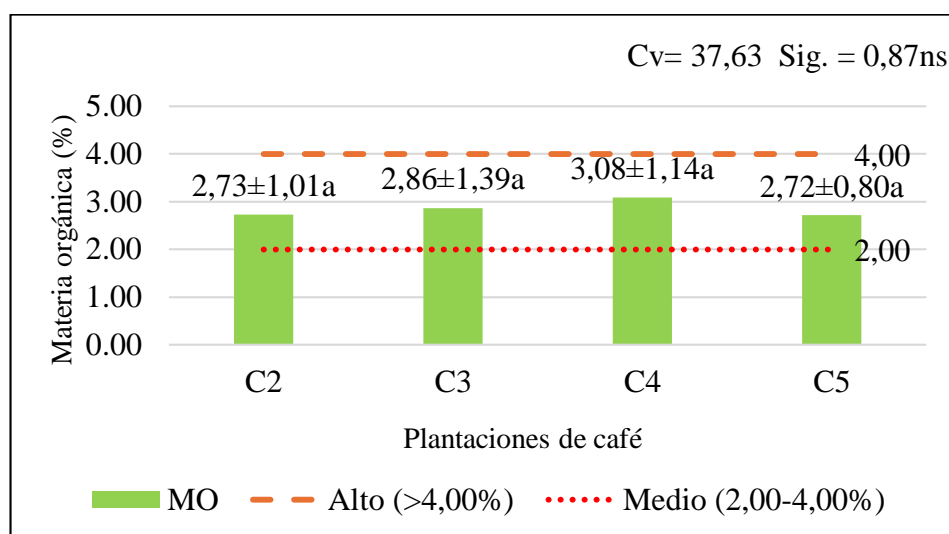
Figura 9. Comportamiento del pH en suelos con plantaciones de café

Los resultados en general, obtenidos respecto al pH de los suelos de las muestras evaluadas nos indican que son, de moderadamente ácidos a ligeramente ácidos. Del mismo modo lo señala Huisa (2020), quien evaluó suelos de plantaciones de café en Satipo el 2018 donde se determinó con pH en promedio fuertemente ácidos, pero en plantaciones de uso intensivo de entre 10 a 18 años. Del mismo modo Valbuena (2017), muestra suelos con arreglos agroforestales de uso intensivo con pH 5,14 y suelos con siembra tradicional con pH 5,34 mostrándonos en ambos casos suelos ligeramente ácidos. Sin embargo, Ruiz (2015), al evaluar el estado nutricional de siete (07) suelos con cultivos de café en La Mar (Ayacucho), obtuvo suelos con pH de 4,10 a 5,15 mostrándonos una concentración fuertemente ácidos, afectando la asimilación de nutrientes; y, de acuerdo a CENICAFÉ (2016), el intervalo de pH adecuado para el café se encuentra entre 5,0 a 5,5 y si está por debajo de este rango mostrará indicios de toxicidad, pero si supera este rango, favorecerá el crecimiento del café. Entonces, al corroborar con los resultados de la figura 7, nos brinda el pronóstico de un crecimiento muy favorable en las plantaciones de café.

4.1.3.2. Materia orgánica (MO)

La **Figura 10**, muestra los valores medios de la estadística básica para MO de los suelos evaluados. Además, no observa diferencias significativas ($p=$

0,87ns) entre las medias, y, los valores medios tienden a incrementarse entre las plantaciones de 2 a 4 años y bajar ligeramente en 5 años, la plantación de 4 años sobre sale con la media más alta y corresponde a suelo con nivel medio en MO.



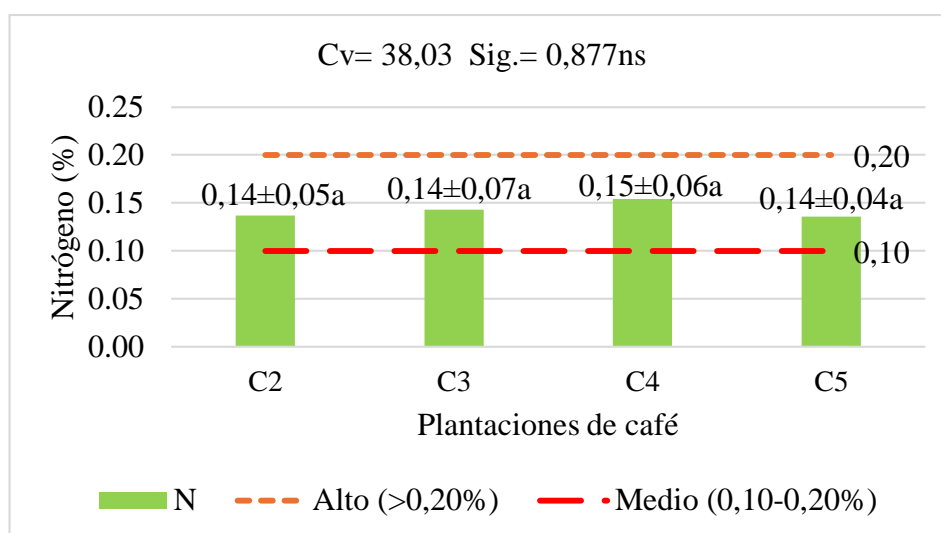
C2, ...C5 plantaciones de café de dos, tres, cuatro y cinco años, letras distintas en las columnas expresan diferencias a $p \leq 0,05$, Cv coeficiente de variación, Sig significancia, ns no significativo

Figura 10. Comportamiento de la MO del suelo con plantaciones de café

Según Huisa (2020), evaluó tres campos cafetaleros de uso intensivo en Satipo – Junín, determino la variabilidad de materia orgánica, expresados en un coeficiente de variabilidad (CV) obteniendo niveles de 29.93% a niveles de 34.15%, indicando además que se tratan de campos de siembra con 10 a 18 años de utilidad, y que es necesario agregar que la materia orgánica es poco móvil en el sustrato. Asimismo, Arancel (2016), evaluó campos de cafeto en las zonas de VRAE, determinando porcentajes muy bajo de 1.00% y el más alto de 3.62%, con una media de 1,85%. Además, Proamazonia (2003) establece que, en las zonas cafetaleras del Perú, donde su pH oscila entre 5.5 a 6.5 la proporción de materia orgánica debería oscilar entre 2 y 4% favoreciendo a un mejor crecimiento y desarrollo de las plantaciones de café; y, Rodríguez (2023) evaluó la materia orgánica en sembríos de café en Hermilio Valdizán obteniendo niveles medio a alto entre 2.12 a 2.55 %. Efectivamente, los resultados obtenidos respecto a la presencia de materia orgánica nos indica un CV de 37,63 y variabilidad supera ligeramente al porcentaje medio, teniendo en cuenta que hemos trabajado con plantaciones de dos a cinco años.

4.1.3.3. Nitrógeno (N)

La **Figura 11**, muestra los valores medios de la estadística básica para el porcentaje de nitrógeno de los suelos evaluados. Además, no observa diferencias significativas ($p= 0,87ns$) entre las medias, además, los valores medios tienden a incrementarse entre las plantaciones de 2 a 4 años y bajar ligeramente en 5 años, la plantación de 4 años sobre sale con la media más alta y corresponde a suelo con nivel medio en nitrógeno.



C2, ...C5 plantaciones de café de dos, tres, cuatro y cinco años, letras distintas en las columnas expresan diferencias a $p \leq 0,05$, Cv coeficiente de variación, Sig significancia, ns no significativo

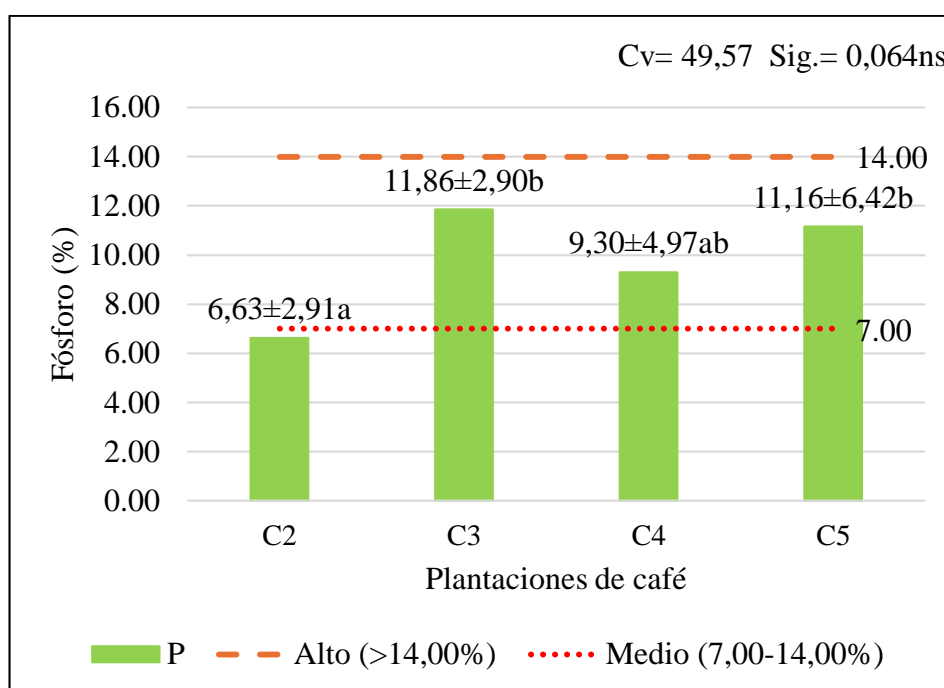
Figura 11. Comportamiento del N en suelos con plantaciones de café.

Vislao (2021), al relacionar las propiedades edáficas con la producción del café en San Martín, determinó el contenido de nitrógeno en plantaciones de tres (03) y cinco (05) años, encontrando de 0,16% a 0,17% y en las plantaciones de cuatro (04) años el promedio de nitrógeno fue el más bajo con 0,08%. Además, Ruiz (2015), establece que el nutriente nitrógeno deriva directamente de la materia orgánica; y, Sadeghian Khalajabadi (2011), lo afirma al señalar que el nitrógeno en el suelo está directamente asociado a la materia orgánica y un pequeño porcentaje se presenta en forma inorgánica (N_2O , NO , NH_3 , NO^{-2} , NH^{+4} , y NO^{-3}) donde el amonio y el nitrato son los más aprovechados por las plantas. Efectivamente, los valores obtenidos y señalados en la figura 7, corroboran lo afirmado por los investigadores al mostrar un porcentaje muy bajo, sobre todo en las plantaciones de cuatro (04) y cinco (05) años, mostrando que hay una gran demanda por parte de las plantaciones de café por el nutriente nitrógeno, que estará

presente en diversos compuestos orgánicos como los aminoácidos, las proteínas y ácidos nucleicos, siendo respaldado por Sadeghian Khalajabadi (2011).

4.1.3.4. Fósforo (P)

La **Figura 12**, muestra los valores medios de la estadística básica para el porcentaje de fósforo en los suelos evaluados. Además, no observa diferencias significativas ($p= 0,064ns$) entre las medias, además, los valores medios tienden a incrementarse entre las plantaciones de 2 a 3 años y bajar ligeramente en 5 años, la plantación de 3 años sobre sale con la media más alta y corresponde a suelo con nivel medio en fósforo.



C2, ...C5 plantaciones de café de dos, tres, cuatro y cinco años, letras distintas en las columnas expresan diferencias a $p \leq 0,05$, Cv coeficiente de variación, Sig significancia, ns no significativo

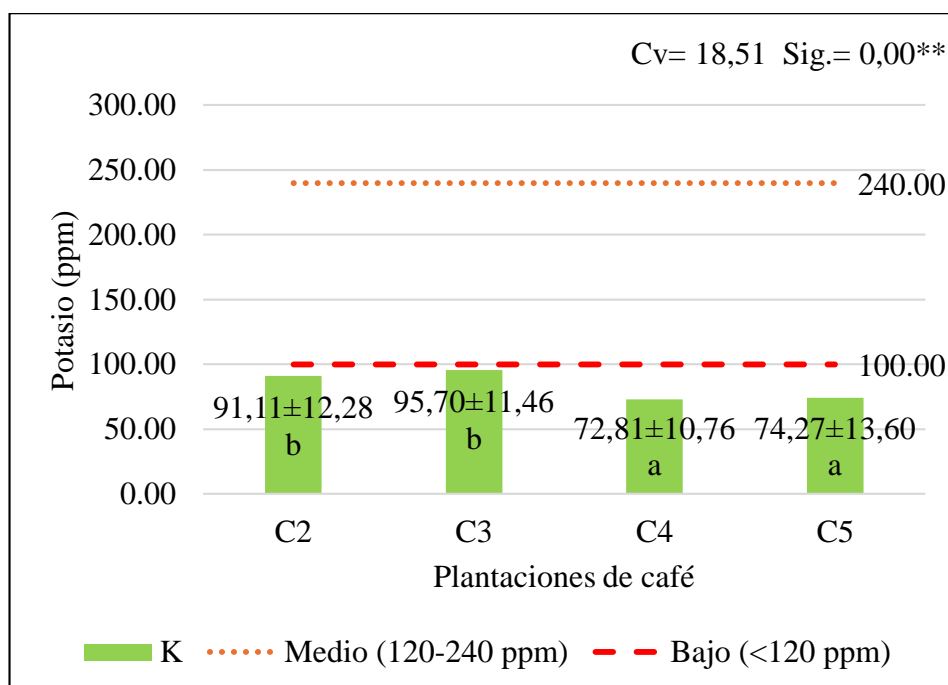
Figura 12. Comportamiento del P en suelos con plantaciones de café

Según Arancel (2016), en las evaluaciones del porcentaje de fósforo en la microcuenca de Pampa Camona – Pichanaqui, el componente fósforo varía de muy bajo de $2,53 \text{ mg.kg}^{-1}$ a alto de $28,9 \text{ mg.kg}^{-1}$, con una media de $8,67 \text{ mg.kg}^{-1}$. De acuerdo a Huisa (2020), el contenido de fósforo que disponen los campos cafetaleros los califica como bajo a medio, debido a que el fósforo se precipita como fosfato de hierro y aluminio siendo poco disponible para las plantas de café debido a la poca movilidad en el suelo de este elemento; Rodríguez (2023), evaluó el fósforo disponible en sembríos de café en Hermilio Valdizán obteniendo resultados de bajos a medio con tendencias incrementarse

en proporción a la altitud y a la disminución de la absorción de este nutriente por parte de la planta (Murga et al 2021), coincidiendo también con la afirmación de Oliveras et al (2020). Respecto a los resultados de las investigaciones mencionadas, debemos Indicar que, respecto al fósforo calculado hay similitud temando en cuenta que el Coeficiente de variación es de 49,57, mostrando una variabilidad ligeramente superior al que reporto Inocencio et al (2022) en tierras similares.

4.1.3.5. Potasio (K)

La **Figura 13**, muestra los valores medios de la estadística básica para el contenido de potasio en los suelos evaluados. Además, se observa diferencias altamente significativas ($p= 0,00^{**}$) entre las medias, además, los valores medios tienden a incrementarse entre las plantaciones de 2 a 3 años y bajar progresivamente hasta los 5 años, la plantación de 3 años sobre sale con la media más alta y corresponde a suelo con nivel bajo en potasio.



C2, ...C5 plantaciones de café de dos, tres, cuatro y cinco años, letras distintas en las columnas expresan diferencias a $p \leq 0,05$, Cv coeficiente de variación, Sig significancia, ** altamente significativo

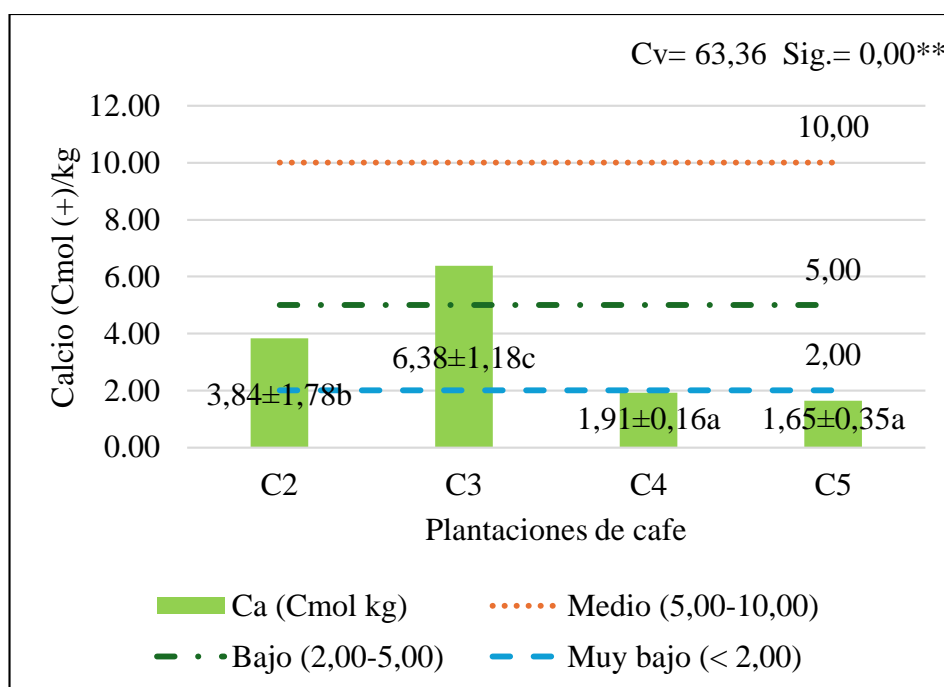
Figura 13. Comportamiento del K en suelos con plantaciones de café.

Huisa (2020), evaluó el contenido de potasio (K) en suelos de campos de agricultura intensiva de café en Satipo presentando niveles bajos a niveles medios con variabilidades de 29,67 a 34,94. Por otro lado, Arancel (2016) también evaluó el

contenido de potasio (K), determinando que su concentración varía de niveles muy bajos ($3,28 \text{ mg.kg}^{-1}$) a niveles muy altos ($309,95 \text{ mg.kg}^{-1}$). Asimismo, Sánchez (2021), evaluó las características fisicoquímicas de suelos agrícolas en Jauja, determinando que el potasio disponible se encuentra entre 194 y 242 mg.kg^{-1} y un coeficiente de variación bajo de 5,57%. Efectivamente, estos resultados tienen relación con los demostrado en la figura 9, porque los cultivos de café indican una alta demanda por el potasio (K), ya que este elemento se requiere en concentraciones altas por su influencia directa en el crecimiento de la planta y sobre en la fructificación.

4.1.3.6. Calcio (Ca)

La **Figura 14**, muestra los valores medios de la estadística básica para el contenido de calcio en los suelos evaluados. Además, se observa diferencias altamente significativas ($p= 0,00^{**}$) entre las medias, además, los valores medios tienden a incrementarse entre las plantaciones de 2 a 3 años y bajar progresivamente hasta los 5 años, la plantación de 3 años sobre sale con la media más alta y corresponde a suelo con nivel medio en calcio.



C2, ...C5 plantaciones de café de dos, tres, cuatro y cinco años, letras distintas en las columnas expresan diferencias a $p \leq 0,05$, Cv coeficiente de variación, Sig significancia, ** altamente significativo

Figura 14. Comportamiento del Ca en suelos con plantaciones de café.

Según Valbuena – Calderón et al (2017), determino los promedios del componente Calcio (Ca) como indicador químico de suelos agroforestales de café con

manejo tradicional (fertilización orgánica, bajo sombra) obteniendo 5,48 meq/100g y con manejo intensivo (fertilización sintética, siembra intensiva, pleno sol) 13,52 meq/100g. Arancel (2016), determino el componente Ca en suelos para producción de cafeto en Pichanaqui, obteniendo un contenido cambiante de Muy Bajo ($0.20\text{meq}\cdot 100^{-1}$) a Alto ($6,70\text{ meq}\cdot 100^{-1}$). Además, Castro (2017), determino el contenido del nutriente Ca en el suelo de cafetales bajo manejo intensivo de fertilizantes en ultisoles, mostrando una concentración promedio y error estándar de $5,5\pm 0,6$ indicando una considerable variación en su contenido. Efectivamente los resultados de la figura 10, nos muestran un nivel entre bajo a muy bajo del componente Ca en el suelo, teniendo relación con la mayoría de los investigadores citados. Estos resultados tienen justificación pues a la vez nos muestran que las plantaciones de café están absorbiendo de manera casi eficiente el Ca, ya que dicho nutriente cumple una función estructural promoviendo el desarrollo y crecimiento del sistema radicular, y además la absorción del Ca sucede de manera pasiva y su transporte a través de la savia del xilema se favorece más con la corriente transpiratoria y este suceso tiene efectividad durante el día y por lo tanto la absorción del Ca se detiene durante la noche (Sadeghian Khalajabadi, 2012).

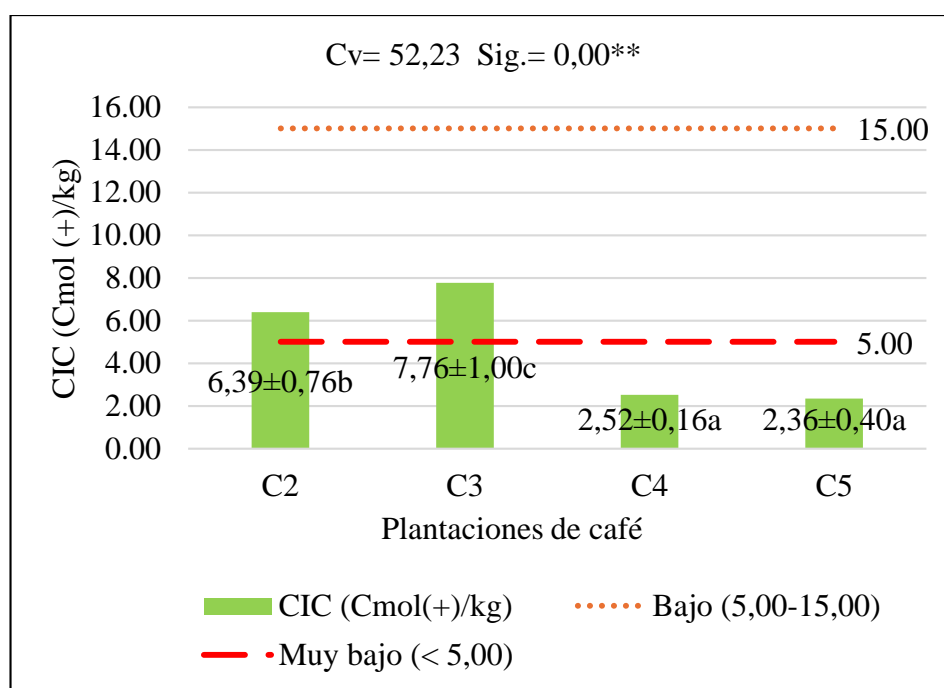
4.1.3.7. Magnesio (Mg)

La **Figura 15**, muestra los valores medios de la estadística básica para el contenido de magnesio en los suelos evaluados. Además, se observa diferencias altamente significativas ($p= 0,00^{**}$) entre las medias, además, los valores medios tienden a incrementarse entre las plantaciones de 2 a 3 años y bajar progresivamente hasta los 5 años, la plantación de 3 años sobre sale con la media más alta y corresponde a suelo con nivel bajo en magnesio.

2024) coinciden con temporadas de sol; además, la demanda de magnesio (Mg) está influenciada por la especie o variedad, las propiedades del suelo, los factores ambientales y el tipo de manejo implementado en los sistemas de cultivo, tal como lo señalan Havlin et al. (1999).

4.1.3.8. Capacidad de intercambio de cationes (CIC)

La **Figura 16**, muestra los valores medios de la estadística básica para la CIC en los suelos evaluados. Además, se observa diferencias altamente significativas ($p=0,00^{**}$) entre las medias, además, los valores medios tienden a incrementarse entre las plantaciones de 2 a 3 años y bajar progresivamente hasta los 5 años, la plantación de 3 años sobre sale con la media más alta y corresponde a suelo con nivel bajo en CIC.



C2, ...C5 plantaciones de café de dos, tres, cuatro y cinco años, letras distintas en las columnas expresan diferencias a $p \leq 0,05$, Cv coeficiente de variación, Sig significancia, ** altamente significativo

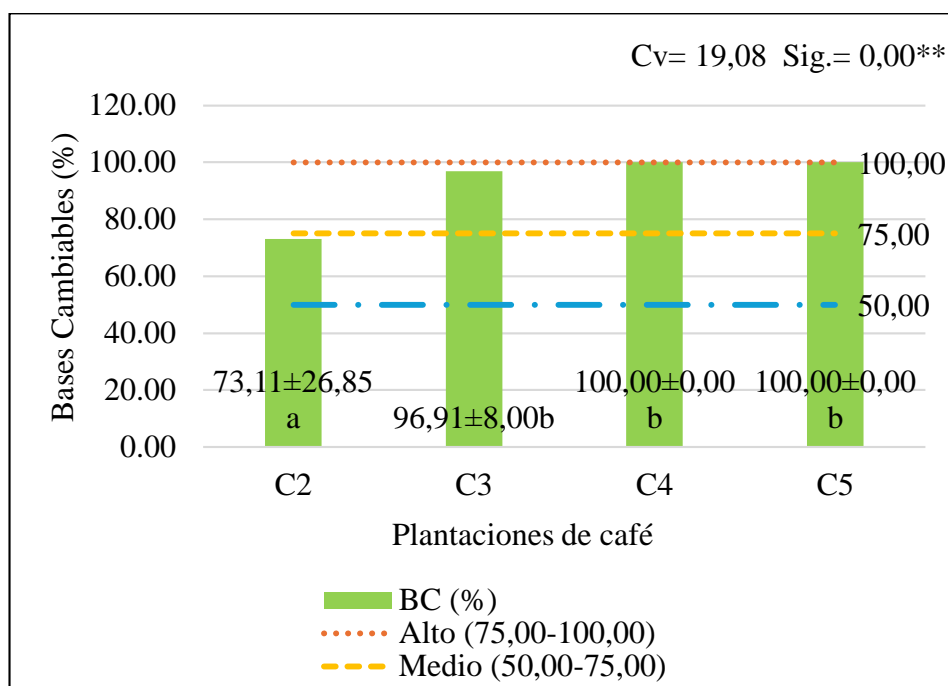
Figura 16. Comportamiento de la CIC en suelos con plantaciones de café.

Según Cardona (2005), al evaluar las propiedades químicas de suelos establecidos con café bajo sombra de *Inga sp.* y suelos a plena exposición solar, determino en estos dos agroecosistemas: Plantaciones con sombra de *Inga sp.* (guamo) la CIC mostró valores con tendencias superiores (hasta 31 cmol.kg^{-1}) y los suelos a plena exposición mostró valores con tendencias inferiores (hasta $12,33 \text{ cmol.kg}^{-1}$). Sin embargo, Huisa (2018), al evaluar la calidad del suelo en tres (03) campos de agricultura de café en Satipo, presento un promedio bajo de CIC, mostrando datos con una variabilidad de

medio a bajo de coeficiente de variación (4,40meq/100g). Asimismo, Arancel (2016), al evaluar los efectos de las propiedades del suelo en la producción de la calidad del café en Pichanaqui, mostró una media de 7,50mg.kg⁻¹ considerándolo como “medio”. También, Vislao (2021), al determinar las relaciones de las propiedades edáficas en la producción del cultivo de café en San Martín obtiene valores altos de 13,98 cmol(+)/kg a 17,59 cmol(+)/kg. En efecto los resultados de la figura 12, presentan mucha relación con lo argumentado por los investigadores, debido a que la zona que se evaluó en gran parte presenta una tendencia a disminuir la CIC, y esto se tiene relación con la concentración de nutrientes catiónicos (K, Ca, Mg) en las figuras 9, 10 y 11 respectivamente, ya que la CIC está directamente proporcional a la retención de nutrientes y como se ha visto la retención de los mencionados nutrientes es bajo. Por lo tanto este nos está indicando que la “calidad del Suelo”, está siendo afectado negativamente y requiere de inmediato estrategias de recuperación ya que indica una gran susceptibilidad a procesos de contaminación como lo señalan, Sánchez (2021), al realizar la caracterización físicoquímico de suelos agrícolas contaminados con Cadmio en Jauja, obtuvo un coeficiente “moderadamente alto” (12 a 20 cmol(+).kg⁻¹; y, Rodríguez (2023), al evaluar Cd y Pb en granos de café según la variedad de pisos altitudinales en el mismo distrito de Hermilio Valdizán y determinar los indicadores químicos del suelo, obtuvo un coeficiente de variación de 41,50.

4.1.3.9. Bases cambiables (BC)

La **Figura 17**, muestra los valores medios de la estadística básica para la BC en los suelos evaluados. Además, se observa diferencias altamente significativas ($p=0,00^{**}$) entre las medias, además, los valores medios tienden a incrementarse entre las plantaciones de 2 a 3 años y bajar progresivamente hasta los 5 años, la plantación de 3 años sobre sale con la media más alta y corresponde a suelo con nivel bajo en BC.



C2, ...C5 plantaciones de café de dos, tres, cuatro y cinco años, letras distintas en las columnas expresan diferencias a $p \leq 0,05$, Cv coeficiente de variación, Sig significancia, ** altamente significativo

Figura 17. Comportamiento de BC en suelos con plantaciones de café.

Es importante saber que las bases cambiables (K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+) que presenta el suelo nos permite conocer el nivel de fertilidad del suelo, siendo considerados los 3 primeros como Macronutrientes esenciales (K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) en ese orden de requerimiento respectivo por parte de la planta y el cultivo, dependiendo además de las precipitaciones ya que el exceso hídrico facilita también la pérdida de estas bases cambiables afectando la fertilidad natural del suelo. Cardona (2005), al evaluar suelos con café bajo sombra y a plena exposición solar, determino una alta proporción de calcio y magnesio en el material parenteral de la mayoría de los suelos fueron adecuados para el café; y, el contenido de potasio fue mayor en cultivos a plena exposición solar. Del mismo modo Vislao (2021), al relacionar las propiedades edáficas en cultivos de café en San Martín, respecto al calcio obtuvo valores altos (9,18 a 9,23 $Cmol(+)/kg$), respecto al magnesio obtuvo los mejores valores (1,24 a 1,27 $Cmol(+)/kg$) mostrando superioridades estadísticamente. También Huisa (2020), al evaluar la calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café en Satipo, presentaron valores altos (50% de saturación), indicándonos buena fertilidad y provisión de nutrientes disponibles, en consecuencia, nos muestra una baja lixiviación de las bases cambiables debido a la concentración de arcilla presente en dicho suelo.

En efecto estos resultados no concuerdan con lo mostrado en la figura 13, que nos muestra que hay un bajo nivel de Bases Cambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+}) en el suelo, permitiéndonos deducir una mayor escorrentía y percolación (movimiento de nutrientes en las raíces) demostrando también la tendencia ácida que está tomando el sustrato y por consiguiente el suelo presenta una baja fertilidad. Este resultado es corroborado por Arancel (2016), al determinar los efectos de las propiedades del suelo en la calidad del café en Pichanaqui, determino que las Bases Cambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+}) en el suelo con niveles “bajo” y solo el potasio con nivel medio. Asimismo, Ruiz (2015), al analizar las relaciones de bases cambiables del estado nutricional de los suelos con cultivos de café en la provincia de La Mar (Ayacucho) tuvo como resultado que las relaciones catiónicas Ca/Mg , Ca/K y Mg/K no guardan equilibrio, demostrando antagonismo y competencia por la absorción de nutrientes, trayendo consigo la deficiencia de ellos.

4.2. Determinación de la Calidad del suelo a través de los índices de calidad ICS

La **Tabla 20** presenta de manera clara los valores del Índice de Calidad del Suelo (ICS) para cada tratamiento. Según Cantú et al. (2007), las plantaciones C2, C4 y C5 son clasificadas como de baja calidad, mientras que el tratamiento C3 se considera de calidad moderada.

Tabla 20. Índices de calidad del suelo

Características del suelo		Criterios del SUSS		Rn según tratamiento e indicador evaluado							
Indicador	Unidad	Deseable	Corte	C2	Rn	C3	Rn	C4	Rn	C5	Rn
SB	%	100	50	73,11	0,46	96,91	0,94	100	1,00	100	1,00
Potencial de hidrógeno		7	5	5,31	0,16	6,11	0,56	6,49	0,75	6,07	0,54
Fósforo disponible	mg/kg	9	0,1	6,63	0,73	11,86	1,32	9,3	1,03	11,16	1,24
Materia orgánica	%	5	0,5	2,73	0,50	2,86	0,52	3,08	0,57	2,72	0,49
Potasio	mg/kg	240	120	91,11	-0,24	95,7	-0,20	72,81	-0,39	74,27	-0,38
Nitrógeno total	%	0,2	0,05	0,14	0,60	0,14	0,60	0,15	0,67	0,14	0,60
Calcio intercambiable	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	10	2	3,84	0,23	6,38	0,55	1,91	-0,01	1,65	-0,04
Magnesio intercambiable	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0,5	0,58	0,03	0,83	0,13	0,35	-0,06	0,35	-0,06
Capacidad de intercambio catiónico	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	25	5	6,39	0,07	7,76	0,14	2,52	-0,12	2,36	-0,13
SUSS según tratamiento					0,28	0,51	0,38	0,36			
Clase de ICS				Baja calidad	Moderada calidad	Baja calidad	Baja calidad				

C2, C3, C4 y C5 plantaciones de café de dos, tres, cuatro y cinco años, ICS índice de calidad del suelo, Rn valor randomizado.

Los valores obtenidos de acuerdo con el ICS, muestra que los suelos en las plantaciones C2, C4 y C5 (2, 4 y 5 años respectivamente) un deterioro en su calidad. Esto se contrasta también cuando Valbuena – Calderón (2017), al evaluar la calidad del suelo de las fincas cafetaleras del sur de Colombia bajo dos esquemas: Manejo Tradicional y Manejo Intensivo; donde solo el primer esquema mostro un mejor ICS, no siendo similar al esquema de manejo intensivo; Del mismo modo, Cerda (2008), al determinar la calidad de suelos en plantaciones de cacao, banano y plátano en valles de Costa Rica, calculó el ICSA con 32 indicadores (32 IMP) de la plantación de cacao monocultivo (CM) quien presento el menor valor ($p < 0,05$); y, con el ICSA sin incluir indicadores químicos (ICSA SINQMC), fue la plantación de plátano monocultivo (PMC) registró el menor valor ($p < 0,05$). George (2006), realizó un estudio comparativo de indicadores de calidad de suelos en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica en base a sistemas establecidos (Pleno Sol, Convencional, Orgánico y Bosque), siendo los suelos de bosque los que presentaron los valores de los índices más altos y, los sistemas expuestos a pleno sol es el que presento el valor de índice más bajo; Asimismo, Chavarría et al. (2012), al estudiar comparativamente los efectos de diferentes sistemas de manejo

sobre la calidad del suelo en fincas cafetaleras en Costa Rica, calculó que la finca cafetalera con sistema de bosque tuvo un mayor ICSA, y, de los otros cuatro sistemas (orgánico, sostenible, convencional y pleno sol) presentan una calidad diferente, donde el último sistema “a pleno sol” el que presento condiciones más críticas.

Huisa (2020), al evaluar la calidad del suelo de campos de agricultura intensiva de café en Satipo, calculo en base a las propiedades fisico-químicas y determino que solo tres campos son los que presentaron un valor de nivel moderado (0,40 a 0,59) siendo el pH, fósforo disponible, K disponible y materia orgánica los indicadores con mayores limitaciones. Finalmente Arévalo (2014), al determinar la dinámica de los indicadores de calidad del suelo en sistemas agroforestales de cacao, obtuvo sistema de plantaciones de cacao en sistemas forestales logra una superioridad en su índice de calidad y eso se debe al balance adecuado de sus componentes físicos, químicos y biológicos y siendo los árboles y arbustos vitales en la fertilización y en los fijadores de nitrógeno y a la capacidad de retención de agua que brinda favoreciendo una humedad adecuada. Es por eso que los sistemas agroforestales son beneficiosos para sus suelos y la hojarasca y contribuyendo más aun a la calidad del suelo, sobre todo en la parte más superficial (0 – 20 cm) donde su índice de calidad de suelo fue significativamente superior, influenciado directamente por sus componentes biológicos.

4.3. Determinación de los Indicadores relevantes del ACP y la Correlación entre los indicadores fisicoquímicos del suelo con plantaciones de *Coffea arábica*

El análisis de correlación (**Tabla 21**), muestra relación positiva significativa, negativa débil entre los tratamientos y el % de arena, negativa media con el Ca, Mg, K y negativa considerable con la CIC; positiva débil con el pH y positiva media con la arcilla y las bases cambiables. También, se observa relación positiva media del K con el Ca, Mg y CIC; el mismo comportamiento, positiva media se observa para el del pH con el P y las BC; sin embargo, el Ca muestra correlación positiva muy fuerte con el Mg y CIC, finalmente, se encuentra correlación positiva considerable entre Ca y CIC.

Tabla 21. Índices de calidad del suelo

		Arena	Arcilla	Limo	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	CIC	BC
tratam	Cor.	-0,44**	0,53**	0,01	0,43**	0,017	0,016	0,259	-0,54**	-0,57**	-0,5**	-0,79**	0,54**
ientos	Sig.	0,004	0,00	0,97	0,01	,916	,923	,107	0,00	0,00	0,001	,000	,000
Arena	Cor.	1	-0,78**	-0,64**	-0,06	0,56**	0,56**	0,10	0,35*	0,35*	0,26	0,42**	-0,19
	Sig.		0,00	0,00	0,701	0,00	0,00	0,53	0,03	0,03	0,10	0,01	0,25
Arcilla	Cor.		1	0,02	0,09	-0,34*	-0,34*	-0,11	-0,52**	-0,59**	-0,52**	-0,63**	0,11
	Sig.			0,92	0,58	0,03	0,04	0,48	0,001	0,00	0,001	0,00	0,48
Limo	Cor.			1	-0,04	-0,50**	-0,50**	-0,04	0,09	0,18	0,23	0,14	0,12
	Sig.				0,799	0,00	0,00	0,81	0,58	0,25	0,15	0,39	0,46
pH	Cor.				1	0,20	0,19	0,57**	0,03	0,13	0,15	-0,16	0,66**
	Sig.					0,204	0,23	0,00	0,83	0,43	0,35	0,33	0,00
MO	Cor.					1	1,00**	0,19	0,145	0,05	-0,048	0,02	0,04
	Sig.						0,00	0,24	0,37	0,76	0,77	0,90	0,79
N	Cor.						1	0,186	0,15	0,05	-0,05	0,02	0,04
	Sig.							0,25	0,36	0,78	0,75	0,91	0,81
P	Cor.							1	0,32*	0,22	0,21	0,05	0,39*
	Sig.								0,044	0,17	0,19	0,75	0,01
K	Cor.								1	0,69**	0,62**	0,74**	-0,08
	Sig.									0,00	0,00	0,00	0,59
Ca	Cor.									1	0,92**	0,91**	0,18
	Sig.										0,00	0,00	0,25
Mg	Cor.										1	0,81**	0,27
	Sig.											0,000	0,088
CIC	Cor.											1	-0,241
	Sig.												0,134
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Cor. Correlación de Pearson, Sig. Significancia bilateral, N tamaño de muestra

Los resultados de correlación negativa para los tratamientos ponen en evidencia que la edad de las plantaciones de café tiene un efecto negativo en los niveles de K, Ca, Mg y CIC al menos en 5 años de manejo de acuerdo con las evaluaciones. Aunque, al momento parecen correlación positiva débil con el pH y BC, probablemente en el tiempo la progresiva disminución de las bases Ca, Mg y K terminen mostrando efectos negativos también para el pH.

De acuerdo a Valbuena – Calderón (2017), al establecer un índice de calidad de suelos en dos esquemas de manejo de fincas cafetaleras del sur de Colombia, realizó un análisis de correlación, donde determino ocho variables más sensibles a las prácticas de manejo del suelo, en el cual, de forma similar el potasio con el calcio (0,65), con el magnesio (0,81) y con bases totales (0,63) mostraron un comportamiento positiva media;

también muestran una relación negativa débil entre la textura arcillosa con el Ca (-0,42), Mg (-0,49) y K (-0,46), teniendo en cuenta que los sistemas de manejo intensivo y tradicional. La similitud de estos resultados nos permite respaldar las variables de calidad dinámica de suelos que fueron también planteados por Santana et al (1998) al determinar la calidad del suelo y su sostenibilidad agrícola en la región del “Cerrado” en la parte central de Brasil; y, Obando et al (2004), al desarrollar indicadores de calidad en la dinámica de andisoles en Caldas, Colombia.

V. CONCLUSIONES

1. Las propiedades fisicoquímicas de los suelos evaluados indican una textura arcillosa, con un pH ligeramente ácido, con niveles medio de materia orgánica con porcentaje ligeramente predominante en N, P, K, pero con una mayor tendencia a su absorción en plantaciones de mayor tiempo y por consiguiente una mayor absorción de Ca y Mg, mostrándonos una tendencia ácida en los cultivos de mayor tiempo de uso con mayor flujo de bases cambiables.
2. El Índice de Calidad de Suelos (ICS) de Cantú, nos muestra que, en los sistemas de manejo, de suelos de café de tres (03) años (C3), presentó mejor condición, con calificativo de “Moderada Calidad” y que los sistemas de suelos de cultivo de dos (02), cuatro (04) y cinco (05) presentan calidad de suelo diferentes con calificativo “Baja Calidad”, donde el sistema de uso de suelos de dos años es el que presenta las condiciones más críticas.
3. Los indicadores más relevantes en los suelos de plantaciones de *Coffea arabica* demuestran que, se aprecia que la textura arcillosa es la que juega un rol trascendental en la composición química del sustrato, como los nutrientes potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca) y magnesio (Mg) respectivamente y estos influyen directamente en el potencial de hidrogenión (pH) del sustrato, apreciándose una rápida fluctuación de las bases cambiables con impactos positivos sobre el calcio (Ca) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC).
4. Los indicadores fisicoquímicos del suelo como la textura, el pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio son los principales condicionantes que inciden directamente en la calidad del suelo e influyendo de manera negativa en el desarrollo de las plantaciones permanentes de *Coffea arabica* “café” que están siendo cultivados en el Distrito Hermilio Valdizán, de Leoncio Prado, lo que impulsa a una pronta acción correctiva a favor del cultivo de café, por ser uno de los principales pilares de la economía local y asimismo permitir dar la sostenibilidad medio-ambiental-económica.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Promover el análisis físicoquímico de los sistemas de uso de suelo de forma periódica (anual) y durante periodos prolongados que permitan asegurar la calidad de suelo haciéndolo más sustentable ambientalmente y permita una mayor rentabilidad.
2. Complementar los estudios de los sistemas de usos de suelos de plantaciones de café, a través de la determinación de parámetros biológicos y encontrar la relación directa de la interacción entre todos los componentes.
3. Promover e Intensificar estudios referentes a la identificación de meso y macrofauna y poder contribuir en la etología positiva hacia las plantaciones de café.
4. Aplicar otros índices de calidad de suelo para tener un diagnóstico de mayor respaldo y tomar acciones correctivas a un corto y/o mediano plazo.
5. Sensibilizar al productor y propietarios a intensificar cultivos alternos de cortos periodos o alternativas de recuperación de suelos degradados a fin de brindar una sostenibilidad a los sistemas de uso de suelos.
6. Intensificar y concientizar a las comunidades campesinas del sector cafetalero a través de didácticas, para una participación con mayor compromiso y lograr una intensa y prolongada sostenibilidad entre el agricultor – sustrato y ambiente.
7. Realizar estudios de mayor periodo, abarcando estudios en todas las diferentes temporadas (sol y lluvia) anuales que permitan un análisis más detallado del sistema de uso de suelo dedicado al sector cafetalero.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abi-Saab, A. R. (2012). Evaluación de la calidad del suelo en el sistema productivo orgánico La Estancia, Madrid, Cundinamarca 2012, Utilizando indicadores de calidad de suelos. Trabajo para obtener el título de ecólogo. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia. pag. 202.
- Adriaanse, A. (1993). Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.
- Arancel, Q. R. B. (2016). Efecto de las propiedades del suelo en la producción y calidad del café (*Coffea arabica L.*) variedad catimor en la microcuenca de Pampa Camona – Pichanaqui. Tesis Ing. Agrónomo Universidad Nacional del Centro del Perú. Satipo. Perú. 2016. 63 p.
- Arcila Pulgarín, J. (2007). Densidad de siembra y productividad de los cafetales. Capítulo 6. In Arcila Pulgarín, J.; Farfán, F.; Moreno, A.B.; Salazar, L.F.; Hincapié, E.; CENICAFE. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Colombia. p. 145 – 159.
- Arévalo G. E., (2014). “Dinámica de los indicadores de calidad del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao”. Tesis para Grado Doctoris Philosophiae. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. 156 p.
[<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1758/F08-A74-T.pdf?sequence=11&isAllowed=y>]
- Arshad, M.A. y Coen, G.M. (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. American J. of Alternative Agriculture 7: 25-31.
- Atlas, R. & Bartha, R. (2001). Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4ta. ed. Addison Wesley. Madrid, España. 677 p.
- Bazán, T. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Universidad Nacional Agraria la Molina, Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima Perú. 92 p. Repositorio INIA, http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/Bazan-Manual_de_procedimientos_de_los.pdf
- Benacchio, S.S. (1982). Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nal. de Inv. Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. p. 202

- Brady, N.C. (1990). The nature and properties of soils. McMillan Publishing Company. New York, USA. 621 p.
- Budhu, M. (2007). Soil mechanics and foundations. 2da. ed. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA. 634 p.
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Ciencias Agrícolas*. 33(2), 117-124p.
- Cairo, P. & Herrera, O. (1994). Algunas propiedades físicas de los suelos. *Edafología*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 476 p.
- Canet, G., Soto, C. (2016). La Situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe. IICA.
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., & Schiviano, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices en la Pampa Argentina. *Ciencia Suelo*. 25: 173-178
- Cardona C. D. A., Sadeghian K. S. (2005). Evaluación de Propiedades Físicas y Químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y plena exposición solar. *CENICAFE*. 56(4). Caldas. Colombia. p. 348 – 364.
- Carter, R. (2002). Soil quality for sustainable land management: organic matter and agregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*. 94:38
- Castro T. S. (2017). El calcio es un nutriente limitante en cafetales bajo manejo intensivo de fertilizantes en Ultisoles. *Revista Agronomía Costarricense*. Vol. 41(1). Universidad de Antioch. Pag. 105 – 119. ISSN:0377-9424 / 2017 [www.mag.go.cr/rev agr/index.html www.cia.ucr.ac.cr]
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). (2002). Estudio de factibilidad para la implementación de seguros basados en Índices climáticos en el cultivo de café en Honduras y Nicaragua p .67.
- CENICAFE. (1995). Como obtener una buena muestra para el análisis de suelos. *Avances Técnicos* 214. Chinchina – Caldas. Colombia.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFÉ (2016). La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. *Gerencia técnica / Programa de Investigación Científica Fondo Nacional del Café*. Manizales – Caldas. Colombia. 12 p. [<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/704/1/avt0466.pdf>]
- CENICAFÉ. (2013). *Manual Del Cafetero Colombiano*. Tomo I. Colombia: CENICAFE.

- Cerda B. R. H., (2008). Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el valle de Talamanca, Costa Rica. Tesis Magister en Agricultura Ecológica. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Tropical Agricultural Research and Higher Education Center – CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2008. 66 p.
[https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4067/Calidad_de_suelos_en_plantaciones_Talamanca.pdf?sequence=1&isAllowed=y]
- Chavarría, N., A. Tapia, G. Soto, y E. Virginio. (2012). Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosí. *Intersedes* Vol. 13(26) ISSN 2215-2458: 85-105.
[<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/2991/2903>]
- CICAFFE. (2011). “Guía Técnica Para El Cultivo Del Café.” 72.
- Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. Gobierno del Estado de Veracruz (COVECA). (2010). Monografía del café <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAFIACAFE2010.PDF>
- Cortina Guerrero, H.A; Acuña Zornosa, J.R; Moncada Botero, M, P; Herrera Pinilla, J. C; Molina Vinasco, J. M. (2013). Variedades de café. In: Manual del Cafetero Colombiano. Tomo I. CENICAFE, Colombia. p. 170-203.
- Demuner, M. C., Cadena, Z. M., Campos, S. G. (2013). Resistencia a la penetración en un suelo franco arcilloso a dos años de manejo con tres sistemas de labranza. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(No.Esp): 68-71.
<http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v22s1/rcta12513.pdf>
- Dexter, A.R. (2004). Soil physical quality. Part I. Theory, effect of soil texture, density and organic matter, and effect on root growth. *Geoderma*. 120:201
- Díaz, C., Carmen, M., (2017). Línea Base del Sector Café en el Perú, Documento de Trabajo. Lima. P. 58.
- Dirección General de Políticas Agrarias (DGPA). Observatorio de Commodities – Café (2020). Recuperado de: https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/2020/04/Reporte_Obs_Commodities_Cafe.pdf

- Doran, J. et al. (1994). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication No. 35. Madison, Wisconsin, USA. 244 p.
- Doran, J.W., Sarrantonio, M. y Liebig, M.A. (1996). Soil Health and Sustainability. Advances in Agronomy Vol. 56. Academic Press, Inc. San Diego, California.
- Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C. (1998). Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank, Washington DC, USA.
- Ecocafesal. (2009). Importancia del café. Martes 20 de octubre. Disponible en: <http://ecocafesal.blogspot.mx/2009/10/importancia-del-cafe.html>
- Etchevers, B. (1999). Indicadores de calidad de suelos. En: Conservación y restauración de suelos. (Eds. C.H. Siebe et al.). Universidad Nacional Autónoma de México y Programa Universitario del Medio Ambiente. México, D.F. p. 239
- Florida, N., & Acuña, G. (2020). Soil quality with traditional management in the Chambira native community. Plant Soil Environ. 66, 375–380. <https://doi.org/10.17221/144/2020-PSE>
- FNC. (2014). “El Árbol y El Entorno | Café de Colombia.” Retrieved November 16, 2019 (http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_arbol_y_el_entorno/).
- García, Y., Ramírez, W., Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. vol. 35, núm. 2, abril-junio, 2012, pp. 125-137 Pastos y Forrajes J. ISSN: 0864-0394. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey" Cuba. vol. 35, núm. 2, abril-junio, 2012, pp. 125-137. En línea: [<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269125071001>]
- George, A., (2006). Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Tesis Magister en Agricultura Ecológica. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Tropical Agricultural Research and Higher Education Center – CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2006. 118 p. [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4980/Estudio_comparativo.pdf?sequence=1&isAllowed=y]

- Gregorich, E.G. et al. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian J. of Soil Science*. 74:367
- Guharay, F. (2000). ¿Cómo manejar las plagas y enfermedades en cafetales con sombra? *Agroforestería en las Américas* 8(29):33-36.
- Havlin J.L., Beaton, S.L., Tisdale, y W.L. Nelson. (1999). *Soil fertility and fertilizers; and introduction to nutrient management*. 6 ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.
- Hernández, R. & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana editores. Ciudad de México.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, M. P. (2014). *Metodología de la Investigación*. 6° Edición. Mc GRAW-HILL. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Huerta, E. et al. (2008). Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana*. 26 (2):171
http://www.ico.org/ES/coffee_storyc.asp.
- Hünнемeyer, J.A., De Camino, R. y Müller, S. (1997). *Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales*. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- Huisa, A. D. (2020). *La calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (Coffea arabica) VAR. CATIMOR en el anexo Alto Pitocuna del Distrito de río negro. Satipo. 2018. Tesis Ing. Amb. Universidad Continental. Huancayo. Perú. 90 p.*
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (2006). *Métodos analíticos de laboratorio de suelos*. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia.
- IIAP, (2006). *Proyecto Plan de Ordenamiento Territorial de la provincia de Tahuamanu del departamento de Madre de Dios (Acuerdo KD 16 – Convenio IIAP-WWF)*
- IICA. (2004). *Cadena Agroindustrial Del Café En Nicaragua*.
- INEI. (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO)*. Perú. p. 93.
- Inocencio-Vásquez, E.T.; Florida-Rofner, N. (2022). *Comportamiento espacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo en plantación de Theobroma cacao*

- en Padre Abad, Ucayali, Perú. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 25(2):e2320.
<http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.2320>
- Jaramillo, A.; Guzmán, O. (1984). Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arábica* L., variedad Caturra. Cenicafé 35:57-65. Revisado en <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/708/1/arc035%2803%2957-65.pdf>
- Julca, A.; Blas, R.; Borjas, R.; Bello, S.; Anahui, J.; Talaverano, D.; Crespo, R.; Fundes, G. (2009). Informe de Colecta de germoplasma de Café en el Perú, FINCYP – PIBAB – 2009.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. y Schuman, G.E. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Science Society of America J. 61: 4-10
- Külh, Eddy. (2004). Nicaragua y Su Café.
- Labrador, J. (2008). Manual Técnico Manejo del suelo en los sistemas de producción ecológica. Sociedad Española de Agricultura Ecológica. 47p.
- Ladino P. A. (2010). Caracterización de propiedades físico-químicas de los suelos de la zona cafetera del municipio de Isnos con el fin de establecer su aptitud de uso y manejo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Surcolombiana. Colombia. 90 p.
- Lal, R. (1998). Soil quality and agricultural sustainability. In: Soil quality and agricultural sustainability. (Ed. R. Lal). Ann Arbor Press, Chelsea, MI. p. 3
- Lama, D. A. (2020). Pedogenese e pedoarqueologia no transecto da cordilheira dos Andes peruanos até as terras baixas da Amazônia [Tesis de Doctorado, Universidad federal de viçosa].
- Larson, W. E., and Pierce, F. J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality in evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol. 2. IBSRAM Proc. 12(2). Int. Board for Soil Resource and Management, Bangkok, Thailand. p. 37–51.
- Leroy, J.F. (1980). Les grandes lignées de caféiers. In IX Colloque Scientifique International sur le Café. Londres, Inglaterra. p. 473-477.
- Malavolta, E. (1986). Nutrição, abudação e calagem para o cafeiro. In Cultura do cafeiro. Ed. Por M.G. Poços de Caldas. Piracicaba, Brasil, Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do fosfato. p. 165 – 274.

- Martin, N. y Adad, I. (2006). Generalidades más importantes de las ciencias del suelo. En: *Disciplina Ciencias del Suelo. Tomo I. Pedología*. Universidad Agraria de La Habana. Cuba. 504 p.
- Masefield, G. B.; Wallis, M.; Harrison, S.G.; y Nicholson, B.E. (1980). *Guía de las plantas comestibles*. Ediciones Omega. 110.
- Masera, O. et al. (1999). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS*. GIRA. Mundi-Prensa e Instituto de Ecología-UNAM. México. 109 p
- Mercado Internacional del Café. (2006). *Observatorio de Corporaciones Transnacionales*. Actualizado abril. Boletín núm. 14. Disponible en: <http://cenida.una.edu.ni/relectronicos/REE71156.pdf>
- Meza, M., Castro, C., Pereira, K. & Puga, G. (2017). Indicadores para el monitoreo de la calidad del suelo en áreas periurbanas. valle de Quillota, cuenca del Aconcagua, Chile. *Interciencia*, 42(8), 494-502. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/08/494.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2019). *Plan Nacional de Cultivos, campaña 2019 – 2020*. p. 89.
- Montalvo, Juan, and Mónica Villalva. (2017). “International Coffee Organization - Historia Del Café.” 23 Mayo 3. Retrieved January 20, 2019 (http://www.ico.org/ES/coffee_storyc.asp).
- Murga, H., Coronado, M. F., Abanto, C., & De Almeida, F. (2021). Gradiente altitudinal y su influencia en las características edafoclimáticas de los bosques tropicales. *Madera y bosques*, 27(3), e2732271. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732271>
- Nannipieri, P. et al. (2003). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*. 54:655p.
- Navarro, A. et al. (2008). Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Agricultura Técnica en México*. 34 (2):151
- Obando, F.H., Montes J., y Zuluaga M., (2004). Desarrollo de indicadores de calidad inherente y dinámica de andisoles en el departamento de Caldas. En: *I Taller Nacional sobre Indicadores de Calidad del Suelo*. 20 – 22 oct. CIAT, Colombia.

- Odum, E. (1984). Properties of agroecosystems. In. Lowrance & GJ House. 1984. Agricultural Ecosystem: Unifying concepts. J. Willey & Sons. New York: 5-11.
- Odum, E. (1998). Conceptos de ciclos biogeoquímicos y factores limitantes, Cap. 4. Ecología: El vínculo entre las ciencias naturales y las sociales. Vigésima reimpresión, Compañía Editorial Continental, México: 115-149.
- OIC. (2014). Informe mensual del mercado de café. Febrero 2014. Recuperado de <http://www.ico.org/news/cmr-0214-c.pdf>
- Oliveras, I., Bentley, L., Fyllas, N. M., Gvozdevaite, A., Shenkin, A. F., Prepah, T., ..., & Schwantes Marimon, B. (2020). The influence of taxonomy and environment on leaf trait variation along tropical abiotic gradients. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 18. doi: 10.3389/ffgc.2020.00018
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). Guía para la descripción de suelos 4^o edición. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Café (2019). Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). Portal de Suelos de la FAO: Propiedades Físicas del Suelo. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Parr, J.F., Papendick, R.I., Hornick, S.B. y Meyer, R.E. (1992). Soil quality: attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. *American J. of Alternative Agriculture* 7: 5-11.
- Pentón, F.G., Milera, R.M., Schmitt H.P. (2021). Manual para la elaboración de biochar y microorganismos eficientes ihplus@bf. Estación experimental de pastos y forrajes indio hatuey. Universidad de Matanzas. Cuba. 33p.
- Pérez-Portilla, E.; Geissert-Kientz, D. (2006). Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.) - palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.) *Interciencia*, vol. 31, núm. 8, agosto. Asociación Interciencia Caracas, Venezuela. pp. 556-562.
- Pieri, C. (1989). Fertilité des terres de savanes. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT. Paris, France.

- Programa para el Desarrollo de la Amazonía - PROAMAZONIA (2003). Caracterización de las zonas cafetaleras en el Perú. Minagri. Lima. Perú. 136 p.
- Ramírez, M. (2004). Indicadores de estado: factores biológicos que limitan la calidad agrícola de los suelos. En: Primer Taller Nacional sobre indicadores de calidad de suelo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Palmira, Colombia.
- Rodríguez A. P. (2023) Evaluación de cadmio y plomo en granos de *coffea arábica* l. (café) según variedad y piso altitudinal en el distrito de Hermilio Valdizán campaña 2023. Tesis Maestría Agroecología, Mención Gestión Ambiental. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú. 2023. 72 p.
- Rodríguez, Celerino, David Munro, and Victor Hugo. (2009). Paquete Tecnológico Para El Cultivo Del Café Orgánico En El Estado de Colima. Colima.
- Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F. y McSweeney, K. (1995). How farmers assess soil health and quality. J. Soil Water Conservation 50: 229-236.
- Ruiz C. A., (2015). Evaluación del estado nutricional de suelos con cultivo de café (*Coffea arábica*) del Distrito de Anco – La Mar, Ayacucho. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. 123 p. [<https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/579704c3-6b11-4d6d-a5a9-39ead52f85dd/content>]
- Sadeghian Khalajabadi S., (2011). Respuesta de Cafetales al Sol y Bajo Semisombra a Nitrógeno y su Relación con la Materia Orgánica del Suelo. Revista Facultad Nacional de Agronomía. Vol. 64 (1). Pag. 5781 – 5791. [<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v64n1/a04v64n01.pdf>]
- Sadeghian Khalajabadi S. (2012). Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (*Coffea arábica* L.) en la etapa de almácigo. [Tesis]. Universidad Nacional de Colombia. Medellín (Colombia). 157 p. <http://www.bdigital.unal.edu.co/5723/1/16077856.2012.pdf>.
- Sanchez, T. C. (2021). Caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas contaminados con cadmio en el distrito de Leonor Ordoñez, provincia de Jauja, 2018. Tesis Ing. Ambiental. Universidad Continental. Huancayo. Perú. 117 p.

- Sánchez-Maranon, M. et al. (2002). Soil quality in Mediterranean mountain environments: effects of land use change. *Soil Science Society of America Journal*. 66:948
- Santana, D., Bahia F., and Antonio F. C., (1998). Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: World congress of soil science. 18 may. Montpellier, FRA.
[<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/482346/1/Soilquality.pdf>]
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación – SAGARPA. (2012). Subíndice de Uso Sustentable del Suelo. Metodología de Cálculo. https://silo.tips/queue/subindice-de-uso-sustentable-del-suelo-metodologia-de-calculo?&queue_id=-1&v=1625244045&u=MTkwLjIzNy4xNTcuMjEz
- Sierra y Selva Exportadora (SSE). Reporte Estadístico Café – Diciembre (2020). Recuperado de: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1737244/REPORTE%20ESTAD%20C38DSTIC%20CAFE%202020%20DICIEMBRE.pdf>
- Singer, M.J. y Ewing, S. (2000). Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Small, E. (2009). Top 100 Food Plants. NRC Research Press, 187-197.
- Soil Survey Staff. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. *Mdp.Edu.Ar*, 339. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
- Solórzano, Roger. (2005). “Condiciones Edafo-Climáticas, Morfología y Propagación de Las Plantas. Módulo de Aprendizaje.” 1 era:39
- Soto, G. (2006). Calidad de los suelos: una nueva visión del suelo. I Congreso Latinoamericano de Experimentadores e Investigadores en Producción Orgánica. Managua, Nicaragua.
- SQI-Soil Quality Institute. (1996). Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.

- Valbuena-Calderon O., Rodríguez-Pérez W., Suarez-Salazar J. (2017). Calidad de suelos bajo dos esquemas de manejo en fincas cafeteras del sur de Colombia – 2013. Revista Agronomía Mesoamericana Vol. 28, núm. 1. Universidad de Costa Rica Enero-Junio, ISSN: 1021-7444 1659-1321 [<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43748637009>]
- Verhulst, N., François, I. & Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables? Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo-CIMMYT. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QY2016100045>.
- Vislao B. S. (2021). Relación de las propiedades edáficas y la distribución radicular en la producción del cultivo de café (*Coffea arábica* L.) en la región San Martín. Tesis Maestría en Ciencias Agrícolas, mención Agricultura Sostenible. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú. 145 p.
- Waller, J. M.; Bigger, M. y Hillocks, R. J. (2007). Coffee Pests, Diseases and Their Management. CABE. 437 pp.
- Wintgens, N. (2009). Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. Ed. Jean Nicolas Wintgens. 2 ed. Weinheim, DE. 982 p. Revisado en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9783527619627>.

ANEXOS

Tabla 22. Análisis de varianza para la variable pH del suelo.

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: pH					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7,360 ^a	3	2,453	7,160	0,001**
Intersección	1436,522	1	1436,522	4192,223	0,000
Tratamiento	7,360	3	2,453	7,160	0,001
Error	12,336	36	0,343		
Total	1456,218	40			
Total, corregido	19,696	39			

a. R al cuadrado = 0,374 (R al cuadrado ajustada = 0,321)

F función de probabilidad, gl grados de libertad, Sig. Significancia estadística, ** altamente significativo

Tabla 23. Análisis post-hoc de Duncan para la variable pH del suelo.

Variable dependiente: pH				
	Tratamiento	N	Subconjunto	
			a	b
Duncan ^{a,b}	C2	10	5,305	
	C5	10		6,070
	C3	10		6,110
	C4	10		6,486
	Sig.		1,00	0,142

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000.
Alfa = 0,05

a, b subconjuntos homogéneos

Tabla 24. Análisis de varianza para la variable MO del suelo.

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: MO					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,866 ^a	3	0,289	0,236	0,87ns
Intersección	324,672	1	324,672	265,901	0,000
Tratamiento	0,866	3	0,289	0,236	0,870
Error	43,957	36	1,221		
Total	369,495	40			
Total, corregido	44,823	39			

a. R al cuadrado = 0,019 (R al cuadrado ajustada = -0,062)

F función de probabilidad, gl grados de libertad, Sig. Significancia estadística, ns no significativo

Tabla 25. Análisis de varianza para la variable N del suelo.

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: N					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,002 ^a	3	0,001	0,227	0,877ns
Intersección	0,812	1	0,812	260,172	0,000
Tratamiento	0,002	3	0,001	0,227	0,877
Error	0,112	36	0,003		
Total	0,927	40			
Total, corregido	0,115	39			

a. R al cuadrado = 0,019 (R al cuadrado ajustada = -0,063)

F función de probabilidad, gl grados de libertad, Sig. Significancia estadística, ns no significativo

Tabla 26. Análisis de varianza para la variable P del suelo.

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: P					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	163,795 ^a	3	54,598	2,638	0,064ns
Intersección	3792,456	1	3792,456	183,251	0,000
Tratamiento	163,795	3	54,598	2,638	0,064
Error	745,035	36	20,695		
Total	4701,287	40			
Total, corregido	908,831	39			

a. R al cuadrado = 0,180 (R al cuadrado ajustada = 0,112)

F función de probabilidad, gl grados de libertad, Sig. Significancia estadística, ns no significativo

Tabla 27. Análisis post-hoc de Duncan para la variable P del suelo.

Variable dependiente: P				
	Tratamiento	N	Subconjunto	
			a	b
Duncan ^{a,b}	C2	10	6,6270	
	C4	10	9,3046	9,3046
	C5	10		11,1589
	C3	10		11,8580
	Sig.			0,196

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000

Alfa = 0,05

a, b subconjuntos homogéneos

Tabla 28. Análisis de varianza para la variable K del suelo.

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: K					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4060,526 ^a	3	1353,509	9,289	,000
Intersección	278711,172	1	278711,172	1912,830	,000
tratameinto	4060,526	3	1353,509	9,289	,000
Error	5245,422	36	145,706		
Total	288017,120	40			
Total, corregido	9305,948	39			

a. R al cuadrado = ,436 (R al cuadrado ajustada = ,389)

F función de probabilidad, gl grados de libertad, Sig. Significancia estadística, ns no significativo

Tabla 29. Análisis post-hoc de Duncan para la variable K del suelo.

Variable dependiente: K				
	Tratamiento	N	Subconjunto	
			a	b
Duncan ^{a,b}	C4	10	72,8138	
	C5	10	74,2721	
	C2	10		91,1070
	C3	10		95,7000
	Sig.		,789	,400

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000

Alfa = 0,05

a, b subconjuntos homogéneos

Tabla 30. Análisis de varianza para la variable Ca del suelo.

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Ca					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	143,275 ^a	3	47,758	40,504	0,00**
Intersección	474,521	1	474,521	402,443	0,000
Tratamiento	143,275	3	47,758	40,504	0,000
Error	42,448	36	1,179		
Total	660,244	40			
Total, corregido	185,723	39			

a. R al cuadrado = 0,771 (R al cuadrado ajustada = 0,752)

F función de probabilidad, gl grados de libertad, Sig. Significancia estadística, ** altamente significativo

Tabla 31. Análisis post-hoc de Duncan para la variable Ca del suelo.

Variable dependiente: Ca					
Tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	
Duncan ^{a,b}	C5	10	1,6485		
	C4	10	1,9126		
	C2	10		3,8390	
	C3	10			6,3770
	Sig.		0,590	1,000	1,000
Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000					
Alfa = 0,05.					
a, b, c subconjuntos homogéneos					

Tabla 32. Análisis de varianza para la variable Mg del suelo.

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Mg					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,560 ^a	3	0,520	16,003	0,00**
Intersección	11,194	1	11,194	344,395	0,000
Tratamiento	1,560	3	0,520	16,003	0,000
Error	1,170	36	0,033		
Total	13,924	40			
Total, corregido	2,730	39			

R al cuadrado = 0,571 (R al cuadrado ajustada = 0,536)

F función de probabilidad, gl grados de libertad, Sig. Significancia estadística, ** altamente significativo

Tabla 33. Análisis post-hoc de Duncan para la variable Mg del suelo.

Variable dependiente: Mg					
Tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	
Duncan ^{a,b}	C5	10	0,3503		
	C4	10	0,3527		
	C2	10		0,5840	
	C3	10			0,8290
	Sig.		0,976	1,000	1,000
Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000					
Alfa = 0,05					
a, b, c subconjuntos homogéneos					

Tabla 34. Análisis de varianza para la variable CIC del suelo

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: CIC					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	224,944 ^a	3	74,981	169,468	0,000
Intersección	905,514	1	905,514	2046,583	0,000
Tratamiento	224,944	3	74,981	169,468	0,000
Error	15,928	36	0,442		
Total	1146,386	40			
Total, corregido	240,872	39			

a. R al cuadrado = 0,934 (R al cuadrado ajustada = 0,928)

F función de probabilidad, gl grados de libertad, Sig. Significancia estadística, ** altamente significativo

Tabla 35. Análisis post-hoc de Duncan para la variable CIC del suelo

Variable dependiente: CIC					
Tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	
Duncan ^{a,b}	C5	10	2,3569		
	C4	10	2,5172		
	C2	10		6,3948	
	C3	10			7,7628
	Sig.		0,593	1,000	1,000

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000

Alfa = 0,05

a, b, c subconjuntos homogéneos

Tabla 36. Análisis de varianza para la variable BC del suelo

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: BC					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5079,213 ^a	3	1693,071	8,626	0,00**
Intersección	342296,252	1	342296,252	1743,964	0,000
tratamiento	5079,213	3	1693,071	8,626	0,000
Error	7065,893	36	196,275		
Total	354441,357	40			
Total, corregido	12145,106	39			

a. R al cuadrado = 0,418 (R al cuadrado ajustada = 0,370)

F función de probabilidad, gl grados de libertad, Sig. Significancia estadística, ** altamente significativo

Tabla 37. Análisis post-hoc de Duncan para la variable BC del suelo

Variable dependiente: BC				
	tratameinto	N	Subconjunto	
			1	2
Duncan ^{a,b}	1,00	10	73,1109	
	2,00	10		96,9141
	3,00	10		100,0000
	4,00	10		100,0000
	Sig.			1,000
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000.				
b. Alfa = .05.				
a, b, c subconjuntos homogéneos				

Trabajos de Campo y Laboratorio



Figura 18. Visita al área de estudio en el Primer muestreo.



Figura 19. Reconocimiento del área del primer muestreo.



Figura 20. Toma de muestra aleatorio, en el primer muestreo.



Figura 21. Visita al área de estudio en el segundo muestreo.



Figura 22. Reconocimiento del área del segundo muestreo.



Figura 23. Toma de muestra aleatorio, en el segundo muestreo.



Figura 24. Transporte de las muestras en el segundo muestreo.



Figura 25. Procesamiento de las muestras.



Figura 26. Muestras en procesamiento para el análisis.



ANÁLISIS DE SUELOS

1. DATOS

SOLICITANTE:	TRUJILLO CHIARA MARICARMEN SILVANA	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCIÓN:	9/10/2023
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	9/10/2023
DISTRITO:	HERMILO VALDIZAN	FECHA DE REPORTE:	16/10/2023
LOCALIDAD:	LA DIVISORIA	RECIBO O FACTURA:	18588
CULTIVO:	CAFE	OBSERVACION:	INDICADORES FISICOQUIMICOS DE CALIDAD DE SUELOS EN PLANTACIONES DE COFFEA AMERICA (CAF) EN EL DISTRITO DE HERMILO VALDIZAN - LEONCIO PRADO.

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECANICO										CAMBIABLES Cmol(+)/kg										CIC	Bases Cambiables %	Acidos Cambiables %	Saturación de Aluminio %
	CODIGO DEL LAB.	MUESTRA	Arena %	Arcilla %	Limo %	pH	CE ds/m	M.O. %	N %	C %	P disponible ppm	K ppm	Ca	Mg	K	Na	Al	H								
1	S1485-1	M1	86	16	26	Francos Arenosos	8.66	0.121	1.630	0.082	0.946	12.211	115.699	8.210	6.664	1.073	0.321	0.163	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000			
2	S1485-2	M2	70	8	23	Francos Arenosos	5.94	0.161	3.978	0.199	2.307	6.130	97.307	6.886	5.811	0.633	0.161	0.091	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000			
3	S1485-3	M3	82	10	29	Francos Arenosos	4.86	0.144	3.978	0.199	2.307	6.469	98.788	---	4.163	0.580	0.228	0.103	0.793	0.360	6.217	81.610	18.390			
4	S1485-4	M4	86	18	17	Francos Arenosos	5.47	0.081	1.630	0.082	0.946	5.516	79.766	---	5.231	0.880	0.176	0.073	0.267	0.160	6.778	93.847	6.153			
5	S1485-5	M5	80	20	21	Francos Arenosos	4.99	0.086	2.417	0.111	1.286	2.671	94.968	---	2.137	0.371	0.191	0.093	3.045	0.870	6.708	41.629	45.389			
6	S1485-6	M6	80	18	23	Francos Arenosos	4.34	0.187	3.130	0.157	1.816	5.409	84.713	---	2.017	0.369	0.288	0.113	2.334	1.110	6.231	44.720	55.280			
7	S1485-7	M7	68	20	23	Francos Arenosos	5.09	0.076	1.966	0.098	1.135	6.731	91.360	---	2.276	0.233	0.196	0.139	1.866	0.930	5.642	60.442	48.568			
8	S1485-8	M8	68	20	18	Francos Arenosos	5.32	0.087	3.887	0.179	2.080	6.598	99.187	---	4.298	0.602	0.380	0.112	0.498	0.180	5.870	89.983	10.017			
9	S1485-9	M9	60	20	21	Francos Arenosos	4.97	0.046	3.987	0.179	2.080	2.671	77.966	---	1.472	0.230	0.176	0.128	2.742	1.070	5.819	34.478	65.521			
10	S1485-10	M10	68	18	25	Francos Arenosos	5.42	0.143	1.630	0.082	0.946	6.860	74.887	---	4.336	0.892	0.129	0.107	0.234	0.090	6.788	94.399	5.601			
11	S1485-11	M11	70	14	17	Francos Arenosos	6.51	0.245	4.761	0.238	2.761	18.009	90.910	8.465	7.266	0.971	0.207	0.130	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000			
12	S1485-12	M12	64	16	31	Francos Arenosos	7.51	0.137	1.600	0.078	0.870	16.627	97.507	9.209	7.767	1.096	0.264	0.093	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000			
13	S1485-13	M13	68	16	29	Francos Arenosos	6.69	0.146	4.630	0.232	2.686	12.741	91.760	8.327	7.196	0.841	0.194	0.096	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000			
14	S1485-14	M14	64	10	37	Francos Arenosos	5.85	0.128	1.174	0.059	0.681	11.691	87.112	6.554	5.506	0.796	0.157	0.096	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000			
15	S1485-15	M15	63	18	26	Francos Arenosos	5.84	0.132	3.195	0.160	1.853	9.737	99.366	7.257	5.824	1.100	0.239	0.094	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000			
16	S1485-16	M16	70	8	22	Francos Arenosos	5.99	0.295	4.174	0.209	2.421	11.013	100.656	8.291	6.934	0.881	0.379	0.098	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000			
17	S1485-17	M17	64	20	27	Francos Arenosos	5.93	0.122	1.630	0.082	0.946	10.691	96.207	8.087	6.965	0.733	0.297	0.092	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000			
18	S1485-18	M18	62	18	21	Francos Arenosos	6.26	0.111	3.717	0.166	2.156	13.491	120.097	8.513	7.047	0.948	0.413	0.104	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000			
19	S1485-19	M19	64	20	27	Francos Arenosos	5.48	0.075	1.866	0.098	1.135	7.971	96.308	---	5.329	0.614	0.269	0.135	0.272	0.100	6.709	94.465	5.545			
20	S1485-20	M20	60	18	23	Francos Arenosos	5.07	0.087	1.891	0.098	1.097	6.607	76.067	---	3.938	0.409	0.168	0.130	0.914	0.660	6.219	74.886	26.314			

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMIA

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS

ING. LUIS GERMAN MANSILLA MIRAYA
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



MÉTODOS ANALÍTICOS

01. pH método del potenciómetro, relación suelo - agua 1:1
02. C.E. Conductímetro - Extracto Acuoso
03. Materia orgánica. Método de Walkley y Black
04. Nitrógeno Total: Micro Kjeldahl
05. Fósforo disponible. Método de Olsen modificado. Extracto de NH_4CO_3 0.5M, pH 8.5
06. Potasio Disponible: Método de acetato de amonio 1N, pH 7.0
07. Capacidad de intercambio Catiónico (CIC): Método de acetato de amonio 1N, pH 7.0
Ca Mg K Na : Absorción atómica
08. C.I.C efectiva: Desplazamiento con KCl 1N (Suelos en pH < 6.6)
Aluminio más Hidrógeno: Método de Yuan
09. Densidad Aparente, Densidad Real, Porcentaje de Porosidad: Método de la Probeta
10. Humedad Relativa, Capacidad de Campo: Método de la Probeta
11. Determinación de elementos menores Hierro, Cobre, Zinc y Manganeso: Método Melich III - EAA
12. Determinación del Boro: Método de la Azometina - H
13. Cadmio y Plomo disponible: Método EDTA - EAA
14. Cadmio Total: Extracción USEPA 3050 - EAA
15. Cadmio Soluble: Lectura directa de la solución en el espectrofotómetro de Absorción Atómica.
16. Determinación colorimétrica de molibdeno

INTERPRETACIÓN DEL pH

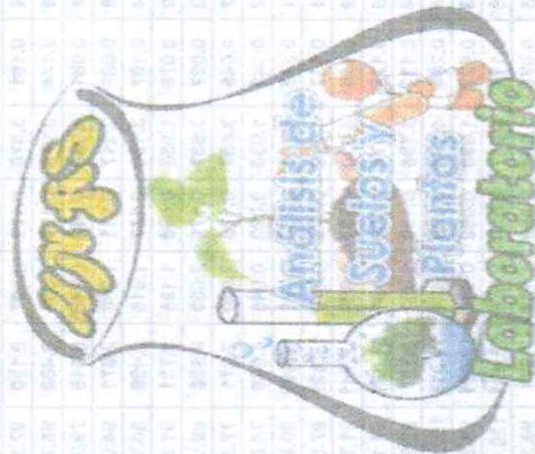
Segun Scheffer y Schachtschabel	pH en KCl	UNALM	pH en agua
Extremadamente ácido	< 4.0		< 5.5
Fuertemente ácido	4.0 - 4.9	Fuertemente ácido	5.5 - 6.0
Mediamente ácido	5.0 - 5.9	Moderadamente ácido	6.1 - 6.5
Ligeramente ácido	6.0 - 6.9	Neutro	7.0
Neutro	7.0	Ligeramente alcalino	7.2 - 7.8
Ligeramente alcalino	7.1 - 8.0	Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4
Mediana alcalino	8.1 - 9.0	Fuertemente alcalino	> 8.5
Fuertemente alcalino	9.1 - 10		
Extremadamente alcalino	> 10		

Interpretación de Carbonato de Calcio	Rango (%)
Bajo	< 1
Medio	1 - 5
Alto	5 - 15
Muy alto	> 15

Interpretación de Materia Orgánica	Rango (%)
Bajo	< 2
Medio	2 - 4
Alto	> 4

Interpretación de Nitrógeno Total	Rango (%)
Bajo	< 0.1
Medio	0.1 - 0.2
Alto	> 0.2

Interpretación de Fósforo Disponible	Rango (ppm)
Bajo	< 7
Medio	7 - 14
Alto	> 14



Interpretación de Salinidad	Rango (dS/m)
No salino	0-2
Muy ligeramente salino	2-4
Ligeramente salino	4-8
Moderadamente salino	8-16
Fuertemente salino	> 16

Interpretación de Potasio Disponible	Rango (Kg K ₂ O/ha)	Rango (ppm)
Bajo	< 300	< 100
Medio	300-500	100-240
Alto	> 500	> 240

GRACIAS POR LA CONFIANZA Y PREFERENCIA

MÉTODOS ANALÍTICOS

01. pH método del potenciómetro, relación suelo - agua 1:1
02. C.E: Conductímetro – Extracto Acuoso
03. Materia orgánica: Método de Walkley y Black
04. Nitrógeno Total: Micro Kjeldahl
05. Fósforo disponible: Método de Olsen modificado. Extracto de NH_4CO_3 0.5M, pH 8.5
06. Potasio Disponible: Método de acetato de amonio 1N, pH 7.0
07. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): Método de acetato de amonio 1N, pH 7.0
Ca Mg K Na : Absorción atómica
08. C.I.C efectiva: Desplazamiento con KCl 1N (Suelos en pH < 6.5)
Aluminio más Hidrógeno: Método de Yuan.
09. Densidad Aparente, Densidad Real, Porcentaje de Porosidad: Método de la Probeta
10. Humedad Relativa, Capacidad de Campo: Método de la Probeta
11. Determinación de elementos menores Hierro, Cobre, Zinc y Manganeso: Método Mellich III – EAA
12. Determinación del Boro: Método de la Azometina – H
13. Cadmio y Plomo disponible: Método EDTA – EAA
14. Cadmio Total: Extracción USEPA 3050 – EAA
15. Cadmio Soluble: Lectura directa de la solución en el espectrofotómetro de Absorción Atómica.
16. Determinación colorimétrica de molibdeno.

INTERPRETACIÓN DEL pH

Según Scheffer y Schachtschabel	pH en KCl	UNALM	pH en agua
Extremadamente ácido	< 4.0	Fuertemente ácido	< 5.5
Fuertemente ácido	4.0 - 4.9	Moderadamente ácido	5.5 - 6.0
Medianamente ácido	5.0 - 5.9	Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
Ligeramente ácido	6.0 - 6.9	Neutro	7.0
Neutro	7.0	Ligeramente alcalino	7.2 - 7.8
Ligeramente alcalino	7.1 - 8.0	Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4
Mediana alcalino	8.1 - 9.0	Fuertemente alcalino	> 8.5
Fuertemente alcalino	9.1 - 10		
Extremadamente alcalino	> 10		



Interpretación de Salinidad	Rango (d S/m)
No salino	0-2
Muy ligeramente salino	2-4
Ligeramente salino	4-8
Moderadamente salino	8-16
Fuertemente salino	> 16

Interpretación de Potasio Disponible	Rango (Kg K ₂ O/ha)	Rango (ppm)
Bajo	< 300	< 100
Medio	300-600	100-240
Alto	> 600	> 240



Interpretación de Carbonato de Calcio	Rango (%)
Bajo	< 1
Medio	1-5
Alto	5-15
Muy alto	> 15

Interpretación de Materia Orgánica	Rango (%)
Bajo	< 2
Medio	2-4
Alto	> 4

Interpretación de Nitrógeno Total	Rango (%)
Bajo	< 0.1
Medio	0.1-0.2
Alto	> 0.2

Interpretación de Fósforo Disponible	Rango (ppm)
Bajo	< 7
Medio	7-14
Alto	> 14

GRACIAS POR LA CONFIANZA Y PREFERENCIA