

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACION DE
SUELOS Y AGUA



EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE SUELOS AGRÍCOLAS PARA LA
ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE SALINIZACIÓN EN RAMAL DE CACHİYACU –
REGIÓN SAN MARTÍN

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

GARCIA PAIMA, KATHERINE JAHAYRA

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°036-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 29 de febrero de 2024, a horas 06:30 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos Y agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“EVALUACIÓN FISICOQUÍMICA DE SUELOS AGRÍCOLAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE SALINIZACIÓN EN RAMAL DE CACHIYACU – REGIÓN SAN MARTÍN”

Presentado por la Bachiller: **GARCIA PAIMA, Katherine Jahayra**, 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 EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 14 de marzo de 2024

Dr. ROBERTO OBREGON PEÑA
PRESIDENTE



Ing. MSc. SANDRO RUIZ CASTRE
MIEMBRO

Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
MIEMBRO

Dr. JOSE D. LEVANO CRISOSTOMO
ASESOR



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 336 - 2024 - 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 en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE SUELOS AGRÍCOLAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE SALINIZACIÓN EN RAMAL DE CACHYACU – REGIÓN SAN MARTÍN	GARCIA PAIMA, KATHERINE JAHAYRA	21 % Veintiuno

Tingo María, 25 de noviembre de 2024



Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

DEDICATORIA

A Dios, por su guía, protección y bendiciones en este viaje académico. Esta tesis es una expresión de mi gratitud por todas las oportunidades que me ha brindado y por ser mi luz en los momentos más oscuros.

A mi madre (Genith Paima Human y abuelita Julia Bernith), por ser mi fuente inagotable de inspiración, por su trabajo y sacrificio en todos estos años y su gran amor incondicional, gracias a ella he logrado llegar hasta aquí y convertirme en su orgullo.

A mis tíos (Estelit y Gilberto) por su constante motivación y sus palabras alentadoras, que me ayudaron a superar los desafíos. Esta tesis es el reflejo fundamental que han desempeñado en mi crecimiento académico y personal.

A mis hermanos (Aaron y Ángelo) por ser mi fuerza y apoyo en cada paso del camino.

A mi novio Eros Billy Jean Fernández Ríos. Por ser parte de mi historia de superación y triunfos obtenidos.

Lic. Segundo A. Torres Valles. Quien me dio palabras de superación y me tendió la mano para seguir teniendo mi formación profesional.

A mis amig@s (Leslie, Dolibeth, Roxana, Patricia, Lily, Alejandra, Yeseli Tarazona y Wilman,), por las aventuras por las risas interminables por su fe en mi cuando a veces dudaba de mis habilidades. Su amistad ha sido un regalo invaluable que ha llenado mi corazón de alegría y gratitud.

AGRADECIMIENTOS

Hoy al culminar este importante capítulo de mi vida con la finalidad de mi tesis, siento una profunda gratitud que me embarga el corazón. Me complace expresar mi agradecimiento a cada uno de ustedes, quienes han sido pilares fundamentales en este emocionante viaje académico y personal.

En primer lugar, quiero dar gracias a Dios por brindarme fuerza, sabiduría y guía durante todo este proceso. Tu presencia constante ha sido mi inspiración y refugio en los momentos de incertidumbre. Tu amor incondicional me ha sostenido y dado la confianza necesaria para superar los desafíos que se presentaron en el camino hacia la culminación de esta tesis.

A ti, Madre. Mi pilar más sólido, quiero expresar mi más profundo agradecimiento. Tu inquebrantable apoyo y aliento han sido fundamental para alcanzar esta meta. Siempre has creído en mí incluso cuando yo dudaba de mis capacidades. Tu apoyo incondicional me ha impulsado a esforzarme al máximo.

A mis tíos. Por el apoyo constante en este camino. Gracias por sus consejos sabios y palabras de aliento. Siempre estaré agradecida por el amor y apoyo constante que me han brindado.

A mis dos hermanos menores. Que forman parte fundamental para mi superación. Porque quiero ser el reflejo de la perseverancia de superación

A mis amig@s. Por estar a mi lado en los buenos y malos momentos. Sus palabras de aliento, risas compartidas y compañía hicieron que este camino fuera más llevadero y significativo. Su amistad es un tesoro que valoro profundamente

A mamá Melania y papá Efraín, por los consejos y regaños que nunca faltaban para mi superación de mi vida personal y profesional.

A ti amor mío. Quiero agradecerte por ser mi apoyo incondicional y mi motivación constante para avanzar con determinación hacia la culminación de este proyecto.

Y finalmente a mí. Por qué a pesar de todos los obstáculos que me llevo a obtener este pedáneo en mi vida personal y profesional he sabido sobrellevar la carga, no ha sido fácil, pero me felicito y me agradezco.

Agradezco a cada uno de mis docentes, por brindarme sus conocimientos y apoyo constante.

A mi centro de sabiduría y conocimiento mi Universidad Nacional Agraria de la Selva.

A todos ustedes, les dedico este logro. Sin su amor, apoyo y aliento, este camino habría sido más difícil de recorrer. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi corazón, y les estaré eternamente agradecida por ser parte de mi vida y mi éxito

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
	2.1. Marco teórico	3
	2.1.1. El suelo agrícola	3
	2.1.2. Las propiedades del suelo agrícola	4
	2.1.3. La salinización de los suelos agrícolas	18
	2.2. Estado del arte	21
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	24
	3.1. Lugar de ejecución	24
	3.1.1. Ubicación geográfica y política	24
	3.1.2. Datos climáticos	24
	3.1.3. Ecología	24
	3.1.4. Hidrografía	24
	3.1.5. Relieve	25
	3.2. Materiales y métodos	25
	3.2.1. Materiales	25
	3.2.2. Criterios de investigación	25
	3.3. Metodología	34
	3.3.1. Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu	27
	3.3.2. Determinar el porcentaje de sodio intercambiable y la relación de adsorción de sodio en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu	35
	3.3.3. Determinar la relación existente entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y el sodio en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
	4.1. Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo en tres zonas del Centro Poblado Ramal de Cachiyacu	31
	4.1.1. Propiedades físicas	31
	4.1.2. Propiedades químicas	40
	4.2. Determinar el nivel de salinización mediante el porcentaje de sodio intercambiable y la relación de adsorción de sodio en el Centro Poblado Ramal de Cachiyacu	53
	4.2.1. El porcentaje de sodio intercambiable	53
	4.2.2. La relación de adsorción de sodio	55

<u>4.3. Determinar la relación existente entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y el sodio en tres zonas del Centro Poblado Ramal de Cachiyacu</u>	56
<u>4.3.1. Correlación de las propiedades físicas y el sodio del suelo</u>	56
<u>4.3.2. Correlación de las propiedades químicas y el sodio del suelo</u>	57
<u>V. CONCLUSIONES</u>	59
<u>VI. PROPUESTAS A FUTURO</u>	60
<u>VII. REFERENCIAS</u>	61
<u>ANEXO</u>	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Características de la textura del suelo.....	7
2. Valores para la densidad aparente y el crecimiento radicular de acuerdo con la textura del suelo.	8
3. Rangos interpretativos del pH en el suelo.	10
4. Intervalos de materia orgánica en el suelo.....	¡Error! Marcador no definido.
5. Niveles de contenido de nitrógeno.	12
6. Niveles de contenido de fósforo.	13
7. Niveles de contenido de potasio.	14
8. Rangos interpretativos para calcio (Ca²⁺) intercambiable.	14
9. Rangos interpretativos para magnesio (Mg²⁺) intercambiable.	15
10. Rangos interpretativos para la capacidad de intercambio catiónico.	17
11. Clasificación de la macrofauna del suelo por grupos.	18
12. Rangos interpretativos para la PSI.	20
13. Coordenadas UTM (Datum WGS 84, UTM/UPS) del área de investigación.	24
14. Variables en estudio.	32
15. Determinación de los indicadores físicos y químicos evaluados.	35
16. Textura de los suelos encontrados en tres zonas del Centro Poblado Ramal de Cachiyacu.	39
17. Valores para la densidad aparente (g/cm³) en las tres zonas de Ramal de Cachiyacu.	39
18. Valores para el pH en las tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu.	41
19. Resultados para la materia orgánica (%) en las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu. ..	42
20. Disponibilidad de nutrientes (Macronutrientes) del suelo encontrados en tres zonas del Centro Poblado Ramal de Cachiyacu.	43
21. Disponibilidad de nutrientes (bases cambiables) del suelo encontrados en tres zonas del Centro Poblado Ramal de Cachiyacu.	47
22. Resultados para la Capacidad de Intercambio Catiónico (Cmol(+) kg) en las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu.	52
23. Resultados para el porcentaje de sodio intercambiable (%) en las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu.	54
24. Resultados para la relación de adsorción de sodio (meq/L) en las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu.	55

<u>25. Correlación de las propiedades físicas versus el sodio del suelo en tres zonas del CP de Ramal de Cachiyacu.</u>	56
<u>26. Correlación de las propiedades químicas versus el sodio del suelo en tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu.</u>	57
<u>27. Propiedades físicas de los suelos en el Centro Poblado Ramal de Cachiyacu.</u>	79
<u>28. Valores de las propiedades químicas del suelo del Centro Poblado Ramal de Cachiyacu.</u>	79
<u>29. Valores para el porcentaje de sodio intercambiable y la Relación de Adsorción de Sodio por zona en el Centro poblado Ramal de Cachiyacu.</u>	80
<u>30. Valores del coeficiente de correlación de las propiedades fisicoquímicas del suelo versus la relación con el Sodio por zona en el Centro poblado Ramal de Cachiyacu.</u> ...	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de muestreo de suelos en cada uno de las zonas del CP Ramal de Cachiyacu ...	34
2. Valores para el nitrógeno disponible (%) de las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu	44
3. Valores para el fósforo disponible (ppm) de las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu ...	46
4. Valores para el potasio disponible (kg.K₂O/ha) de las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu	47
5. Valores para el Calcio intercambiable Cmol(+)/kg⁻¹ de las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu	48
6. Valores para el Magnesio intercambiable Cmol(+)/kg⁻¹ de las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu	49
7. Valores para el Potasio intercambiable Cmol(+)/kg⁻¹ de las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu	50
8. Valores para el Sodio intercambiable Cmol(+)/kg⁻¹ de las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu	51
9. Valores para la Capacidad de intercambio Catiónico CIC Cmol(+)/kg⁻¹ de las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu	53
10. Valores del Sodio intercambiable (%) de las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu	55
11. Vista panorámica del puente Cachiyacu	74
12. Coordenadas UTM de la zona baja del CP Ramal de Cachiyacu	74
13. Coordenadas UTM de la zona media del CP Ramal de Cachiyacu	75
14. Muestreo de suelo de la zona media del CP Ramal de Cachiyacu	75
15. Preparando las soluciones para el análisis de suelo en laboratorio	76
16. Proceso de secado de las muestras de suelos del CP Ramal de Cachiyacu	76
17. Equipos y herramientas utilizados en el CP Ramal de Cachiyacu	77
18. Muestras de suelos para el Laboratorio para su respectivo análisis del CP Ramal de Cachiyacu	77
19. Muestra de suelo para ser analizada de la zona baja del CP Ramal de Cachiyacu	78

20. Toma de coordenada de la zona alta del CP Ramal de Cachiyacu	78
21. Análisis de suelos de la zona de trabajo del CP Ramal de Cachiyacu	80
22. Análisis especial de la muestra de agua de la zona de trabajo CP Ramal de Cachiyacu ...	78

RESUMEN

El trabajo de investigación fue ejecutado en el Centro poblado Ramal de Cachiyacu, en tres zonas denominadas zona baja, media y alta, distrito de Tocache, provincia de Tocache, departamento de San Martín. El objetivo fue evaluar las características fisicoquímicas de suelos agrícolas para la estimación del nivel de salinización en Ramal de Cachiyacu, Región San Martín. Se determinó las propiedades fisicoquímicas del suelo, el nivel de salinización mediante el porcentaje de sodio intercambiable y la relación de adsorción de sodio y la relación existente entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y el sodio, para ello se utilizó la estadística descriptiva para validación de los datos obtenidos. Los resultados para la presente investigación fueron en las propiedades físicas de las tres zonas en el CP Ramal de Cachiyacu presenta una textura franca, el mejor valor de densidad aparente está en la zona alta con $1,06 \text{ g/cm}^3$, así mismo en las propiedades químicas en la zona media se tuvo el mayor valor de pH con 6,37, magnesio con 0,83 Cmol(+)/kg, potasio intercambiable con 0,30 Cmol(+)/kg, en la zona alta el mayor valor en materia orgánica con 3,39%, nitrógeno con 0,17%, calcio 6,31 Cmol(+)/kg, sodio intercámbiable con 0,20 Cmol(+)/kg y la CIC 7,62 Cmol(+)/kg, en la zona baja el mayor valor de fósforo con 9,74 ppm, potasio con 95,66 ppm. El nivel de salinización presenta el mayor valor del porcentaje de sodio intercambiable y relación de adsorción de sodio con 2,85 % 0,11 meq/L respectivamente en la zona media del centro poblado Ramal de Cachiyacu, en cuanto a la correlación entre las características físicas con el sodio del suelo muestran una correlación positiva considerable del sodio en la zona alta versus la densidad aparente con un valor de 0,86, una correlación positiva considerable del sodio con el pH en la zona alta, una correlación media del sodio con la materia orgánica en la zona media, una correlación positiva considerable del sodio con el nitrógeno en la zona media, una correlación positiva media del sodio con el fosforo en la zona media, una correlación positiva considerable del sodio con el potasio en la zona alta y al final una correlación positiva media del sodio con la CIC en la zona alta. En conclusión, no existe presencia de sales considerables como para modificar las características fisicoquímicas de suelos agrícolas en Ramal de Cachiyacu, Región San Martín.

Palabras clave: Suelos salinos, propiedades del suelo, sodicidad, densidad, bases.

ABSTRACT

The research work was carried out in the Ramal de Cachiyacu populated center, in three zones called low, medium, and high zone, district of Tocache, province of Tocache, department of San Martín. The objective was to evaluate the physicochemical characteristics of agricultural soils for the estimation of the level of salinization in Ramal de Cachiyacu, San Martín Region. The physicochemical properties of the soil were determined, the level of salinization through the percentage of exchangeable sodium and the sodium adsorption ratio and the relationship between the physicochemical properties of the soil and sodium, for which descriptive statistics were used to validate the results. data obtained. The results for the present investigation were in the physical properties of the three zones in the CP Ramal de Cachiyacu presents a frank texture, the best apparent density value is in the high zone with 1,06 g/cm³, likewise in the chemical properties in the middle zone there was the highest pH value with 6,37, magnesium with 0,83 Cmol(+)kg, exchangeable potassium with 0,30 Cmol(+)kg, in the upper zone the highest value in organic matter with 3,39%, nitrogen with 0,17%, calcium 6,31 Cmol(+)kg, exchangeable sodium with 0,20 Cmol(+)kg and the CIC 7,62 Cmol(+) kg, in the lower zone the highest value of phosphorus with 9,74 ppm, potassium with 95,66 ppm. The level of salinization presents the highest value of the percentage of exchangeable sodium and sodium adsorption ratio with 2,85% 0,11 meq/L respectively in the middle zone of the Ramal de Cachiyacu Population Center, in terms of the correlation between the physical characteristics with sodium soil show a considerable positive correlation of sodium in the upper zone versus bulk density with a value of 0,86, a considerable positive correlation of sodium with pH in the upper zone, a medium correlation of sodium with organic matter in the middle zone , a significant positive correlation of sodium with nitrogen in the middle zone, a medium positive correlation of sodium with phosphorus in the middle zone, a significant positive correlation of sodium with potassium in the high zone and finally a medium positive correlation of sodium with CEC in the high zone. In conclusion, there is no presence of considerable salts to modify the physicochemical characteristics of agricultural soils in Ramal de Cachiyacu, San Martín Region. Keywords: Substrate, forest species, physical properties, fertilizers, forest nurseries.

Keywords: Saline soils, soil properties, sodicity, density, bases.

I. INTRODUCCIÓN

La salinización es un fenómeno que puede presentarse de manera natural o por actividades humanas, y se caracteriza por el aumento en la proporción de sales disueltas en el suelo. Este proceso no se limita a zonas específicas, ya que puede afectar tanto a áreas agrícolas como a ecosistemas naturales, y sus implicaciones son de gran relevancia para diversos aspectos de la vida en nuestro planeta. La salinización puede afectar la capacidad del suelo para retener agua, por la competencia con las raíces de las plantas por el agua disponible, así mismo altas concentraciones de sales puede modificar la estructura del suelo y la distribución del tamaño de las partículas, lo que dificultaría la infiltración del agua y desarrollo de las raíces de las plantas.

La salinización ejerce un impacto desfavorable sobre diversos parámetros fisicoquímicos del suelo, pueden alterar la disponibilidad de compuestos nutritivos como el N, P y K, lo que afecta directamente el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Además, ciertas sales, como el sodio y el cloruro, pueden tener un efecto tóxico sobre las plantas cuando están presentes en altas concentraciones, afectando sus procesos fisiológicos, también puede modificar el pH del suelo, volviéndolo más ácido o alcalino, lo que a su vez puede influir en la disponibilidad de nutrientes para las cultivos.

La región de San Martín incluye valles fértiles, tierras altas y montañas, alberga una variedad de suelos con distintas características físicas y químicas, a pesar de esta diversidad, ciertas áreas han experimentado el aumento de la salinidad en sus suelos por el uso inadecuado del agua, la intensificación agrícola y la falta de prácticas de preservación adecuadas. La presencia de altos niveles de sales solubles en el suelo ha generado preocupación sobre la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental en esta región, en tal sentido se plantea la siguiente pregunta ¿cuáles son las características fisicoquímicas de suelos agrícolas para la estimación del nivel de salinización en ramal de Cachiyacu – Región San Martín? Información que resultaría relevante para el manejo y conservación de suelos de esta zona.

Los suelos agrícolas en la región San Martín desempeñan un papel fundamental en el desarrollo socioeconómico de la zona, ya que proporcionan la base para la producción de una amplia variedad de cultivos que abastecen tanto al mercado local como a mercados nacionales e internacionales, por lo que la investigación sobre las características fisicoquímicas de suelos agrícolas y su relación con la salinización en el ramal de Cachiyacu - Región San Martín es relevante y justificada debido a su potencial para mejorar la productividad agrícola, la sostenibilidad ambiental y el bienestar de la comunidad agrícola en esta importante región agrícola de Perú.

Teniendo consideración de las características específicas de la región de San Martín y tomando en cuenta la presencia de actividades agrícolas significativas en ramal de Cachiyacu, se plantea como hipótesis: Existe una correlación significativa entre las características fisicoquímicas de los suelos agrícolas y el nivel de salinización en el ramal de Cachiyacu - Región San Martín. El estudio se basa en la suposición de que las características físicas y químicas del suelo, como la textura, la densidad aparente, el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el contenido de materia orgánica, pueden influir en la presencia y magnitud de la salinización en los suelos agrícolas de la región. En base a lo mencionado se plantea los objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar las características fisicoquímicas de suelos agrícolas para la estimación del nivel de salinización en ramal de Cachiyacu – Región San Martín

1.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu.
- Determinar el nivel de salinización mediante el porcentaje de sodio intercambiable y la relación de adsorción de sodio en el centro poblado Ramal de Cachiyacu.
- Determinar la relación existente entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y el sodio en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. El suelo agrícola

El suelo es la capa de la tierra que sostiene las raíces y proporciona agua y nutrientes a las plantas para su crecimiento y salud. Conformado por minerales de la roca madre mezclados con materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. Su formación puede tardar miles de años, pero puede degradarse rápidamente debido a prácticas agrícolas, sobrepastoreo, riego y deforestación (Van Konijnenburg, 2006).

Los suelos son partes esenciales de los sistemas naturales, proporcionando soporte a las plantas y resultando de factores físicos, naturales y ambientales que regulan etapas geodinámicas, biogeoquímicas y ecológicas vitales para la estabilidad y sostenibilidad. Juegan un papel crucial en la captación y regulación de aguas de lluvia y escorrentía en sistemas montañosos, así como en la conservación de la diversidad biológica (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015).

Como recurso natural no renovable, el suelo se regenera lentamente y es constantemente amenazado por la degradación. Es fundamental en la agricultura, ya que proporciona agua y nutrientes a los cultivos y participa en los ciclos del agua, C, N, P y otros elementos (Ferrerías et al., 2015).

Principalmente, el suelo se compone de materiales minerales resultantes del desgaste de la roca madre, influenciada por factores climáticos como la lluvia, la nieve y el viento, además de ser impactada por variaciones de temperatura diurna y nocturna. Los factores bióticos, como las plantas, animales y materia orgánica en descomposición, también son esenciales, interactuando con microorganismos como hongos y bacterias que desgastan la MO y la mezclan con las partículas minerales. (Acosta, 2007).

El suelo, a diferencia del agua y el aire, carece de estándares de medida definidos por su variabilidad, lo que dificulta establecer una medida fisicoquímica o biológica adecuada. Además, factores que afectan su funcionamiento complican la definición, medición y regulación de su calidad (Bandick y Dick, 1999).

Como recurso natural esencial, el conocimiento del potencial productivo del suelo es vital para el progreso tecnológico de la agricultura, logrando esto solo mediante

una comprensión profunda de sus propiedades y limitaciones en las diversas regiones del país (Bazán, 2017).

Desde el enfoque agrícola, el suelo es la capa fértil que cubre la Tierra y que las raíces de las plantas utilizan para conseguir soporte, nutrientes y agua. Desde la perspectiva ambiental, se reconoce su papel crucial en los procesos ecosistémicos, como la regulación y distribución del agua, y como amortiguador de contaminantes (Astier et al., 2002).

El suelo es un sistema natural complejo que mantiene la vida de otros ecosistemas, así como los ciclos de nutrientes y agua, favoreciendo la supervivencia humana (Montiel y Ibrahim, 2015).

Para evaluar las propiedades de un suelo agrícola, se pueden emplear parámetros que reflejen cambios en su capacidad y función (Dalurzo et al. 2002). Estos indicadores, que dependen del ecosistema, deben caracterizar aspectos relacionados con la sustentabilidad. Generalmente se utilizan indicadores directos de las características fisicoquímicas y biológicas de la tierra. Además, la capacidad productiva del suelo puede medirse indirectamente a través del rendimiento de sistemas agrícolas, forestales y ganaderos.

Según la National Resource Conservation Soil [NRCS] (2004) los indicadores de las propiedades del suelo deben cumplir con las siguientes condiciones:

- De fácil medida.
- Medición de cambios en las funciones del suelo.
- Abarcar los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo.
- Ser accesibles a los evaluadores y aplicables en condiciones de campo.

2.1.2. Las propiedades del suelo agrícola

El estudio de suelos es esencial para una agricultura eficiente. A través de la cartografía y caracterización, es posible identificar los tipos de suelos presentes, su extensión, propiedades y factores edáficos que pueden limitar la producción agrícola (Hernández et al., 2006). Estos elementos son cruciales para lograr una agricultura sostenible (Bernal et al., 2015).

Las proporciones de los compuestos de la tierra crean propiedades que le dan identidad, en el cual existen varios tipos de suelo y distintas clasificaciones taxonómicas de los suelos, que se basan en los parámetros de estos, dividiéndolas en físicas, químicas y biológicas (Acosta, 2007). Añade Astier-Calderón (2002) que estas propiedades están referidos a las características físicas, químicas y biológicas, los cuales brindan información sobre el

estado y funcionamiento del suelo, y permiten determinar su capacidad para conservar el crecimiento de las plantas y su sostenibilidad a largo plazo.

Las propiedades del suelo ofrecen una caracterización precisa de su estructura física, y composición química y biológica. Estas propiedades dependen del material geológico de origen, la cubierta vegetal, el tiempo de intemperismo, la topografía y cambios provocados por actividades humanas (Hilda, 2010).

El suelo es un sistema dinámico que sustenta la vida vegetal y la actividad agrícola. Múltiples procesos físicos, químicos y biológicos interactúan para enriquecer o empobrecer sus condiciones y funciones en beneficio de las plantas. Por tanto, debe considerarse un ente vivo, sensible a la intervención humana (Carrasco et al., 2013).

Las propiedades del suelo también se relacionan con su versatilidad para diversos usos. Las propiedades físicas en condiciones húmedas y secas, como la capacidad de drenaje, almacenamiento de agua, plasticidad, penetración de raíces, aireación y retención de nutrientes, están íntimamente ligadas a su estado físico. (Porta et al., 2003).

2.1.2.1. Las propiedades físicas

Las propiedades físicas de la tierra se relacionan con las interacciones entre sus fases (suelo, agua y aire) y sus respectivas proporciones. Estas propiedades determinan factores como su capacidad de carga, penetración radicular, circulación de aire, almacenamiento de agua, drenaje y retención de nutrientes. (INTAGRI, 2017).

El estado físico del suelo influye significativamente en sus usos por parte del ser humano, afectando la rigidez, la fuerza de sostenimiento, la aireación, el drenaje, la plasticidad y la retención de nutrientes (Rucks et al., 2004).

Tener en cuenta el estado físico del suelo es crucial para evaluar el estrés que puede sufrir un cultivo, lo cual es fundamental para el desarrollo y rendimiento de las plantas agrícolas (Reynolds et al., 2007). Además, estas propiedades ayudan a optimizar aspectos agrícolas como el laboreo, la fertilización, la disponibilidad de nutrientes, el drenaje, la irrigación y el uso de residuos de cosechas (Abu, 2013).

Los parámetros físicos incluyen la textura, definida por la cantidad de partículas (arena, limo y arcilla), la estructura, que describe el agrupamiento de partículas, y la porosidad del suelo (Astier-Calderón, 2002; Acosta, 2007).

Cada variable influye en el uso correcto de la tierra; por lo tanto, conocer estas propiedades nos ayudará a entender su impacto en el desarrollo de las plantaciones y en las actividades humanas que dependen de este recurso natural (Rucks et al., 2004).

Factores como la textura, porosidad, densidad, estructura y resistencia del suelo pueden afectar directamente (como el menor crecimiento de raíces en suelos compactados) o indirectamente (como la menor absorción de agua debido a un crecimiento radicular limitado o a una capacidad de almacenamiento reducida por la restricción de la profundidad efectiva del suelo) el desarrollo de las plantas (Dexter, 2004; Reynolds et al., 2008).

Los parámetros físico del suelo en condiciones húmedas y secas, su capacidad de drenaje y almacenamiento de agua, plasticidad, facilidad de penetración de raíces, aireación y retención de nutrientes están estrechamente relacionadas con su condición física. (Porta et al., 2003).

a) La textura del suelo

La textura del suelo es una propiedad clave que influyente en las fases de desgaste y en el potencial de producción (White, 2005). Refleja la numero de partículas de arena, limo y arcilla en la tierra, afectando propiedades como la DA y la porosidad, así como el movimiento y almacenamiento de agua y aire (Lacasta et al., 2005).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019) indica a la textura del suelo como la proporción de partículas de diferentes tamaños, lo que determina la facilidad de trabajo del suelo y su capacidad para retener agua y aire, así como la velocidad de infiltración del agua.

La textura proporciona información valiosa y puede determinarse mediante tacto o estudio de laboratorio. Está compuesta por proporciones de partículas minerales inorgánicas (medidas como porcentajes en peso), y rige muchas reacciones fisicoquímicas y biológicas en los suelos, al definir el tamaño de la superficie donde ocurren. (Maldonado, 2016).

La textura del suelo se ha empleado para prever parámetros químicos como la CIC y físicos como la retención de humedad y la infiltración. Sin embargo, tanto la mineralogía como la estructura del suelo, junto con la textura, influyen significativamente en estas propiedades (Forsythe, 1985).

La textura genera diversas estructuras relacionadas con porosidad y agregación, lo que puede acarrear problemas como endurecimiento, aireación, CRAD y permeabilidad (Lacasta et al., 2005). En condiciones ambientales similares, los suelos de textura gruesa, al tener mayor aireación, pueden experimentar un proceso de degradación más intenso. Además, el agua, esencial para la producción vegetal y la actividad biológica del suelo, depende de la capacidad del suelo para almacenarla, la cual está dominada por la textura, mientras que su conducción es influenciada principalmente por la estructura. Por ende, el manejo del suelo es crucial. (Lacasta et al., 2006).

Tabla 1. Características de la textura del suelo.

Características	Textura			
	Arcilloso	Limoso	Arenoso	Franco
Infiltración de agua	Baja	Baja	Alta	Media
Aireación	Baja	Baja	Alta	Media
Retención de agua	Alta	Media	Baja	Media - Alta
Erosión	Alta	Alta	Media - Baja	Media
Retención de nutrientes	Alta	Media - Baja	Baja	Media - Alta
Mineralización de la materia orgánica	Baja	Baja	Alta	Media
Facilidad para tomar buena estructura	Alta	Baja	Media - Baja	Media - Alta

Fuente: Gesmontes (2023).

b) La densidad aparente

Es una característica del suelo esencial en agricultura, especialmente relacionada con el uso del suelo y del agua (Folegatti et al., 2001). Esta característica impacta significativamente la productividad de los cultivos por su conexión con otras características del suelo (Stewart et al., 1998).

La DA de un suelo seco indica la relación entre la masa de sólidos y el volumen total, incluidos los poros. Su valor varía según la textura, el contenido de MO y el tipo de manejo, y es muy variable debido a la estructura y las propiedades de expansión y contracción del suelo. Esta densidad afecta el desarrollo de las plantas, ya que un aumento en su valor eleva la resistencia mecánica y disminuye la porosidad, lo que limita el desarrollo radicular. (Ingaramo et al., 2007).

Los valores críticos de DA para el desarrollo radicular varían según la textura del suelo y la especie vegetal. En suelos arenosos, una densidad de 1759 kg m⁻³ limita

el crecimiento de raíces de girasol, mientras que en suelos arcillosos, el valor crítico varía entre 1460 y 1630 kg m⁻³ para la misma especie. (Jones, 1983).

En suelos de textura fina, la DA cambia de 1 a 1,2 g.cm⁻³, mientras que en suelos arenosos es mayor, fluctuando entre 1,2 y 1,6 g.cm⁻³ (Dick, 2004). La densidad aparente está influenciada por la naturaleza, dimensiones y disposición de las partículas del suelo (Brady y Weil, 1999), así como por otros factores de formación (Folegatti et al., 2001) (Salamanca y Sadeghian, 2005).

Se puede determinar por varios métodos, como el del cilindro, bolsa de plástico, arena o agregado (Porta et al., 2003), siendo el método del cilindro el más común. Los otros métodos son útiles en casos específicos para suelos con propiedades especiales. (Ingaramo et al., 2007).

Tabla 2. Valores para la densidad aparente y el crecimiento radicular de acuerdo con la textura del suelo.

Textura	Ideal (g.cm⁻³)	Aceptable (g.cm⁻³)	Logra afectar el crecimiento radicular (g.cm⁻³)	Limita el crecimiento radicular (g.cm⁻³)
Arena, areno-franco	< 1,6	1,6 ≤ DA < 1,69	1,69 ≤ DA < 1,80	> 1,80
Franco-arenosa, franco	< 1,4	1,4 ≤ DA < 1,63	1,63 ≤ DA < 1,80	> 1,80
Franco-arcilla-arenosa, franco-arcillosa	< 1,4	1,4 ≤ DA < 1,60	1,60 ≤ DA < 1,75	> 1,70
Limosa	< 1,3	1,3 ≤ DA < 1,60	1,60 ≤ DA < 1,75	> 1,75
Franco-limosa, franco-arcillo-limosa	< 1,4	1,4 ≤ DA < 1,55	1,55 ≤ DA < 1,65	> 1,65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa	< 1,1	1,1 ≤ DA < 1,39	1,39 ≤ DA < 1,58	> 1,58
Arcillosa (>45% arcilla)	< 1,1	1,1 ≤ DA < 1,39	1,39 ≤ DA < 1,47	> 1,47

Fuente: SAGARPA (2017)

2.1.2.2. Propiedades químicas

Las propiedades químicas del suelo influyen en las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad de amortiguamiento, y la disponibilidad de agua y nutrientes para plantas y microorganismos (SQI, 1996).

Su evaluación se utilizan indicadores como la disponibilidad de nutrientes, pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico total y lábil, MO, CIC, N total y mineralizado, capacidad de adsorción de fosfatos y micronutrientes disponibles (Bautista et al., 2004; Bautista y Etchevers, 2014).

Según el CIAT (2002), estos indicadores incluyen disponibilidad de nutrientes, C orgánico total y lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, CIC, cambios en la MO, N total y N mineralizable. (Bautista Cruz, 2004):

- El pH de los suelos
- Materia orgánica
- Disponibilidad de los nutrientes
- Conductividad eléctrica
- Pérdida de base

Los parámetros químicos, como pH, MO, CE y niveles de P, N y K extractables, son fundamentales para la calidad y disponibilidad de agua y nutrientes en las plantas. Por otro lado, las características físicas, como la estructura, DA, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad, conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento, determinan cómo el suelo almacena y provee agua, facilitando el desarrollo de las raíces. (Bautista et al., 2004).

a) El potencial de hidrogeno (pH)

El pH es un parámetro químico que se encarga de medir la acidez o alcalinidad de las soluciones acuosas, definido como el logaritmo negativo de la actividad de protones (H^+) en una solución. En los suelos, el pH indica el grado de acidez o alcalinidad de la solución del suelo, de la cual dependen las raíces y microorganismos para obtener nutrientes (Osoio, 2012).

Es uno de los parámetros más relevantes para la fertilidad de la tierra, ya que revela la presencia de niveles tóxicos de aluminio y manganeso, la baja concentración de elementos básicos como C y Mg, y la capacidad de ajustar el pH mediante la

adición de óxido de calcio. La disponibilidad de otros nutrientes esenciales para las plantas también está relacionada con el pH, permitiendo diagnosticar problemas nutricionales para el desarrollo óptimo de las plantas (Rivera et al., 2018).

El pH indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución, lo cual mide su acidez, frecuentemente expresado en términos de concentración de iones hidronio. Se calcula usando una escala que va de 0 a 14: suelos con pH superior a 7 son básicos; aquellos con pH inferior a 7 son ácidos, y un pH de 7 indica un suelo neutro. (Rivera et al., 2018).

Los suelos pueden tener un pH natural que varía entre 3,5 y 10, según el material parental y la intensidad de las fases de formación del suelo, que son influenciados por el clima, la vegetación y el relieve a lo largo del tiempo. La evolución natural del suelo tiende a disminuir el pH a largo plazo. Así, en zonas áridas con suelos poco evolucionados o jóvenes, el pH suele ser superior a 7, mientras que en áreas más húmedas es inferior. Además, la materia orgánica libera iones de hidrógeno, lo que hace que los suelos orgánicos ricos en este componente sean ácidos ($\text{pH} < 5$) (Weil y Brady, 2017).

Tabla 3. Rangos interpretativos del pH en el suelo.

Interpretación	Rango
Extremadamente ácido	< 4.5
Fuertemente ácido	4.6 - 5.4
Moderadamente ácido	5.5 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Moderadamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos de la UNAS

b) La materia orgánica

Está compuesta por plantas marchitas, humus, hojas secas, tallos rotos, microorganismos, lombrices, fertilizantes naturales y restos orgánicos. Su deterioro inicia con la formación del horizonte O del perfil del suelo, donde se almacena y se descompone por acción microbiana, liberando CO₂ a la atmósfera. La MO es esencial para cuidar el suelo de la erosión y aumentar su productividad al aportar fertilidad físico-química y biológica. (Almorox et al., 2010).

Su composición y cantidad son vitales para el funcionamiento y la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios, ya que impactan en sus parámetros físicos, químicos y biológicos (Rotenberg et al., 2007). Aunque es utilizado como indicador de calidad del suelo, detectar cambios por disturbios puede requerir de 5 a 10 años. Sin embargo, la mineralización de la MO se controla por el tamaño y la actividad de la biomasa microbiana, que responde a disturbios en un tiempo menor. (Ferrerías et al., 2009).

El suelo consta de cuatro compuestos principales: mineral (45%), orgánico (5%), líquido (agua 25%) y gaseoso (25%). Estos porcentajes representan una composición ideal para el desarrollo de cultivos. Un suelo sin MO carece de energía, buena estructura, cargas negativas dependientes del pH y actividad microbiana, lo que afecta su dinámica física, química y biológica (Trinidad-Santos y Velasco-Velasco, 2016).

El contenido de materia orgánica varía según la región. Por ejemplo, un 2% es alto en un valle aluvial costero, pero bajo en la sierra y medio en la Amazonía. Por lo tanto, los niveles de materia orgánica deben evaluarse regionalmente y en función de las necesidades específicas de cada cultivo. (Lok, 2005).

Tabla 4. Intervalos de materia orgánica en el suelo.

Nivel	Rango (%)
Bajo	<2
Medio	2 a 4
Alto	>4

c) El nitrógeno

Es el nutriente más limitante para el desarrollo de cultivos en su entorno natural. Aunque el nitrógeno atmosférico es la reserva más abundante, las plantas no lo utilizan directamente; requieren un proceso de reducción que solo realizan los microorganismos capaces de fijar nitrógeno en el ciclo correspondiente (Baca et al., 2000).

Este elemento es muy dinámico en los suelos y responde rápidamente a diferentes manejos. Algunos estudios indican que no hay diferencias en la disponibilidad de nitrógeno entre el manejo orgánico y convencional, mientras que otros sostienen lo contrario (Cristóbal-Acevedo et al., 2011).

Es un mineral presente en alta concentración en los vegetales, derivado del suelo, y fundamental en el desarrollo como compuesto estructural y funcional. Es

fundamental para los seres vivos, ya que incorpora aminoácidos, aminoenzimas, ácidos nucleicos, clorofila y alcaloides, siendo el más absorbido por las plantas en condiciones de cultivo normales. (Balta Crisólogo et al., 2015).

El nitrógeno promueve el crecimiento de la masa foliar, lo que aumenta el área foliar, mejorando la captación de luz y la tasa fotosintética. Las plantas con deficiencia de nitrógeno exhiben un desarrollo lento y clorosis, manifestada por decoloración amarillenta en las hojas a partir de las puntas. Las hojas inferiores pueden morir prematuramente, mientras que la parte superior de la planta permanece verde. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). [FAO], 2013).

Tabla 5. Niveles de contenido de nitrógeno.

Nivel	Nitrógeno (%)
Bajo	< de 0,1
Medio	0,1-0,2
Alto	> de 0,2

Fuente: USDA (2006).

d) El fósforo

Es uno de los 17 nutrientes esenciales para el desarrollo de cultivos, indispensable para su desarrollo y reproducción. Como nutriente primario, su deficiencia es común en la producción agrícola, requiriéndose en grandes cantidades. La concentración total de P en los cultivos varía del 0,1 al 0,5% (Munera y Meza, 2012).

Este elemento es clave en los sistemas de capacitación, almacenamiento y transferencia de energía, y se encuentra en la estructura de macromoléculas importantes, como ácidos nucleicos y fosfolípidos, lo que resalta su rol en todas las etapas fisiológicas. En el sistema suelo-planta, el 90% del fósforo se localiza en el suelo, mientras que menos del 10% está en la parte aérea (Fernández, 2007).

La proporción del P en la solución del suelo es mínima debido a su formación de compuestos débilmente solubles con cationes. Las plantas absorben esta pequeña cantidad, que está en equilibrio con el P de la fase sólida, y cada forma química del suelo contribuye de distinta forma a su disponibilidad. Esta disponibilidad no es constante y varía según las condiciones ambientales que dañan el suelo y el desarrollo de cultivos (Rodríguez et al., 2001).

Un exceso de fósforo puede obstaculizar la absorción de micronutrientes como zinc y hierro, y un exceso de potasio eleva el pH del suelo, dificultando la absorción de otros nutrientes. (Stevenson y Cole, 1999).

Tabla 6. Niveles de contenido de fósforo.

Nivel	Fósforo (ppm)
Muy Bajo	< de 5
Bajo	5,1 – 15
Normal	15, 1- 30
Alto	30,1 – 40

Fuente: USDA (2006).

e) El potasio

El potasio es un macroelemento esencial cuya deficiencia se manifiesta rápidamente en las plantas, ya que requieren cantidades elevadas, incluso similares a las del nitrógeno. Se considera primario por su influencia en funciones vitales y se absorbe en forma de ion K^* , aunque en suelo y fertilizantes se presenta como K_2O (potasa). Su movilidad en el suelo es media, inferior a la del nitrógeno, pero es alta en las plantas, por lo que se pierde en suelos arenosos con baja capacidad de intercambio catiónico (Coronel, 2003).

Es un macronutriente clave para las plantas, activando más de 60 enzimas involucradas en etapas metabólicas como la fotosíntesis y la síntesis de proteínas y carbohidratos. Además, contribuye al equilibrio hídrico y al crecimiento meristemático (Mengel y Kirkby, 2000). El potasio es crucial para reducir el potencial osmótico del agua celular, lo que disminuye la pérdida de agua a través de las hojas y mejora la capacidad de las raíces para absorber agua.

El potasio es un nutriente esencial para el mantenimiento de praderas mixtas de alta producción, especialmente con leguminosas. La fertilización potásica es necesaria cuando el análisis de suelo indica niveles deficientes de potasio (Vistoso Gacitúa y Martínez Lagos, 2020). Este nutriente optimiza la producción agrícola, es vital para la fotosíntesis, activa más de 60 sistemas enzimáticos y regula la humedad en los tejidos vegetales.

El potasio es el catión con mayor importancia en la fisiología de las plantas, no solo por su presencia en los tejidos, sino por su papel en la translocación de azúcares, la formación de almidón, la apertura y cierre de estomas, la resistencia a enfermedades y la calidad de las cosechas (Navarro y Navarro, 2013; Taiz et al., 2015). Su efecto es especialmente favorable cuando los niveles de potasio en el suelo son bajos (Havlin et al., 2014).

Tabla 7. Niveles de contenido de potasio.

Nivel	Potasio kg.ha ⁻¹
Muy Bajo	menos de 300
Bajo	300-600
Normal	más de 600

Fuente: USDA (2006).

f) El calcio

El calcio es crucial para la estructura del suelo, siendo el catión predominante en suelos no ácidos. En suelos ácidos, se utiliza el encalado, que consiste en añadir enmiendas cálcicas para reducir la acidez al aumentar el contenido de calcio intercambiable en las partículas coloidales (Brady y Weil, 2002).

Se absorbe como Ca²⁺, con un contenido en plantas superiores de 5 a 30 mg•g⁻¹ de masa seca (Azcón-Bieto y Talón, 2000; Mengel et al., 2001). Su movilidad es mayor en el apoplasto que en el simplasto. El calcio compite con el magnesio; altas concentraciones de C en el sustrato aumentan su concentración en las hojas, disminuyendo la de magnesio (Bernstein y Hayward, 1958, citado en Vélez-Carvajal et al., 2014).

El calcio ingresa a la planta a través de las raíces por vías simplástica y apoplástica, concentrándose en las vacuolas y las paredes celulares. La rigidez y elasticidad de estas paredes dependen de la concentración de calcio: concentraciones bajas las vuelven flexibles y propensas a rupturas. Además, la permeabilidad de la membrana se ve afectada, donde el Ca²⁺, mediante enlaces de fosfolípidos, regula dicha permeabilidad; concentraciones bajas pueden aumentar la exudación de compuestos orgánicos, favoreciendo la aparición de patógenos (INTAGRI, 2023).

Tabla 8. Rangos interpretativos para calcio (Ca²⁺) intercambiable.

Rango	Ca (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy bajo	Ca < 2
Bajo	2 ≤ Ca < 5
Medio	5 ≤ Ca < 10
Alta	Ca ≥ 10

Fuente: SAGARPA (2017)

g) El magnesio

El magnesio es un nutriente esencial para las plantas, interviniendo en funciones cruciales como la síntesis de xantofilas y carotenos, activando enzimas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos y proteínas, y manteniendo la turgencia celular. Además, participa en la formación de carbohidratos (Cakmak y Yazici, 2010).

Su contenido en las plantas es inferior al de Ca (0,15 - 0,75% de materia seca) y es un componente clave de la clorofila, lo que lo vincula directamente con la fotosíntesis y la síntesis de aceites y proteínas, así como con el metabolismo energético (Brady y Weil, 2002).

El magnesio intercambiable, según Cakmak y Yazici (2010) y SAGARPA (2017), es relevante porque contribuye a la fotosíntesis y da el color verde a las plantas, siendo un indicador de deficiencias en suelos arenosos de baja CIC, lo que puede limitar la producción de cultivos.

Se absorbe como Mg^{2+} y actúa como un componente móvil en la planta y en las células (Azcon-Bieto y Talón, 2000). Su absorción puede verse afectada por otros cationes como K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} y Mn^{2+} , así como por H^+ en pH bajos. (Vélez-Carvajal et al., 2014).

Tabla 9. Rangos interpretativos para magnesio (Mg^{2+}) intercambiable.

Clase	Mg ($Cmol^{(+)} \cdot kg^{-1}$)
Muy bajo	$Mg < 0,5$
Bajo	$0,5 \leq Mg < 1,3$
Medio	$1,3 \leq Mg < 3,0$
Alta	$Mg \geq 3,0$

Fuente: SAGARPA (2017)

h) El sodio

Es un metal alcalino blando y plateado, abundante en la naturaleza, sobre todo en la sal marina. Altamente reactivo, arde con llama amarilla, se oxida en oxígeno y reacciona violentamente con el agua, encontrándose en grandes proporciones en el océano en forma iónica. También está presente en numerosos minerales y es esencial para la vida. (Leclercq y Strazzullo, 2014).

Las principales sales que afectan a las plantas en el suelo son los cloruros y sulfatos de Na, C, Mg y K (Munns et al., 2005). Los iones citotóxicos más significativos para las plantas son Na^+ , Cl^- y SO_4^- (Chinnusamy et al., 2005).

Las sales en el suelo limitan la absorción de agua por las raíces, afectando la acumulación de materia seca (Shannon y Grieve, 1999). Además, pueden causar desequilibrios iónicos debido a la excesiva absorción de sodio y cloruros, generando problemas nutricionales y de toxicidad relacionados con la absorción de iones esenciales para el desarrollo de las plantas (Yokoi et al., 2002).

El impacto de las sales en los cultivos varía según su etapa de desarrollo, siendo las plantas jóvenes más sensibles que las adultas. La mayoría de los efectos son negativos y se manifiestan desde las etapas fenológicas iniciales, reduciendo la germinación y prolongando su tiempo (Goykovic y Saavedra, 2007).

Altas concentraciones de sodio en el suelo reducen la absorción de potasio y calcio, lo que demuestra la competencia entre Na^+ y K^+ en las raíces (Hu y Schimdhalt, 2005). Por lo tanto, la adición de C y K puede mejorar la respuesta de los cultivos al estrés salino. La incorporación de nitrato de calcio y nitrato de potasio en suelos salinos favorece el desarrollo radicular. (López y Satti, 1996).

i) La capacidad de intercambio catiónico

La CIC es un indicador indirecto de la capacidad amortiguadora de los suelos, ya que evalúa los sitios de carga de las arcillas, incluyendo las cargas permanentes y las dependientes del pH. Estos sitios electrostáticos retienen cationes (Pérez Rosales et al., 2017) y la CIC depende de la cantidad y tipo de arcilla (Yong et al., 1990).

El intercambio de cationes es crucial para la nutrición vegetal, por lo que su correcta determinación es esencial. Los métodos más comunes para medir la CIC utilizan acetato de amonio o de sodio como extractantes (Wenk y Bulakh, 2004). Un alto nivel de CIC indica la capacidad de un suelo para retener cationes, lo que afecta la disponibilidad y proporción de nutrientes para los cultivos, así como su pH potencial. Suelos con baja CIC son generalmente arenosos o pobres en MO.

Según Arévalo y Gauggel (2014), es vital determinar la CIC en términos agronómicos, ya que el suelo actúa como reserva de nutrientes, y una mayor CIC implica un incremento en el depósito de iones nutritivos. Gracias a la CIC, las raíces de las plantas pueden absorber los nutrientes minerales necesarios para su crecimiento.

Adams (1995) señala que el método ideal para medir la CIC debe considerar la capacidad de los suelos para adsorber cationes de una solución acuosa que refleje las mismas condiciones de pH, fuerza iónica, constante dieléctrica y composición de los suelos en el campo, ya que la CIC varía con estos parámetros.

Tabla 10. Rangos interpretativos para la capacidad de intercambio catiónico.

Rango	CIC (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy Alta	CIC ≥ 40
Alta	25 ≤ CIC < 40
Medio	15 ≤ CIC < 25 Baja
Baja	5 ≤ CIC < 15
Muy baja	CIC < 5

Fuente: SAGARPA (2012)

2.1.2.3. Propiedades biológicas

La biología del suelo es compleja y dinámica. La meso y microbiota del suelo son fundamentales en la fragmentación, transformación y translocación de materiales orgánicos, así como en el aporte de biomasa y la mejora de ciertas propiedades físicas del suelo. (Karyanto, 2012). Los indicadores biológicos ofrecen información sobre los componentes vivos del suelo y, al igual que los indicadores físicos y químicos, están relacionados con sus funciones, permitiendo evaluar la calidad del suelo. Estos indicadores son propiedades dinámicas altamente sensibles a su manejo, desordenes naturales y contaminación química (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). [USDA], 2020).

El suelo como ecosistema, es el hábitat de millones de organismos que incluyen vertebrados, insectos, arácnidos, lombrices, nemátodos, protozoarios, hongos y bacterias, además de las plantas que crecen en él. Se estima que el suelo alberga el 25% de la biodiversidad del planeta. Estos organismos interactúan entre sí y con los componentes abióticos del suelo estableciendo una red de relaciones ecológicas (FAO, 2016).

El suelo no es solo un almacén de nutrientes del suelo. Existen millones de seres vivos por m² en cualquier suelo de las ciudades. Muchos de ellos, de un gran tamaño, se pueden observar a simple vista como son las lombrices o los escarabajos, estos constituyen la **macrofauna del suelo**, otros los podemos ver sin la necesidad de lupas o microscopios, pero necesitan de una observación más atenta, forman la **meso fauna**, y finalmente los que componen la **microfauna** solo son observados con un microscopio (Bello *et al.*, 2002).

Dentro de la macrofauna, las termitas y lombrices de tierra son considerados ingenieros del ecosistema, ya que impactan físicamente el suelo al transportar y construir estructuras, así como al cavar túneles que afectan la porosidad y regulan la microfauna. Cochinillas, milpiés y larvas de insectos transforman la hojarasca al triturar el tejido de plantas muertas, mientras que sus depredadores, como ciempiés y arácnidos, completan este proceso (Swift et al., 2010).

Existen diversos métodos para conocer la biodiversidad en el suelo, como el índice de Simpson, que mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, influenciado por las especies dominantes. Otro método es el Índice de Shannon-Wiener, que evalúa la uniformidad de la abundancia de las especies muestreadas, mientras que los índices de similitud/disimilitud, como el Coeficiente de Jaccard, definen el grado de semejanza de los sistemas en relación con las especies presentes en un área determinada. (Villareal *et al.*, 2004; Martella *et al.*, 2012).

Tabla 11. Clasificación de la macrofauna del suelo por grupos.

Grupos
Diámetro > 2 mm, longitud > 10 mm
Artrópodos
Arácnidos
Ácaros
Isóptera
Miriópodos
Quilópodos
Colémbolos
Himenópteros
Coleópteros
Gasterópodos

Fuente: Porta (1999)

2.1.3. La salinización de los suelos agrícolas

La salinidad se refiere a la elevada concentración de sales en el suelo, que afecta negativamente a las plantas debido a su toxicidad y a la reducción del potencial osmótico. El principal responsable de la salinidad es el NaCl, aunque los suelos salinos suelen contener

diversas combinaciones de sales, incluyendo cloruros y sulfatos de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Jenks y Hasegawa, 2005).

La salinización es la etapa de acumulación de sales en el perfil del suelo, común en áreas con material parental salino y donde la evapotranspiración supera a la precipitación. Este fenómeno también puede ser influenciado por patrones de drenaje, características topográficas, la geología local y la proximidad al mar. La salinización secundaria, por su parte, se refiere a la acumulación de sales causada por actividades humanas no sostenibles (Guida-Johnson et al., 2017).

El exceso de sales solubles en suelos agrícolas se conoce como salinización (De la Rosa, 2008). Este proceso implica la acumulación de sales, principalmente cloruro de sodio (NaCl), lo que lleva a la pérdida de fertilidad y dificulta el cultivo (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2018).

Las sales solubles en el suelo provienen de factores litológicos, geomorfológicos, hidrológicos, climáticos y antropológicos. Analizar el ciclo biogeoquímico de cada componente ayuda a identificar su origen y trayectoria mediante estos factores (Porta et al., 2003). Además, las prácticas agrícolas inadecuadas y el mal manejo del riego facilitan la movilidad y el desplazamiento de las sales, un proceso conocido como salinidad antrópica o secundaria. (Rozema, 1996).

La salinización causada por el riego con agua de bajo contenido salino daña la estructura del suelo, dispersando coloides y disminuyendo el número de poros. Esto altera la infiltración de agua y reduce la permeabilidad. La toxicidad de sales, como los carbonatos y bicarbonatos de Na , aumenta por la alcalinidad y sodificación derivadas del uso excesivo de fertilizantes, que también elevan las concentraciones de sulfatos y fosfatos (Marchese, 2015).

La salinidad es una de las principales formas de desgaste del suelo en regiones áridas y semiáridas, donde la baja precipitación impide la percolación normal de sales desde la zona de raíces de los cultivos (Setia et al., 2011; Kohler et al., 2010). Estos suelos acumulan sales solubles, principalmente cloruros y sulfatos de sodio, lo que genera una alta Relación de Adsorción de Sodio (RAS) (Makoi y Verplancke, 2010).

La composición iónica de la solución del suelo impacta en sus propiedades físicas; la acumulación de cationes dispersantes como Na^+ (y a veces Mg^{2+} y K^+) fomenta la

expansión y dispersión de arcillas, alterando la geometría de los poros y, en consecuencia, la permeabilidad, retención de agua y productividad agrícola (Keren, 2000).

El intercambio de sodio (Na⁺) por cationes como calcio y magnesio (Ca²⁺ y Mg²⁺) causa desequilibrios en la estructura del suelo, especialmente en suelos salinos, donde el sodio dispersa las arcillas y destruye la materia orgánica, perjudicando la estructura y volviéndola dura e inestable para el crecimiento de plantas (Porta et al., 2003).

2.1.3.1. Índices de sodicidad

Courel (2019) indica que la sodicidad está relacionada con la concentración de NaCl en soluciones o suelos, y se mide frecuentemente como PSI (porcentaje de Na intercambiable en el suelo o agua de riego) o mediante la Relación de Adsorción del Suelo. (RAS).

a) El porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

Es definida como el porcentaje de sodio adsorbido por las partículas del suelo en relación con la CIC. Su determinación requiere el contenido de Na intercambiable y la CIC del suelo, utilizando la siguiente ecuación:

$$PSI = \frac{NA^+}{CIC} \times 100$$

Los suelos con un PSI superior a 15 se consideran sódicos y pueden enfrentar problemas de infiltración y flujo de agua.

Tabla 12. Rangos interpretativos para la PSI.

Evaluación del suelo	PSI (%)
No sódico	< 7
Ligeramente sódico	7 - 15
Moderadamente sódico	15 - 20
Fuertemente sódico	20 - 30
Extremadamente sódico	>30

Fuente: Masoud (1971)

b) La relación de adsorción del suelo (RAS)

Esta unidad de medida indica la proporción de sodio en relación con C y Mg, con los cuales compete por los sitios de intercambio en el suelo. Se expresa en miliequivalentes por litro (meq/l). Si las unidades son en meq/L, la suma de CCa + CMg debe

dividirse a la mitad antes de tomar la raíz cuadrada, según lo establecido por Richards et al. (1954) en la siguiente ecuación:

$$RAS (mmolL^{-1}) = \frac{Na +}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}/2}}$$

Según la Australian Water Quality [AWQ], (1992) indica que:

1. Suelos con MO entre 2.5 - 3%, contenido de arcilla en horizonte 22 - 24%, con requerimientos promedio de riego de 150 - 200 mm/año.

RAS < 10 aceptable

RAS = 10 - 15 dudoso

RAS > 15 alto riesgo

2. Suelos con MO = 2%, contenido de arcilla en horizonte 26%, Limo = 70%, pH ligeramente ácido y requerimientos promedio de riego de 150 - 300 mm/año.

RAS < 7 aceptable

RAS = 7 - 12 para ser usada con precaución

RAS > 12 alto riesgo

3. Suelos con MO = 1.5 - 2%, francos limosos en superficie, con requerimientos promedio de riego de 200 - 350 mm año-1.

RAS < 5 aceptable

RAS = 5 - 10 dudoso

RAS > 10 alto riesgo

2.2. Estado del arte

Manayay (2021) evaluó un bioestimulante para mejorar la calidad fisicoquímica de suelos con distintas texturas y salinidades. Se analizaron propiedades físicas, como resistencia a la penetración, DA, porosidad, capacidad de retención de agua disponible (CRAD) y estabilidad de agregados, así como características químicas, incluyendo pH, conductividad eléctrica, CIC, MO, cationes básicos y relación de absorción de sodio (RAS). Los resultados se analizaron con ANOVA para datos paramétricos y Kruskal-Wallis para no paramétricos. La diferencia estadística entre medias se evaluó con la prueba de Tukey HSD y entre medianas con Mann-Whitney al 95% de confianza. A pesar de que el bioestimulante se diseñó para el sistema

radicular, se observaron mejoras en las propiedades del suelo en comparación con los valores iniciales y entre períodos. La dosis de 4 L/ha fue significativa para mejorar la estabilidad de los agregados en suelo franco-arcilloso no salino en relación al control (0 L/ha), mientras que las propiedades sin significancia estadística también aumentaron con dosis de 2 L/ha y 4 L/ha.

Narváez et al. (2014) evaluaron la clase, magnitud y distribución de suelos salinos en los últimos 22 km de la desembocadura del río durante períodos secos y lluviosos. Dividieron el área en cuatro localidades y recolectaron muestras de suelo hasta 50 cm de profundidad en 39 puntos entre 2002 y 2007. Se analizaron la conductividad eléctrica (CE), Ca, Mg, Na, K, HCO₃ y SO₄. La información se procesó con ArcGis v. 9.3 para interpolar por Distancia Inversa Ponderada y estimar la distribución espacial de los suelos salinos. Se realizaron análisis de correlación simple (Pearson) y pruebas de separación de medias Tukey (5%) sobre los datos de CE y los iones. Los resultados mostraron que en el período seco, los problemas de salinidad son más graves, especialmente en la localidad 3 y en los primeros 20 cm de profundidad. Los iones Cl, Na y Mg presentaron correlaciones altamente significativas (r de 0,68** y 0,93**) en el período seco; en el período lluvioso, la concentración de Na y Mg disminuyó, mientras que la de Cl, Ca y SO₄ aumentó.

Zúñiga Escobar et al. (2011) evaluaron técnicas no convencionales para restaurar suelos afectados por la salinidad y analizaron las respuestas agronómicas de los cultivos de maíz. Frente a los tratamientos convencionales basados en enmiendas químicas (yeso-azufre) y control absoluto (solo drenaje), se proponen tres tratamientos alternativos: 1) bioestimulantes, 2) biopolímeros y 3) electromagnéticos. En términos de respuestas fisiológicas y productividad, los más efectivos son los biológicos que incluyen microorganismos (biofertilizantes y electromagnéticos), lo que demuestra que la estimulación electromagnética acelera la actividad microbiana y acorta el tiempo de recuperación de los suelos salinos.

Osorio y Céspedes (2000) midieron la salinidad del suelo, el contenido de Na, cloruro y boro en el extracto de saturación en el valle de Copiapó, Chile. Las muestras se tomaron a diversas profundidades y ubicaciones en relación con la línea de goteo, considerando tres tratamientos de riego: línea de goteo con lateral simple (gotero de 4 L h⁻¹, espaciados a un metro), línea de goteo con lateral doble (gotero de 2 L h⁻¹, espaciados a un metro), y línea lateral simple con microjet de 14 L h⁻¹ por planta. Los resultados mostraron que la salinidad del suelo reduce cerca del gotero o microjet y aumenta a medida que se aleja de ellos; el punto más salino se localiza entre dos líneas de goteo y en los primeros 40 cm del perfil del suelo. La mayoría de los valores de salinidad en todos los tratamientos supera 5 dS m⁻¹, sobrepasando el

umbral de tolerancia para la vid. Además, los niveles de sodio, cloruro y boro también son elevados en relación con la tolerancia de este cultivo. Los tratamientos de línea simple y microjet lograron un mejor control de la salinidad en la zona radicular.

En la investigación de Padilla (2017), se comparó la distribución y aumento de sales en el distrito de riego 014 en Mexicali, Baja California. Se llevaron a cabo campañas de muestreo de suelos en 2010 y 2016 para evaluar la variabilidad espacial de las sales. En laboratorio se midieron el pH, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la CE, indicadores que reflejan el contenido de sales. Con estos datos, se generó cartografía digital que muestra las tendencias espaciales y temporales de salinidad y sodicidad en la zona de estudio, revelando variaciones entre ambos años. Esta información permitirá identificar áreas más afectadas y aplicar medidas de mitigación o remediación según corresponda.

Del Toro (2015) compara la salinidad en suelos agrícolas de Ensenada, B.C., y la zona vitícola de Caborca, Sonora. Se analizaron tres regiones en Ensenada, donde la mayoría de las muestras de suelo presentaron texturas arenosas y arena limosas. Los puntos de control mostraron CE más bajas que las muestras de cultivo, excepto las cercanas a la costa. En el caso de Mogor en EVG, se esperaban suelos normales debido a la calidad del agua de riego, sin embargo, resultaron salinos (>2 mS/cm) debido a un drenaje deficiente. Se estableció un modelo de correlación entre los valores de CE del suelo y los medidos por métodos geofísicos en Ensenada, resultando en la ecuación $y = 0,0304x + 0,0315$. El estudio concluye que el monitoreo exclusivo de la calidad del agua no es suficiente como indicador de riesgo de salinización; se requieren evaluaciones periódicas con métodos económicos y prácticos en áreas amplias para mitigar este problema.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación geográfica y política

Fue ejecutado en un terreno agrícola con cultivos cacao y plátano de 2,50 ha en el centro poblado Ramal de Cachiyacu, en tres zonas denominadas zona baja, media y alta, los cuales se ubican geográficamente en las siguientes coordenadas (tabla 13).

Tabla 13. Coordenadas UTM (Datum WGS 84, UTM/UPS) del área de investigación.

Zona	Coordenadas geográficas (UTM)		Altitud (msnm)	Área (ha)
	Este	Norte		
Zona baja	344814	9089975	569	0,56
Zona media	344820	9089972	560	0,56
Zona alta	344825	9089971	570	0,56

Políticamente el centro poblado Ramal de Cachiyacu se encuentra dentro del distrito y provincia de Tocache y departamento de San Martín, el cual es administrado por el gobierno regional de San Martín.

3.1.2. Datos climáticos

En el centro poblado Ramal de Cachiyacu, los veranos son cortos, cálidos y parcialmente nublados, mientras que los inviernos son largos, calurosos, húmedos y mayormente nublados. La temperatura varía entre 21 °C y 33 °C, rara vez bajando de 19 °C o superando los 35 °C. La humedad relativa oscila entre el 80% y 90%, y la precipitación anual en Tocache es de 1,340 mm.

3.1.3. Ecología

El centro poblado Ramal de Cachiyacu, según la clasificación Holdridge (1971), pertenece ecológicamente a la formación de Bosque Húmedo Tropical (Bh - T), con suelos medianamente ligeros sobre un subsuelo permeable y con algunos problemas de drenaje superficial en la estación lluviosa.

3.1.4. Hidrografía

La zona cuenta con diversos ríos y quebradas, siendo el Huallaga, que cruza de sur a norte, el más importante. Este río no solo facilita la conexión con otras áreas, sino que también es navegable por embarcaciones pequeñas a lo largo de toda su extensión. Además, alberga una rica fauna que alimenta a las comunidades que viven a sus orillas.

3.1.5. Relieve

El centro poblado Ramal de Cachiyacu tiene un relieve relativamente llano y pendientes moderadas, solo parte del territorio presenta relieve accidentado con protuberancias y pendientes de regulares dimensiones, características propias de la selva alta. Cuenta con cerros elevados de regular altitud sobre todo al frente la Cordillera Azul por el Este, parte de la Cordillera de los Andes por el Oeste).

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales

3.2.1.1. Equipos, herramientas y materiales

Wincha de 50 m, libreta de campo, cuaderno de campo, bolsas plásticas de 1 y 2 kg, cuadrado y cilindro muestreador, machete, pala recta, papel secante, agua destilada, alcohol, formol, termómetro de suelo, penetrómetro, cámara fotográfica, GPS, balanza de precisión, estufa, peachímetro y estereoscopio.

3.2.2. Criterios de investigación

3.2.2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de campo y aplicada, en razón, que se utilizaron conocimientos de las ciencias del suelo para definir sus parámetros físicos y químicos por efecto de las zonas de muestreo. El nivel fue probabilístico ya que se aplicó un muestreo para la obtención de datos representativos.

3.2.2.2. Nivel de investigación

El estudio de investigación presenta características de un enfoque descriptivo y correlacional.

3.2.2.3. Diseño de la investigación

No experimental, transversal y correlacional causal (Hernández et al., 2014), ya que los datos se recogerán en un único momento a través del muestreo y estudio de suelos, evaluación de DA y actividades realizadas durante un periodo de seis meses.

3.2.2.4. Variables de investigación

a. Variable Dependiente (Y) = Zonas del terreno agrícola del CP de Ramal de Cachiyacu

Indicadores Y = Tipos de suelo

Y1 = Zona baja

Y2 = Zona media

Y3 = Zona alta

b. Variable Independiente (X) = Propiedades físicas y químicas

X1 = físicas

X2 = químicas

X3 variación de sodio

3.2.2.5. Operacionalización de variables

Las variables evaluadas en la investigación estuvieron desglosadas de la siguiente manera:

Tabla 14. Variables en estudio.

	Variable	Dimensiones	Indicadores	Índices
Variable dependiente	Zonas del terreno agrícola del centro poblado de Ramal de Cachiyacu	Tipos de suelo	Zona Baja	ha
			Zona media	ha
			Zona alta	ha
Variable independiente	Propiedades físicas y químicas	Físicas	Textura	Granulometría
			Densidad Aparente	g/cm ³
			Resistencia a la penetración	Kg/cm ²
		Químicas	pH	Rangos
			MO	%
			N	%
			P	ppm
			K	K ₂ O
			CIC	(Cmol(+) \cdot kg ⁻¹)
			Ca	(Cmol(+) \cdot kg ⁻¹)
Mg	(Cmol(+) \cdot kg ⁻¹)			

Variable interviniente	Indicadores de Variables	Propiedades	
		Relación entre propiedades físicas, químicas y la variación del sodio	físicas vs variación del sodio
			Propiedades químicas vs variación del sodio
			Zonas baja, media y alta
			pH, N (%), MO (%), N (%), P (ppm), K (kg.K ₂ O/ha), CIC

3.2.2.6. Población y muestra

La población serán las zonas baja, media y alta del CP de Ramal de Cachiyacu en el distrito y provincia de Tocache y departamento San Martín.

La muestra son los suelos muestreados asociados con la presencia de vegetación característica de cada uso del suelo en la presente investigación.

3.2.2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se tomaron muestras de suelo de las zonas baja, media y alta del CP de Ramal de Cachiyacu siguiendo el protocolo establecido y las recomendaciones pertinentes. Los estudios fisicoquímicos se llevaron a cabo en el laboratorio de análisis de suelo de la UNAS, que dispone de los reactivos, equipos y materiales necesarios, todo bajo la supervisión de docentes especialistas.

3.2.2.8. Análisis de datos

La interpretación de los datos se realizó analizando los resultados de la investigación, estableciendo inferencias a partir de la estadística descriptiva y otras herramientas estadísticas que permitieran obtener conclusiones sobre las relaciones entre los parámetros fisicoquímicos de los suelos, el uso del suelo y el nivel de salinidad.

3.3. Metodología

3.3.1. Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu

a. Delimitación y georreferenciación de las parcelas

Para tal efecto se utilizó un terreno de 1 ha, en ella se delimitaron parcelas o transectos de 75 m x 75 m en cada zona (es decir, uno en cada zona), los cuales son: zona baja, zona media y zona alta.

b. Muestreo de suelos para el análisis físico químico

La labor se llevó a cabo después de delimitar las tres parcelas, tomando 5 muestras de suelo de cada zona en cada sistema de uso de la tierra, las cuales fueron enviadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para su estudio.

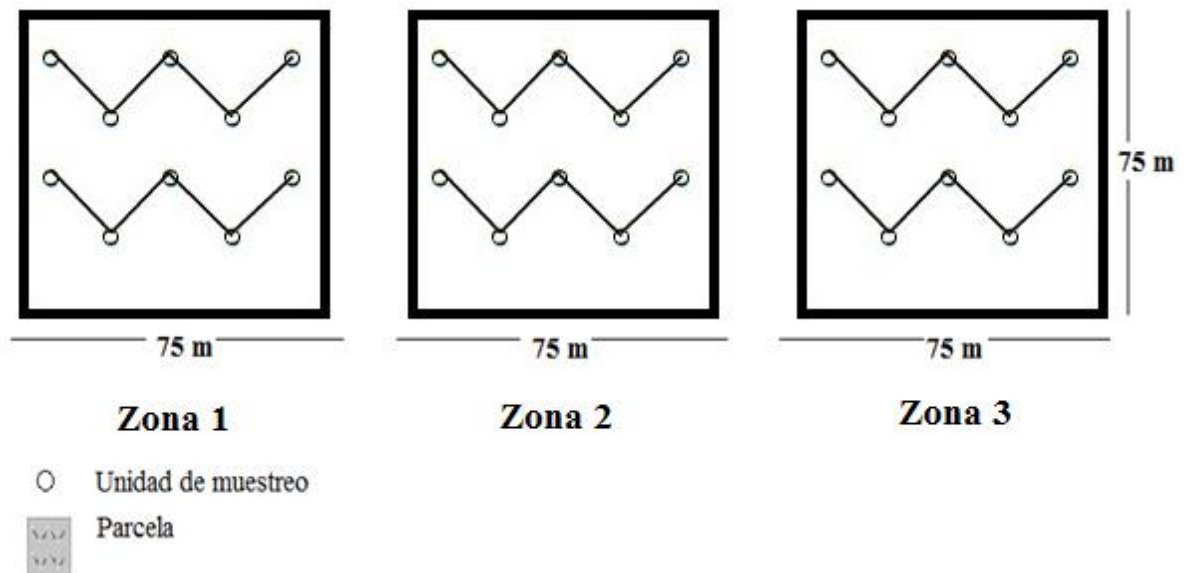


Figura 1. Diagrama de muestreo de suelos en cada uno de los sistemas de uso del suelo.

c. Determinación de las propiedades físicas y químicas

El estudio de las muestras obtenidas de las zonas fue realizado en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Ecotoxicología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tabla 1514. Determinación de los indicadores físicos y químicos evaluados.

Indicadores físicos y químicos	Método de determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente	Método del cilindro metálico
Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Nitrógeno total	Método del micro-Kjeldahl
Fósforo disponible	Método del Olsen modificado
Potasio disponible	Mufla 660°C Therm concept Alemania
CIC	Saturación con acetato de amonio
Sodio	Mufla 660°C Therm concept Alemania

Calcio	Mufla 660°C Therm concept Alemania
Magnesio	Mufla 660°C Therm concept Alemania

3.3.2. Determinar el porcentaje de sodio intercambiable y la relación de adsorción de sodio en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu

Los índices de sodicidad se determinarán según lo propuesto por Courel (2019).

a) El porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

$$PSI = \frac{NA^+}{CIC} \times 100$$

Donde:

Na = es el sodio

CIC = es la capacidad de intercambio catiónico

b) La relación de Adsorción del suelo (RAS)

$$RAS (mmolL^{-1}) = \frac{Na +}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}/2}}$$

Donde:

Na = es el sodio

Ca = es el calcio

Mg = es el magnesio

3.3.3. Determinar la relación existente entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y el sodio en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu

La actividad consideró los valores y porcentajes de los indicadores según la metodología de Doran y Lincoln (1999) y Porta (1999).

Para definir la relación entre las características fisicoquímicas del suelo y el sodio, se evaluaron los datos utilizando el coeficiente de correlación de Pearson.:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2} \sqrt{\sum y^2}}$$

Según Hernández *et al.* (2014), el coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a +1.00, donde:

- * -1.00 = Correlación negativa perfecta. (A mayor X, menor Y, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante). Esto también se aplica a menor X, mayor Y.
- * -0.90 = Correlación negativa muy fuerte
- * -0.75 = Correlación negativa considerable
- * -0.50 = Correlación negativa media
- * -0.25 = Correlación negativa débil
- * -0.10 = Correlación negativa muy débil
- * 0.00 = No existe correlación alguna entre las variables
- * $+0.10$ = Correlación positiva muy débil
- * $+0.25$ = Correlación positiva débil
- * $+0.50$ = Correlación positiva media
- * $+0.75$ = Correlación positiva considerable
- * $+0.90$ = Correlación positiva muy fuerte
- * $+1.00$ = Correlación positiva perfecta

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu

4.1.1. Propiedades físicas

Reynolds et al. (2007) destacan la importancia de conocer las condiciones físicas del suelo, ya que esto ayuda a definir el estrés al que puede estar sometido el cultivo, un factor clave para el crecimiento y rendimiento de las plantaciones agrícolas. Además, Abu (2013) señala que este conocimiento mejora la gestión de propiedades agrícolas como el laboreo, la fertilización, la disponibilidad de nutrientes, el drenaje, la irrigación y el manejo de residuos de cosechas. Las propiedades físicas son las siguientes:

4.1.1.1. La textura

De acuerdo con los valores encontrados para la textura del suelo en las tres zonas del CP Ramal de Cachicayacu (tabla 16) presentan de acuerdo al promedio una textura franca, desglosando podemos ver que la zona baja presenta un suelo franco y las zonas media y alta presentan una textura franco arenosa, al respecto Acosta (2007) menciona que las propiedades físicas se refieren generalmente a la textura definida como las proporciones de partículas (arena, limo y arcilla) que se encuentran en el suelo, debido a la importancia de esta propiedad física porque según White (2005) está relacionada directamente con las etapas de desgaste y potencial de producción, en nuestro caso y de acuerdo al valor promedio encontramos un suelo franco, este tipo de suelo de acuerdo a Gesmontes (2023) presenta características deseables ya que en la mineralización de MO y facilidad para formar buena estructura es de característica media, así como también en aireación, infiltración y retención de agua, es decir es un suelo trabajable, y de buenas características, además los valores cercanos no tienen muchas dispersión es decir los suelos son casi homogéneos en las tres zonas y según la FAO (2019) esta propiedad tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo, por lo que Lacasta et al. (2006) y Forsythe (1985) El manejo del suelo es crucial para predecir parámetros químicos como la CIC y físicos como la retención de humedad y la infiltración. Por lo tanto, se puede afirmar que los parámetros físicos del suelo, especialmente su textura, son deseables.

Tabla 1615. Textura de los suelos encontrados en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu.

Zona	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
Baja	47,4	14,0	38,6	Franco
Media	55,4	12,4	32,2	Franco arenoso
Alta	59,0	10,8	30,2	Franco arenoso
Prom	54 ± 1,63	12 ± 0,65	34 ± 1,30	Franco
Max	61	18	47
Min	37	10	29
DS	6,31	2,53	5,04
CV	11,69	20,40	14,96

Prom: Promedio; Max: Máximo; Min: Mínimo; DS: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

4.1.1.2. La densidad aparente

Los valores obtenidos para la densidad aparente de las tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu (tabla 17) muestran que el mayor valor promedio presenta la zona alta con $1,06 \text{ g/cm}^3$ seguido de la zona media con $1,04 \text{ g/cm}^3$ y con el menor valor la zona baja con $1,03 \text{ g/cm}^3$, con valores casi homogéneos debido a los valores bajos obtenidos para el coeficiente de variación en cada zona, corroborado por el error probable que oscila entre 0,01 y 0,02, el valor máximo de muestreo se encuentra en la zona media con un valor de $1,13 \text{ g/cm}^3$ y el menor valor con $0,89 \text{ g/cm}^3$ y una mayor variación en la zona baja con 7,86% respectivamente, en general podemos decir que el mejor valor se encuentra en la zona baja por ser el valor más bajo ya que según Ingaramo et al. (2007) valores altos de la DA, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a reducir, con lo que el crecimiento radicular se limita a valores críticos.

Tabla 1716. Valores para la densidad aparente (g/cm^3) en las tres zonas de Ramal de Cachiyacu.

Muestras	Zona baja	Zona media	Zona alta
1	1,06	0,99	1,09
2	0,89	1,06	1,07
3	1,05	1,05	1,00
4	1,05	1,13	1,08
5	1,10	0,98	1,04
Promedio	1,03 ± 0,02	1,04 ± 0,02	1,06 ± 0,01

Máximo	1,10	1,13	1,09
Mínimo	0,89	0,98	1,00
Desviación estándar	0,08	0,06	0,04
Coefficiente de variación	7,86	5,81	3,45

Según manifiesta Jones (1983) los suelos arenosos presentan una DA de $1,76 \text{ g/cm}^3$ el cual limita el crecimiento radicular, Dick (2004) añade que en este tipos de suelo de predominancia arenosa los valores pueden variar entre 1,2 y $1,6 \text{ g/cm}^3$, en general podemos observar que los valores de las tres zonas no tienen una DA que restrinja el crecimiento radicular y esto se corrobora con la textura, ya que en las tres zonas varían de suelo franco a franco arenoso, y esto se corrobora según lo afirma Jones (1983) cuando afirma que los valores críticos de la DA para el crecimiento radicular cambian de acuerdo a la textura del suelo y de la especie vegetal, por lo que podríamos afirmar que en las tres zonas los suelos son trabajables para la agricultura ya que según Folegatti et al. (2001) argumentan que la DA es una característica del suelo considerablemente utilizada en la agricultura, relacionada principalmente con las prácticas de uso de suelos, añade también podemos decir de acuerdo con SAGARPA (2017) que las tres zonas se encuentra en un rango aceptable o ideal.

4.1.2. Propiedades químicas

De acuerdo con la CIAT (2002) mencionan que las propiedades químicas del suelo están referidos a los siguientes indicadores: el potencial de hidrógeno, la MO, la disponibilidad de nutrientes, la CE y la pérdida de base, en general las que están relacionadas con la calidad y disponibilidad de nutrientes para los cultivos.

4.1.2.1. El potencial de hidrogeno (pH)

Los resultados mostrados en la tabla 18, donde consigna los valores para la variable pH del suelo en las tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu presenta un mayor valor la zona 2 con 6,37, y menores valores en orden sucesivo la zona alta con 6,37 y la zona baja con 5,94; observando el error probable tenemos valores casi homogéneos y corroborado por el coeficiente de variación bajos en cada zona siendo el menor valor en la zona alta con 4,76%, el valor máximo del pH se encuentra en la zona alta con un valor de 6,69 y el menor valor en la zona baja con 5,52, en general podemos decir que el mejor valor se encuentra en la zona media por ser el valor más alto que tiende a ser suelos deseables en cuanto al pH.

Tabla 1817. Valores para el pH en las tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu.

Muestras	Zona baja	Zona media	Zona alta
1	5,70	6,13	6,68
2	6,58	6,28	6,69
3	6,04	6,26	6,27
4	5,88	6,40	6,00
5	5,52	6,92	6,22
Promedio	5,94 ± 0,10	6,40 ± 0,08	6,37 ± 0,08
Máximo	6,58	6,92	6,69
Mínimo	5,52	6,13	6,00
Desviación estándar	0,41	0,31	0,30
Coefficiente de variación	6,82	4,80	4,76

Los resultados de las zonas de muestreo indican suelos moderadamente ácidos, siendo más ácida la zona baja y menos ácida la zona media. Osorio (2012) destaca que el pH es crucial, ya que refleja la acidez o alcalinidad de la solución del suelo, de donde las raíces y microorganismos obtienen nutrientes. Cremona y Enríquez (2020) añaden que el pH proporciona información valiosa sobre la dinámica y disponibilidad de nutrientes y agua, fases esenciales para el crecimiento de plantas, microorganismos y la vida en el suelo.

La zona media es la que presenta el más alto valor y por ende el mejor pH obtenido de las tres zonas, un valor de 6,40 es casi neutro y un suelo de este tipo según afirman Rivera et al. (2018) no es ni ácido ni básico sino que es neutro, y suelos con esos valores permiten a las plantas tener disponibilidad de otros nutrientes esenciales, así mismo cabe añadir según Cremona y Enríquez (2020) que propiedades como el pH tienen una dinámica variable según el sistema de producción, su monitoreo en el mediano plazo es recomendable en los suelos de muchos sistemas productivos, tal es así que es bueno revisar otras propiedades que también inciden en los valores tal como señalan Weil y Brady (2017) que aquellos suelos orgánicos ricos en materia orgánica tienden a ser ácidos debido a que liberan el ion Hidrógeno, razones que hacen necesario cotejar resultados basados en un análisis.

4.1.2.2. Materia orgánica

Los resultados mostrados en la tabla 19, donde se aprecia los valores para la variable MO en las tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu, presentando un

mayor valor la zona alta con 3,39%, y menores valores en orden sucesivo la zona media con 2,48% y la zona baja con 2,14, observando tenemos valores casi homogéneos a no ser por la variación en la zona baja, el cual presenta un error probable de 0,29 corroborado por el coeficiente de variación con de 52,94% el cual es un valor muy alto, así mismo el valor máximo de la MO se encuentra en la zona alta y baja con un valor de 3,98% y el menor valor en la zona baja con 1,11%, en ese sentido podemos decir que el mejor valor se encuentra en la zona alta por ser el valor más alto que tiende a ser valores deseables de materia orgánica sobre todo por la capacidad de nutrir el suelo.

Tabla 1918. Resultados para la materia orgánica (%) en las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu.

Muestras	Zona baja	Zona media	Zona alta
1	2,19	2,60	3,98
2	3,98	2,73	3,44
3	1,11	2,53	3,58
4	2,09	2,03	3,81
5	1,32	2,49	2,16
Promedio	2,14 ± 0,29	2,48 ± 0,07	3,39 ± 0,19
Máximo	3,98	2,73	3,98
Mínimo	1,11	2,03	2,16
Desviación estándar	1,13	0,27	0,72
Coeficiente de variación	52,94	10,72	21,23

Según Martínez (2003), la MO del suelo es el principal indicador de su calidad, siendo esencial para la evaluación de este aspecto. Almorox et al. (2010) respaldan esta afirmación al señalar que la materia orgánica protege el suelo de la erosión y mejora su productividad al aportar fertilidad fisicoquímica y biológica. Así, los datos indican que la zona alta posee MO capaz de nutrir los suelos y favorecer la agricultura.

De acuerdo con la Soil Survey Staff (1993) las tres zonas presentan contenido de materia orgánica media, que resulta importante porque un valor de 3.39% obtenido en la zona alta y teniendo las características climáticas es una buena noticia para los agricultores de la zona de Ramal de Cachiyacu ya que la poca cantidad de esta propiedad no tiene energía, buena estructuración, presencia de cargas negativas dependientes de pH y actividad microbiana según afirman Trinidad-Santos y Velasco-Velasco (2016), otro aspecto a considerar al tener

estos valores Lok (2005) señala que el contenido de MO varía considerablemente, por lo que un mismo valor numérico tiene diferentes significados en contextos regionales. Por ejemplo, un 2% puede ser considerado alto en un valle aluvial de la costa, bajo en la sierra y medio en la Amazonía baja. Por ello, los niveles de bajo, medio, alto y muy alto deben evaluarse según el contexto regional y las necesidades específicas de cada cultivo.

4.1.2.3. La disponibilidad de nutrientes

Se observa en la tabla 20 los valores para la disponibilidad de nutrientes en el suelo para las variables N, P y K disponible del suelo, encontrados en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu, según manifiesta Bautista y Etchevers (2014) la disponibilidad de nutrientes para las plantas son esenciales para su desarrollo.

Tabla 2019. Disponibilidad de nutrientes (Macronutrientes) del suelo encontrados en tres zonas del Centro Poblado Ramal de Cachiyacu.

M/Z	N			P			K		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
1	0,11	0,13	0,20	7,61	8,25	5,28	90,35	99,83	95,85
2	0,20	0,14	0,17	10,89	5,44	4,40	99,81	75,78	90,74
3	0,06	0,13	0,18	11,70	4,48	4,96	97,96	94,13	73,19
4	0,10	0,10	0,19	6,32	6,73	7,45	92,61	78,24	93,04
5	0,07	0,12	0,11	12,18	7,13	8,25	97,56	98,58	90,77
Prom	0,11	0,12	0,17	9,74	6,41	6,07	95,66	89,31	88,72
Max	0,20	0,14	0,20	12,18	8,25	8,25	99,81	99,83	95,85
Min	0,06	0,10	0,11	6,32	4,48	4,40	90,35	75,78	73,19
DS	0,06	0,02	0,04	2,61	1,47	1,68	3,99	11,46	8,93
CV	51,30	12,23	20,80	26,85	22,99	27,70	4,17	12,83	10,07

M/Z: Muestreo/zona; N: nitrógeno; P: fósforo; K: Potasio; Prom: Promedio; Max: Máximo; Min: Mínimo; DS: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

En cuanto a los resultados obtenidos para el **nitrógeno disponible** (figura 2) presenta un mayor valor promedio la zona alta con 0,17%, y menores valores en orden sucesivo la zona media con 0,12% y la zona baja con 0,11%, estos valores son dispersos por zona de muestreo, encontrando en la zona baja un coeficiente de variación de 51,30%, el cual es un valor muy alto, así mismo el valor máximo se encuentra en la zona alta y baja con 0,20% y el menor valor en la zona baja con 0,06%, en general podemos decir que el

mejor valor se encuentra en la zona alta por ser el valor más alto en nitrógeno disponible que resulta en beneficio del suelo y de la planta.

La zona alta es el que presenta el mayor valor de contenido de nitrógeno y de acuerdo con USDA (2006) presenta un valor medio al ostentar un valor de 0.17%, lo que nos indica que esta zona posee condiciones para desarrollar cultivos, afirman Balta Crisólogo et al. (2015) que el nitrógeno es un elemento mineral con mayor concentración en los vegetales, proveniente del suelo y participa de las etapas del desarrollo como componente estructurales y funcionales, añade FAO (2013) destaca que el desarrollo de la masa foliar contribuye a un buen área foliar, lo que mejora la captación de luz y genera una excelente tasa fotosintética. Por lo tanto, podemos concluir que los niveles de nitrógeno no son un inconveniente significativo.

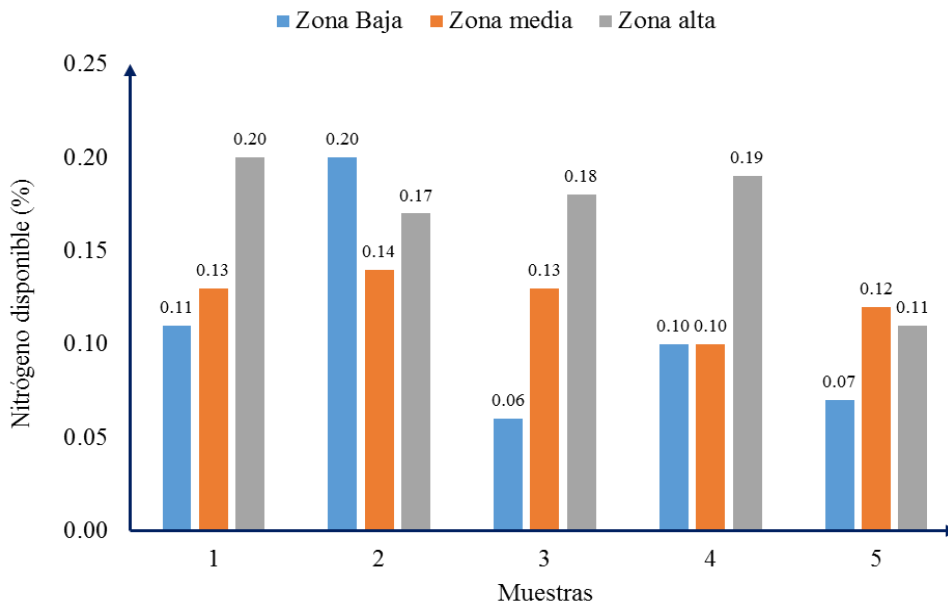


Figura 2. Valores para el nitrógeno disponible (%) en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu.

De acuerdo con los valores obtenidos para la variable **fósforo disponible** (figura 3), se observa un mayor valor promedio en la zona baja con 9,74 ppm, y menores valores en orden sucesivo de la zona media con 6,41 ppm y la zona alta con 6,07 ppm, estos valores son dispersos o diferentes por observarse un coeficiente de variación por encima de 20% en cada una de las zonas del muestreo, el cual para contextos agrícolas es un valor alto, ya que se requiere cierta homogeneidad, así mismo podemos observar que el valor máximo se encuentra en la zona baja con 12,18 ppm y el menor valor en la zona alta con 4,40 ppm, en

conclusión podemos afirmar que el mejor valor se encuentra en la zona baja por presentar el valor más alto en fósforo disponible.

El mayor valor se encuentra en la zona baja con 9,74 ppm el cual según reporta USDA (2006) tiene un contenido de fósforo bajo, estos resultados son casi normales en selva porque según Rodríguez et al. (2001) el contenido de P en las soluciones del suelo es muy bajo porque forma compuestos poco solubles con cationes divalentes y monovalentes. Estos valores se pueden mejorar mediante el uso de roca fosfórica, lo cual es necesario porque según Fernández (2007) forma un compuesto clave en los sistemas responsables de la producción, almacenamiento y transferencia de energía y es un compuesto esencial de importantes estructuras macromoleculares como los ácidos nucleicos y los fosfolípidos; se puede decir que su rol está generalizado en todas las etapas fisiológicas, Munera y Meza (2012) enfatiza que su función no puede ser proporcionada por otros nutrientes y que las plantas necesitan un suplemento de fósforo adecuado para un crecimiento y reproducción óptimos.

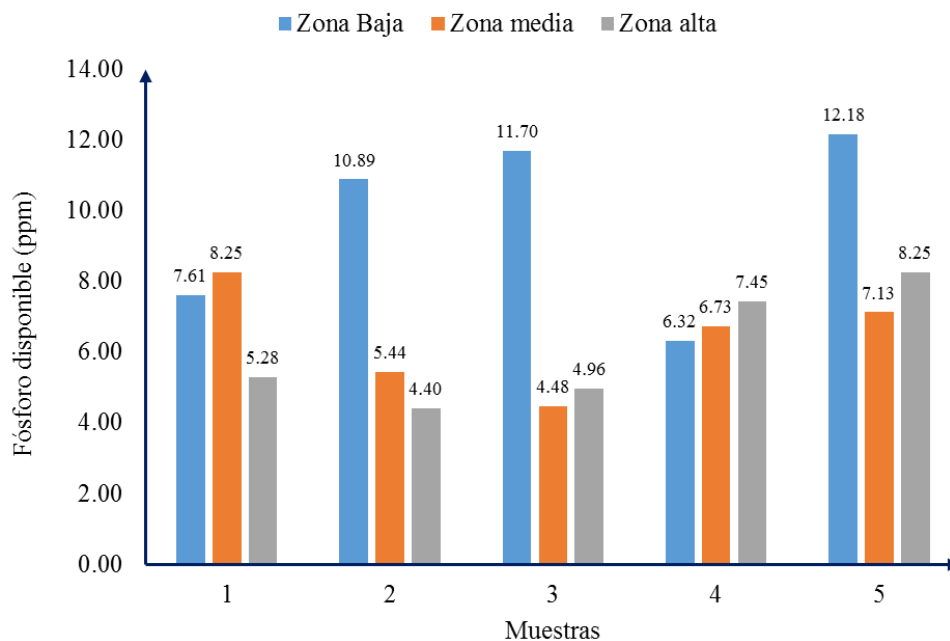


Figura 3. Valores para el fósforo disponible (ppm) en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu.

Observamos los valores obtenidos para el **potasio disponible**, donde el mayor valor se presenta en la zona baja con 95,66 ppm, y menores valores en orden sucesivo la zona media con 89,31 ppm y la zona alta con 88,72 ppm, estos valores no son muy heterogéneos por mostrar coeficientes de variación entre 4,17% y 10,07%, siendo valores

aceptables en términos agrícolas, así mismo el valor máximo se encuentra en la zona media con 99,83 ppm y el menor valor en la zona alta con 95,85 ppm, en general afirmamos que el mejor valor se encuentra en la zona baja por presentar el valor más alto en potasio disponible.

El valor más alto se encuentra en la zona baja con 95,66 ppm (301,3 Kg.ha-1), el cual según USDA (2006) representa un nivel de contenido de potasio bajo, en tal sentido las cantidades bajas de este elemento es un inconveniente, porque según Mengel y Kirkby (2000) las plantas requieren cantidades elevadas de este nutriente, incluso semejantes a las necesidades del N en algunos casos, dice Coronel (2003) que manifiesta es la deficiencia de potasio por las grandes cantidades requeridas por las plantas (cuatro tres veces más que el P y casi a la par que el N), es en ese sentido que Vistoso Gacitúa y Martínez Lagos (2020) El uso de fertilizantes potásicos es una medida de manejo necesaria cuando se confirma a través de estudio de suelo de un suministro insuficiente de K al suelo y se recomienda en las tres áreas del CP de Ramal de Cachiyacu.

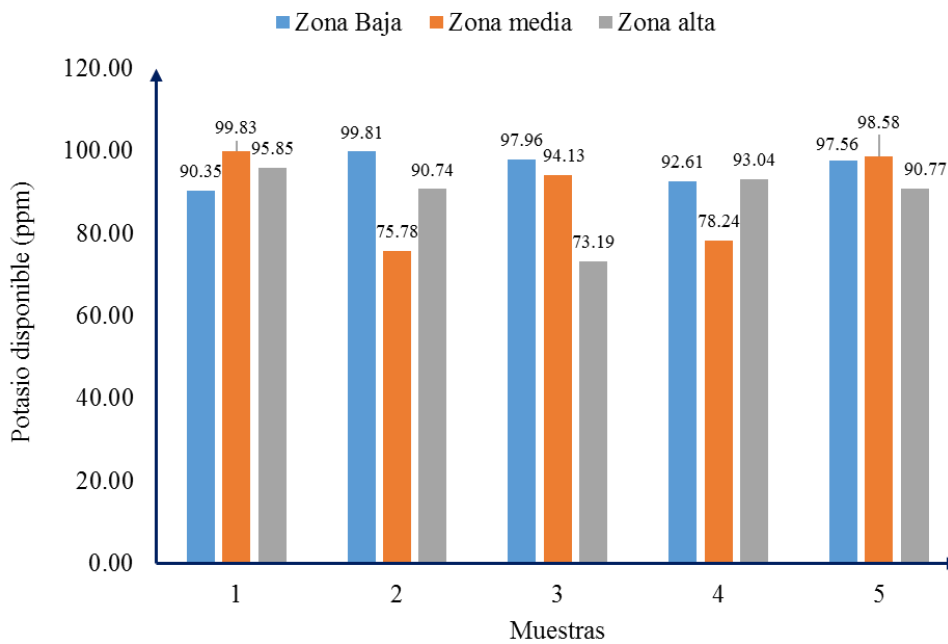


Figura 4. Valores para el potasio disponible (kg. K₂O/ha) en las tres zonas de CP Ramal de cachiyacu.

Se observa en la tabla 21 los valores para la disponibilidad de nutrientes en la tierra para las variables Calcio, Magnesio, potasio y sodio, encontrados en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu, en general Bautista et al. (2004) los parámetros químicos se relacionan con la calidad y disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas.

Tabla 21. Disponibilidad de nutrientes (bases cambiables) del suelo encontrados en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu.

M/Z	Ca			Mg			K			Na		
	Baja	media	alta	Baja	media	alta	Baja	media	alta	Baja	media	alta
1	6,82	5,78	6,14	0,90	0,75	0,83	0,29	0,26	0,32	0,25	0,23	0,28
2	5,51	5,09	7,65	0,92	0,67	0,75	0,39	0,30	0,27	0,16	0,22	0,24
3	5,51	6,32	5,05	0,65	0,67	0,92	0,31	0,21	0,30	0,16	0,29	0,13
4	5,73	7,09	6,12	0,70	1,00	0,58	0,28	0,25	0,33	0,12	0,12	0,19
5	7,60	5,83	6,60	0,83	1,08	0,92	0,24	0,29	0,28	0,12	0,16	0,16
Prom	6,23	6,02	6,31	0,80	0,83	0,80	0,30	0,26	0,30	0,16	0,20	0,20
Max	7,60	7,09	7,65	0,92	1,08	0,92	0,39	0,30	0,33	0,25	0,29	0,28
Min	5,51	5,09	5,05	0,65	0,67	0,58	0,24	0,21	0,27	0,12	0,12	0,13
DS	0,94	0,74	0,94	0,12	0,19	0,14	0,06	0,04	0,03	0,05	0,07	0,06
CV	15,03	12,30	14,89	15,03	23,14	17,74	18,35	13,60	8,50	32,78	32,26	30,21

M/Z: Muestreo/zona; N: nitrógeno; P: fósforo; K: Potasio; Prom: Promedio; Max: Máximo; Min: Mínimo; DS: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

Se muestra en los valores obtenidos para el **Calcio intercambiable** (figura 5), donde el mayor valor se presenta en la zona alta con 6,31 Cmol(+)kg, y menores valores en orden sucesivo la zona baja con 6.23 Cmol(+)kg y la zona media con 6,02 Cmol(+)kg, estos valores relativamente homogéneos por mostrar coeficientes de variación entre 12,30% y 15,03%, siendo valores comunes en términos agrícolas, así mismo el valor máximo se encuentra en la zona alta con 7,65 Cmol(+)kg y el menor valor también en la zona alta con 5,05 Cmol(+)kg.

En general podemos afirmar que el mejor valor se encuentra en la zona alta por presentar el valor más alto en calcio cambiante con 6,31 Cmol(+)kg, de acuerdo con SAGARPA (2017) el valor encontrado representa un nivel de calcio (Ca^{2+}) intercambiable medio, en ese sentido podemos afirmar que el contenido de este elemento no está deficiente en esta zona y en general las dos zonas restantes de muestreo, porque según afirman Brady y Weil (2002) el calcio tiene un rol necesario en la composición del suelo siendo el catión predominante en el complejo sorbente de un suelo que no sea ácido o que el aluminio sea el catión predominante, es pertinente afirmar también que el calcio puede ser incorporado al suelo y mejorar el suelo en cuanto a acidez se refiere.

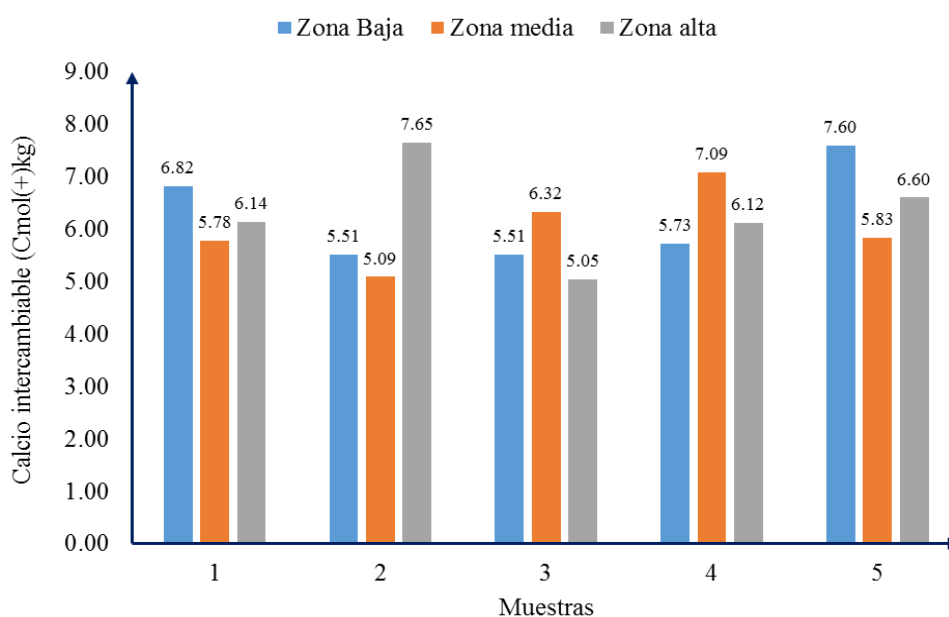


Figura 5. Valores para el Calcio intercambiable (Cmol(+) kg) en las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu.

Se observa los resultados obtenidos para el **Magnesio intercambiable** (figura 6), donde el mayor valor se presenta en la zona media con 0,83 Cmol(+)kg, y menores valores similares la zona baja y media con 0,80 Cmol(+)kg, estos valores relativamente homogéneos por mostrar coeficientes de variación entre 12,30% y 15,03%, siendo valores relativamente comunes dado que el coeficiente de variación se encuentra entre 15,03% y 23,14%, así mismo el valor máximo se encuentra en la zona media con 1.08 Cmol(+)kg y el menor valor en la zona alta con 0,58 Cmol(+)kg.

El mayor valor se encuentra en la zona media con 0,83 Cmol(+)kg, que en términos de los rangos interpretativos para magnesio (Mg^{2+}) intercambiable propuesto por SAGARPA (2017) es de un nivel bajo, siendo esta zona el de mayor valor quiere decir que los suelos en el CP Ramal de Cachiyacu tienen suelos bajos en magnesio, de acuerdo con Según Cakmak y Yazici (2010), este elemento es particularmente interesante porque forma parte de la molécula de clorofila, por lo que está relacionado con la fotosíntesis. Un buen indicador porque la deficiencia de magnesio es común en suelos arenosos con baja CIC, por lo que aunque el contenido de Mg es menor que el de calcio, se convierte en un factor importante que limita el rendimiento de los cultivos. Este elemento está incluido en el plan de fertilización.

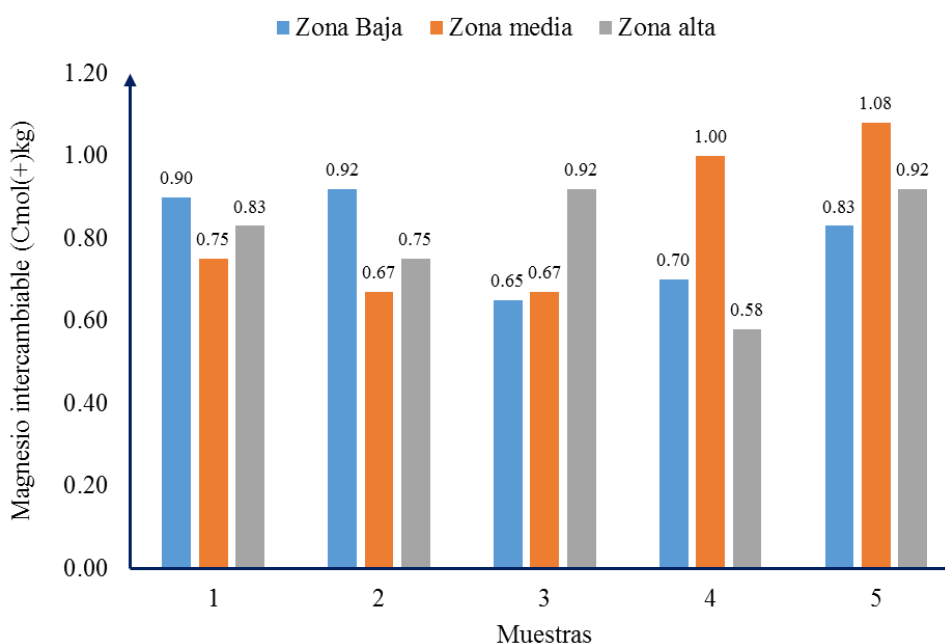


Figura 62. Valores para el Magnesio intercambiable (Cmol(+) kg) en las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu.

Se muestran los resultados para el **Potasio intercambiable** (figura 7), donde observamos que el mayor valor está en la zona baja y alta con 0,30 Cmol(+)kg para ambas zonas, y menor valor en la zona media con 0,26 Cmol(+)kg, si vemos el coeficiente de variación están oscilando entre 8,50% y 18,35%, existiendo una alta variación en la zona baja, así mismo el valor máximo se encuentra en la zona baja con 0,39 Cmol(+)kg y el menor valor en la zona media con 0,21 Cmol(+)kg.

Los resultados obtenidos mostraron que la zona 1 tiene el mayor contenido de potasio intercambiable de 0,30 Cmol(+)kg. Según Courel (2019), este elemento se refiere a la parte que se adsorbe en el complejo de intercambio y puede intercambiarse con otros cationes. Cuando una planta absorbe K de la solución del suelo, permanece en equilibrio con la solución del suelo y se mueve rápidamente. Posiblemente la forma más fácilmente absorbida por las plantas. Este tipo de K suele notarse en la gran mayoría de los estudios de suelos, como lo afirma Munson (1985), quien mencionó que las saturaciones de potasio de los complejos de intercambio oscilan entre el 1% y el 5%. Generalmente contienen cantidades moderadas de potasio intercambiable.

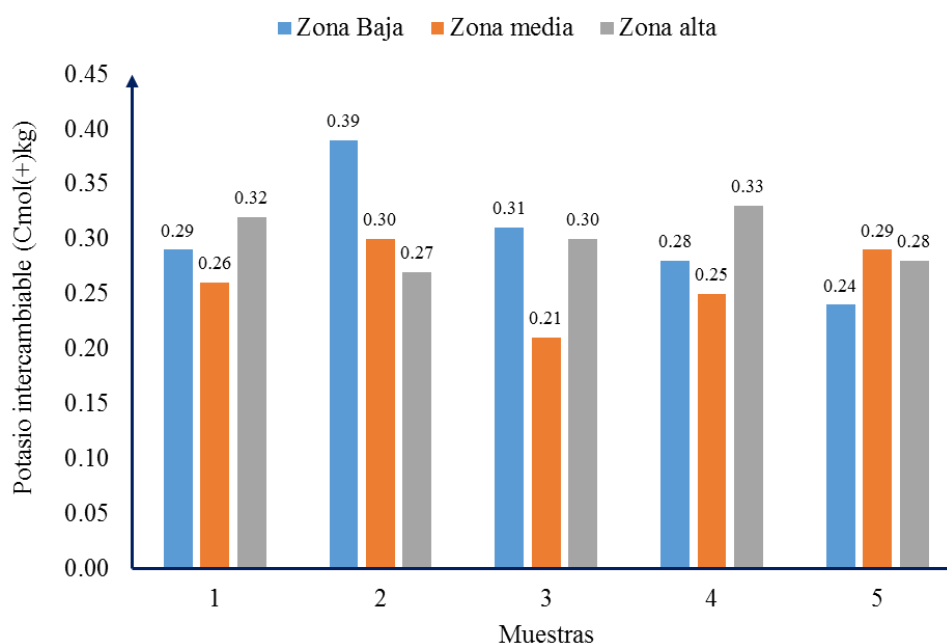


Figura 73. Valores para el Potasio intercambiable (Cmol(+) kg) en las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu.

.Así mismo observamos los resultados para el **Sodio intercambiable** (figura 8), en el cual muestra que el mayor valor está en la zona alta y media con 0,20 Cmol(+)kg para ambas zonas, y menor valor en la zona baja con 0,16 Cmol(+)kg, si vemos el coeficiente de variación están oscilando entre 30,21% y 32,78% los cuales son valores muy altos que indican alta dispersión de los valores de las muestras, , así mismo el valor máximo se encuentra en la zona media con 0,29 Cmol(+)kg y el menor valor en la zona baja y media con 0,12 Cmol(+)kg.

El mayor valor se encuentra en la zona alta por discriminación del coeficiente de variación con un valor de 0,20 Cmol(+)kg, esto de acuerdo con referencia contrastada debe mantenerse en valores entre 0 y 40 Cmol(+)kg, y son otros indicadores que nos permiten analizar el sodio como es el caso del PSI y el RAS. El nivel crítico de Na intercambiable que separa los suelos con tendencia a la dispersión no ha sido claramente definido y, según Shainberg y Singer (1984), depende del tipo de suelo, pero generalmente se asume como límite un 15% PSI, con un pH superior. 8.2 (Abrol et al., 1980), según Hu y Schimdhalter (2005), en general, las altas concentraciones de Na en las soluciones de tierra reducen la absorción de K y C por las plantas y, por lo tanto, las plantas responderán positivamente a los cultivos agregando C y K para afrontar el estrés salino. Agregar nitrato de

calcio y nitrato de potasio al suelo afectado por la sal mejora el desarrollo de las raíces (López y Satti, 1996).

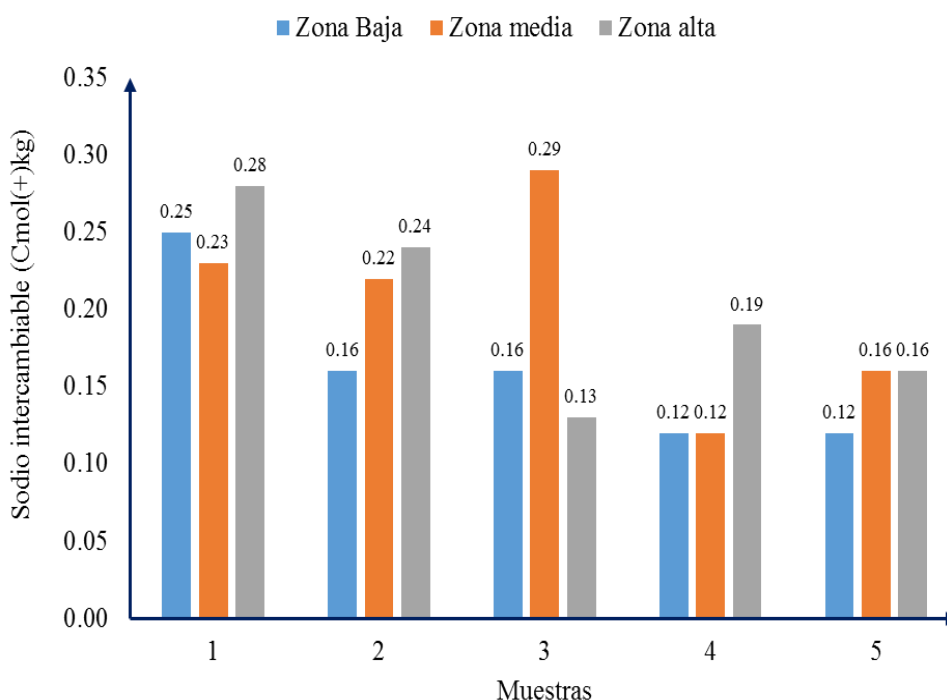


Figura 84. Valores para el Sodio intercambiable (Cmol(+) kg) en las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu.

4.1.2.4. Capacidad de intercambio catiónico

Los resultados mostrados en la tabla 22 y figura 9 apreciamos los valores para la variable CIC en las tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu presenta un mayor valor la zona alta con 7,62 Cmol(+) kg, y menores valores en orden correlativo la zona baja con 7.41 Cmol(+) kg y la zona media con 7,32 (Cmol(+) kg), en el cual los valores son relativamente homogéneos indicados por el coeficiente de variación que oscila entre 10,80 y 14,42% el cual es un valor aceptable, así mismo el valor máximo de se encuentra en la zona alta con 8,91 Cmol(+) kg y el menor valor en la zona baja con 6,22 Cmol(+) kg.

Tabla 2220. Resultados para la Capacidad de Intercambio Catiónico (Cmol(+) kg) en las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu.

Muestras	Zona baja	Zona media	Zona alta
1	8,26	7,02	7,58
2	6,97	6,27	8,91
3	6,22	7,49	6,42

4	6,83	8,45	7,22
5	8,79	7,36	7,96
Promedio	7,41 ± 0,28	7,32 ± 0,20	7,62 ± 0,24
Máximo	8,79	8,45	8,91
Mínimo	6,22	6,27	6,42
Desviación estándar	1,07	0,79	0,92
Coefficiente de variación	14,42	10,80	12,07

Los resultados muestran en la zona alta como el mayor valor encontrado de 7,62 Cmol(+) kg, Según SAGARPA (2012) las tres zonas una CIC de nivel bajo, al respecto Yong et al. (1990) menciona que la CIC es un indicador indirecto de la capacidad amortiguadora de los suelos, añade Arévalo y Gauggel (2014) que reditúa su importancia en la suposición de que el suelo sirve como reserva y fuente de nutrientes, y esta capacidad aumenta conforme se aumente la CIC del suelo, ya que se considera que una gran CIC en los suelos implica la posibilidad de aumentar el depósito de iones nutritivos, en tal sentido decimos que las tres zonas tienen problemas en la toma de nutrientes por parte de la planta por el bajo CIC encontrado. En general podemos decir que mediante la CIC del suelo las raíces de las plantas absorben nutrientes minerales que son necesarios para el desarrollo de la planta, el cual habría que mejorar en las tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu.

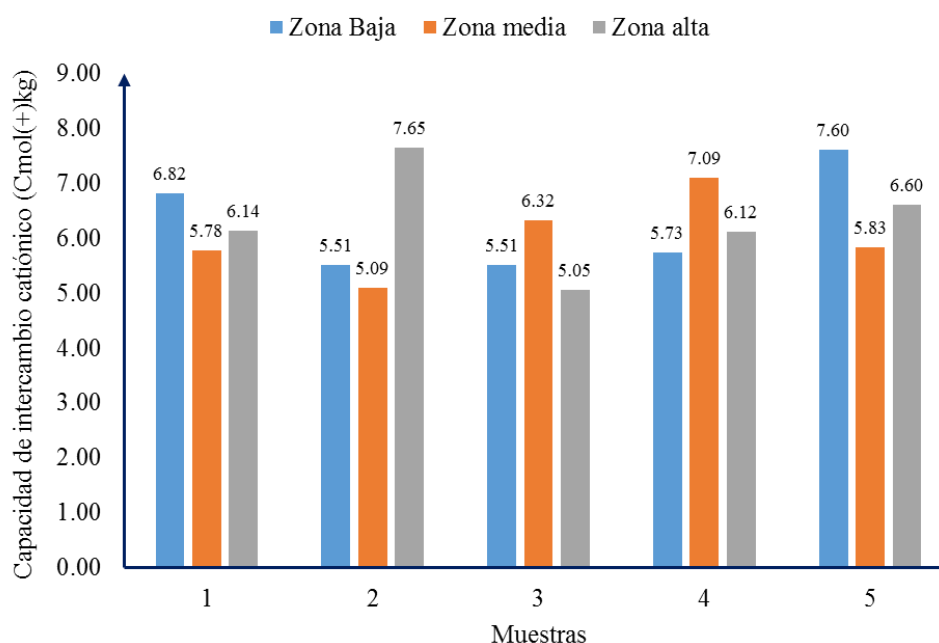


Figura 95. Valores para la CIC Cmol(+)/kg-1 en tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu.

4.2. Determinar el nivel de salinización mediante el porcentaje de sodio intercambiable y la relación de adsorción de sodio en el Centro Poblado Ramal de Cachiyacu

Según Jenks y Hasekawa (2005), se realizaron muestreos de suelo para determinar el nivel de salinización del suelo en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu, refiriéndose el término salinidad a la presencia de altas concentraciones de sal en el suelo. Los daños a las plantas por sus efectos tóxicos y reducción del potencial osmótico del suelo son más comunes en suelos que contienen NaCl, aunque los suelos salinos presentan diferentes combinaciones de sales, siendo comunes los cloruros y los sulfatos de Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺.

4.2.1. El porcentaje de sodio intercambiable

En los resultados que se muestran en la tabla 23 y figura 10 apreciamos los valores para el porcentaje de sodio intercambiable en las tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu, donde el mayor valor se presenta en la zona media con 2,85 %, y menores valores en orden correlativo la zona alta con 2,61% y la zona baja con 2,20%, indicando el coeficiente de variación valores heterogéneos ya que los porcentajes oscila entre 26,29 y 35,79%, siendo valores altos que infieren dispersión, así mismo el valor máximo de se encuentra en la zona media con 3,87% y el menor valor en la zona baja con 1,37%.

Tabla 2321. Resultados para el porcentaje de sodio intercambiable (%) en las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu.

Muestras	Zona baja	Zona media	Zona alta
1	3,03	3,28	3,69
2	2,30	3,51	2,69
3	2,57	3,87	2,02
4	1,76	1,42	2,63
5	1,37	2,17	2,01
Promedio	2,20 ± 0,17	2,85 ± 0,26	2,61 ± 0,18
Máximo	3,03	3,87	3,69
Mínimo	1,37	1,42	2,01
Desviación estándar	0,66	1,02	0,69
Coefficiente de variación	29,80	35,79	26,29

Los resultados muestran que la zona media es el que mayor porcentaje de sodio intercambiable tiene con respecto a las otras dos zonas del CP Ramal de Cachiyacu, de

acuerdo con De la Rosa (2008) el exceso de sales en el suelo agrícola por sales solubles es conocido como salinización, añade Makoi y Verplancke (2010) predominantemente del tipo cloruros de sodio y sulfato de sodio, permitiendo que exista una elevada relación de Na (Relación de Adsorción de Sodio) en la solución del suelo, y esto según Jenks y Hasegawa (2005) perjudican las plantas y desgastan la estructura de la tierra, reduciendo la porosidad y la permeabilidad del agua, los resultados en nuestro caso y de acuerdo con Masoud (1971) los suelos de las tres zonas tienen un rango interpretativo No sódico, es decir no son suelos salinos por CINA, por tener valores menores del 7% de PSI, en general la cantidad de sodio adsorbido es mínimo.

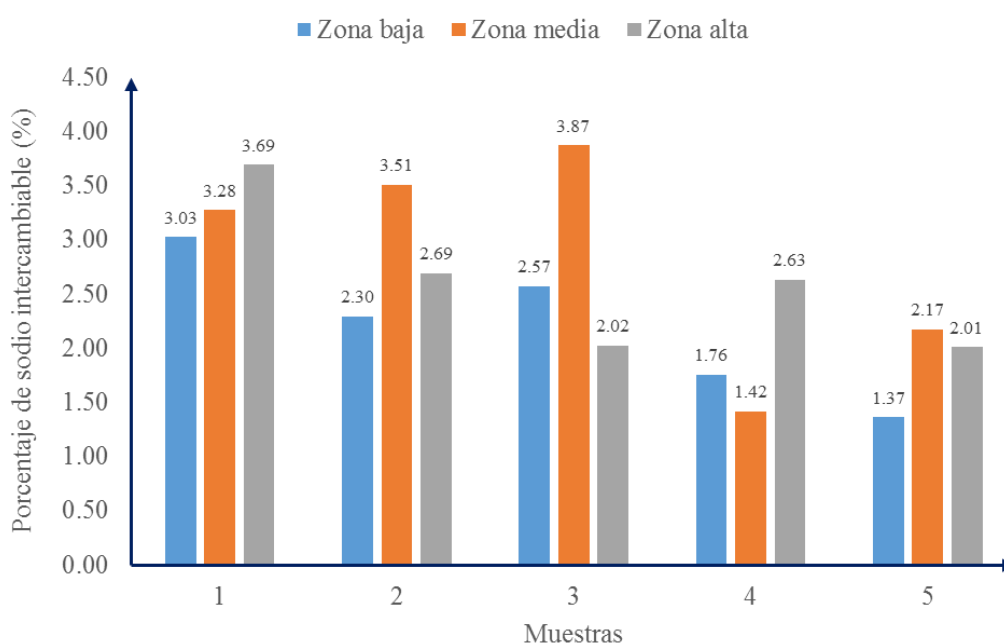


Figura 106. Valores del sodio intercambiable (%) en tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu.

4.2.2. La relación de adsorción de sodio

Los resultados que se muestran en la tabla 24 expresan los valores para la relación de adsorción de Na en las tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu, donde el mayor valor se presenta en la zona media y alta con 0.11 meq/L para ambas zonas y el menor valor en la zona baja con 0,09 meq/L, indicando el coeficiente de variación valores entre los porcentajes que oscilan entre 28,22 y 34,18%, valores altos que deducen dispersión, así mismo el valor máximo de se encuentra en la zona media con 0,16 meq/L y el menor valor en la zona baja con 0,06 meq/L.

Tabla 2422. Resultados para la relación de adsorción de sodio (meq/L) en las tres zonas de CP Ramal de Cachiyacu.

Muestras	Zona baja	Zona media	Zona alta
1	0,13	0,13	0,15
2	0,09	0,13	0,12
3	0,09	0,16	0,08
4	0,07	0,06	0,10
5	0,06	0,09	0,08
Promedio	0,09 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,01
Máximo	0,13	0,16	0,15
Mínimo	0,06	0,06	0,08
Desviación estándar	0,03	0,04	0,03
Coefficiente de variación	30,87	34,18	28,22

Los resultados obtenidos muestran que la zona media presenta la mayor relación de adsorción de sodio con respecto a las otras dos zonas del CP Ramal de Cachiyacu, Según AWQ (1992) indican que en suelos con MO = 2%, contenido de arcilla en horizonte 26%, Limo = 70%, pH ligeramente ácido un valor de RAS por debajo de 7 indican un rango aceptable, porque esta relación según Coourel (2019) nos permite conocer las cantidades relativas de sodio con las que el calcio y el magnesio compiten por posiciones de intercambio en el suelo, y en este sentido podemos decir que las tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu no tienen problemas con salinidad por ClNa.

4.3. Determinar la relación existente entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y el sodio en tres zonas del centro poblado Ramal de Cachiyacu

4.3.1. Correlación de las propiedades físicas y el sodio del suelo

En el análisis correlacional para el coeficiente r de Pearson de las propiedades físicas con el sodio en el suelo a una profundidad de 0 – 30 cm (tabla 25) podemos observar que existe una correlación positiva considerable del sodio en la zona alta versus la densidad aparente con un valor de 0,86, así mismo observamos que también existe una correlación negativa débil del sodio en la zona media versus densidad aparente con un valor de -0,32.

Tabla 2523. Correlación de las propiedades físicas versus el sodio del suelo en tres zonas del CP de Ramal de Cachiyacu.

Sistema/propiedades	DA (g/cm ³)
Zona baja	-0,05
Zona media	-0,32
Zona alta	0,86

DA: densidad aparente.

Los resultados obtenidos para el sodio vs la DA en la zona alta en el cual muestra una correlación positiva considerable pueden explicarse por las características propias del Centro poblado quien se encuentra ecológicamente en la formación Bosque Húmedo Tropical y con con suelos medios a medianamente ligeros sobre subsuelo permeable y con ciertos problemas de drenaje superficial durante la estación lluviosa, al respecto dice Folegatti et al. (2001) la DA es una característica del suelo largamente usada en la agricultura y especialmente relacionada con las prácticas de uso del suelo, en consecuencia estos resultados pueden deberse a que en la parte alta los valores de la DA hayan sido altas.

Los promedios de sodio en las zonas media y alta tienen valores de 0,20 Cmol(+)/kg que en la correlación no han sido influyentes sino con los valores altos de la DA, en tal sentido se explica el resultado del coeficiente de correlación positiva considerable, considerando lo afirmado que Goykovic y Saavedra (2007) el grado de impacto de las sales en el cultivo depende del estado de desarrollo en que se encuentre el cultivo, aspecto que sería importante si la correlación estuviera influenciada por el sodio que en nuestro caso no sucedió.

4.3.2. Correlación de las propiedades químicas y el sodio del suelo

En el análisis correlacional para el coeficiente r de Pearson de las propiedades químicas con el sodio del suelo a una profundidad de 0 – 30 cm (tabla 26) podemos observar que: existe una correlación positiva considerable del sodio con el pH en la zona alta, una correlación media del sodio con la materia orgánica en la zona media, una correlación positiva considerable del sodio con el nitrógeno en la zona media, una correlación positiva media del sodio con el fósforo en la zona media, una correlación positiva considerable del sodio con el potasio en la zona alta y al final una correlación positiva media del sodio con la CIC en la zona alta.

Tabla 2624. Correlación de las propiedades químicas versus el sodio del suelo en tres zonas del CP Ramal de Cachiyacu.

Sist./prop.	pH	MO (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	CIC (Cmol(+)/kg-1)
Zona baja	-0,03	0,16	0,17	-0,27	-0,51	0,20
Zona media	-0,54	0,70	0,78	-0,50	0,33	-0,51
Zona alta	0,74	0,46	0,46	-0,38	0,75	0,55

pH: reacción del suelo; n: nitrógeno; MO: materia orgánica; P: fósforo; K: potasio; CIC: capacidad de intercambio catiónico.

La relación positiva considerable del sodio con el pH en la zona alta amerita recalcar que a un pH del suelo por encima de 8,2 el suelo está dominado por carbonatos de Na, ya que se vuelven altamente solubles, porque los problemas para las plantas en los suelos con sodio que a un pH tan alto inmoviliza diferentes nutrientes caso que no sucede en los suelos del Centro Poblado Ramal de Cachiyacu, porque el pH se encuentra en valores de 5,94 a 6,40, argumenta INIA (2018) el problema de la salinización del suelo es la pérdida de fertilidad; lo que imposibilita el cultivo agrícola y puede deberse según dice Rozema (1996) es el resultado del uso agrícola del suelo y el mal uso del agua para el riego.

La correlación promedio del sodio con la materia orgánica en la región media según Porta et al. (2003) el Na dispersa la arcilla y disuelve la MO, alterando gravemente la composición de la tierra, volviéndolo duro e inestable, inadecuado para el desarrollo de cultivos. Se sabe que las altas concentraciones de Na en el suelo pueden provocar que las partículas floculen o se dispersen (sustancias orgánicas), la reducción de la permeabilidad al agua o permeabilidad a través del perfil, provocando su degradación física, en nuestro caso no está sucediendo lo firmado debido al bajo nivel de sodio pero que resulta importante en esta zona media del centro poblado Ramal de Cachiyacu, a pesar de que el mayor valor se encuentra en la zona alta, resulta importante observar esta correlación por las condiciones de sitio de la zona.

La correlación positiva considerable del sodio con el nitrógeno en la zona media puede explicarse por el bajo nivel de Na en los suelos del Centro poblado ramal de Cachiyacu, no olvidemos que el nitrógeno del suelo es uno de los nutrientes vegetales con mayor importancia y el más abundante en la naturaleza. Las plantas lo absorben en forma de NH_4^+ de amonio en forma de cationes o en forma de aniones de nitrato NO_3^- , el cual puede

ser absorbido normalmente por no tener ClNa el cual ocasiona problemas de sodicidad, que no sucede en nuestro en los suelos de las tres zonas.

En la zona alta existe una correlación positiva considerable entre el sodio y el potasio. Según la investigación de Hu y Schimdhalter (2005), las altas concentraciones de Na en la solución del suelo reducirán la absorción de K y C por parte de las plantas, la relación entre Na⁺ y K⁺ evidencia la competencia por los sitios de absorción en las raíces, lo que en nuestro caso podría explicar de manera favorable el bajo contenido de fósforo.

V. CONCLUSIONES

- Las propiedades físicas de las tres zonas en el CP Ramal de Cachiyacu presenta una textura franca, el mejor valor de densidad aparente está en la zona alta con $1,06 \text{ g/cm}^3$, así mismo en las propiedades químicas en la zona media se tuvo el mayor valor de pH con 6,37, magnesio con $0,83 \text{ Cmol(+)kg}$, potasio intercambiable con $0,30 \text{ Cmol(+)kg}$, en la zona alta el mayor valor en materia orgánica con 3,39%, nitrógeno con 0,17%, calcio $6,31 \text{ Cmol(+)kg}$, sodio intercámbiable con $0,20 \text{ Cmol(+)kg}$ y la CIC $7,62 \text{ Cmol(+) kg}$, en la zona baja el mayor valor de fósforo con 9,74 ppm, potasio con 95,66 ppm,
- El nivel de salinización presenta el mayor valor del porcentaje de sodio intercambiable y relación de adsorción de sodio con 2,85% 0,11 meq/L respectivamente en la zona media del centro poblado Ramal de Cachiyacu.
- La correlación entre las características físicas con el sodio del suelo muestran una correlación positiva considerable del sodio en la zona alta versus la densidad aparente con un valor de 0,86, una correlación positiva considerable del sodio con el pH en la zona alta, una correlación media del sodio con la materia orgánica en la zona media, una correlación positiva considerable del sodio con el nitrógeno en la zona media, una correlación positiva media del sodio con el fosforo en la zona media, una correlación positiva considerable del sodio con el potasio en la zona alta y al final una correlación positiva media del sodio con la CIC en la zona alta.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Aplicar un diseño de muestreo representativo considerando las zonas de muestreo como tratamientos, que sea representativo de la diversidad de suelos agrícolas presentes en el ramal de Cachiyacu. Considera diferentes tipos de suelos, texturas, usos agrícolas y condiciones ambientales para obtener resultados confiables y aplicables.
- Realizar estudios que tengan como variante la fisiografía o pisos altitudinales para relacionarlos con las propiedades físicas y sustanciales de las dos áreas con especies agroforestales y los marcos distintivos de uso de la tierra.
- Comunicar los resultados y recomendaciones de la investigación tanto a los agricultores como a las autoridades locales. La sensibilización sobre la importancia de mantener un manejo adecuado del suelo y el agua puede ayudar a prevenir la salinización y mejorar la productividad agrícola en la región.
- Considerar establecer un programa de monitoreo a largo plazo para evaluar los cambios en las características fisicoquímicas del suelo y la salinidad a lo largo del tiempo. Esto permitirá evaluar la efectividad de las medidas de mitigación implementadas y realizar ajustes cuando sea necesario.

VII. REFERENCIAS

- Abu, S.T., (2013). *Evaluating long-term impact of land use on selected soil physical quality indicators*. Soil Res. 51, 471–476. <https://doi.org/10.1071/SR12360>
- Abrol, I. P., Chhabra, R. and Gupta, R. K. (1980). *A fresh look at the diagnostic criteria for sodic soils*. In: Int. Symp. on Salt Affected Soils. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal. 142-147.
- Acevedo, E., Carrasco, M., León, O.; Silva, P., Castillo, G., Ahumada, I., Borie, G., González, S. (2005). *Informe de criterios de calidad de suelo agrícola*. Servicio Agrícola y Ganadero, Chile. 205 pp. USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi/>).
- Acosta C. (2007). El suelo agrícola un ser vivo. *Inventio* 1:55-59. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2540941.pdf>.
- Adams, M. (1995). *Fundamentos de Química de Suelos*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay. 390 p.
- Alaoui, A. (2015). *Modelling susceptibility of grassland soil to macropore flow*. J. Hydrol. 525: 536–546. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.016>.
- Almorox, J. López, F. Rafaelli, S. (2010). *La degradación de los suelos por erosión hídrica*. Métodos de estimación (Primera ed.). Murcia: Ediciones de la Universidad de Murcia: http://books.google.com.pe/books?id=bSpiNY_nwOIC&source=gbs_navlinks_s.
- Arévalo, G.E., Gauggel, C.A. (2014). *Manual de laboratorio de manejo de ciencia de suelos y aguas*. EAP el Zamorano, Honduras. p 79.
- Astier-Calderón, M., Maass-Moreno y J. Etchevers Barra. (2002). *Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable*. Agrociencia 36: 605-620.
- Australian Water Quality (1992). *Guidelines for Fresh and Marine Waters*. National Water Quality Management Strategy. Canberra. <https://www.waterquality.gov.au/sites/default/files/documents/ANZECC-1992-guidelines.pdf>.
- Azcón Bieto, J. y Talón, M. (2000). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Ed Interamericana-Mc Graw Hill. Madrid.

- Baca, B. E., L. Soto y M. P. Pardo. (2000). *Fijación biológica de nitrógeno*. Elementos 38: 43-49.
- Balta Crisólogo, R., Rodríguez Del Castillo, A., Guerrero Abad, R., Cachique, D., Alva Plasencia, R., Arévalo López, L., Loli, O. (2015). *Absorción y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) en suelos ácidos, San Martín, Perú*. 24 (2): 123 – 130. <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL1446.pdf>.
- Bandinck, A.K. y Dick, R.P. (1999). *Field management effects on soil enzymes activities*. Soil Biology and Biochemistry 31(11):1471-1479.
- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., Del Castillo, R.F., Gutiérrez, C. (2004). *La calidad del suelo y sus indicadores*. Ecosistemas 13 (2): 90-97. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>
- Bautista-Cruz, A., y J. D. Etchevers B. (2014). *Una Revisión sobre los Conceptos de la Calidad del Suelo: Sus Indicadores e Índices*. Editorial Académica Española. <https://www.eae-publishing.com/catalogue/details/es/978-3-8473-6509-9/una-revisi%C3%B3n-sobre-los-conceptos-de-la-calidad-del-suelo>.
- Bazán, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. INIA. https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/504/1/Bazan-Manual_de_procedimientos_de_los.pdf
- Bello Pérez, A., García-Alvarez, A., Tello Marquina, J.C., López Pérez, J.A., (2002). *Los sistemas agrarios mediterráneos como modelo agroecológico*. Man. Agric. y Ganad. Ecológica.
- Bengough, AG; BM McKenzie; PD Hallett & TA Valentine. (2011). *Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits*. J. Exper. Bot. 62: 59–68. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>
- Bernal, A., Hernández, A., Mesa, M., Rodríguez, O., González, P., Reyes, R. (2015). *características de los suelos y sus factores limitantes de la región de Murgas, provincia La Habana*. Cultivos Tropicales, 36(2), 30-40. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193239249005.pdf>.
- Brady, N. & Weil, R. (2002). *Soil acidity: Calcium and Magnesium as plant nutrients* Cap 9:11 pg. 404- 410.

- Brady, N.C.; Weil, R.R. (1999). *The nature and properties of soils*. New Jersey, Prentice-Hall. 881 p.
- Cairo P. (1995). *La Fertilidad Física de suelo y la Agricultura Orgánica en el Trópico*. UNA - Managua, Nicaragua. 228p.
- Cakmak, I. and A.M. Yazici. (2010). *Magnesium: Forgotten elements in Crop Production*. Better Crops 94(2):23-25. <https://www.compo-expert.com/sites/default/files/2020-07/Journal%20Nutrici%C3%B3n%20Mineral.pdf>.
- Carrasco, J., García-Huidobro, J., Valenzuela, F. (2013). *El suelo y su relación con el manejo*. Boletín INIA, N° 207. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7335/NR37051.pdf?sequence=8&isAllowed=y>.
- Carrasco, J. & Ortiz, M. (2011). *Propiedades físicas del suelo, que condicionan el desarrollo de frutales en la región de O'Higgins*. Boletín INIA, N° 227. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7436/NR38176.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. (2002). *Método participativo para identificar y clasificar indicadores locales del suelo a nivel de microcuenca*. CIAT, Guía N° 1. Banco Internacional de Desarrollo (BID), (CIID), COSUDE). Impreso en Cali, Colombia. 255p.
- Chinnusamy, V., A. Jagendorf, J.K. Zhu. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*. 45:437-448.
- Coronel, N. (2003). *Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas*. Suplemento La granja N° 2. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5969765.pdf>.
- Courel, G. (2019). *Suelos salinos y sódicos*. *Cátedra de Edafología*. Guía de estudio. <https://www.fertibox.net/single-post/ras-psi>.
- Cremona, M., Soledad, A. (2020). *Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica*. Presencia N° 73. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/7709>.
- Cristóbal-Acevedo, D., Álvarez-Sánchez, M. E., Hernández-Acosta, E., & Améndola-Massiotti, R. (2011). *Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional*. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 325-332. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57321283011.pdf>.

- Dalurzo, H. C., Serial, R. C., Vázquez, S. y Ratto, S. (2002). *Indicadores químicos y biológicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina)*. Facultad de Ciencias Agrarias-UNNE.
- Del Toro, A. (2015). *Caracterización y análisis comparativo de la salinidad de suelos de cultivo de importancia económica de la región de Ensenada, B.C. y zona vitícola de Caborca, Son.* [Tesis Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/949>
- Demuner Molina, G., Cadena Zapata, M., Campos Magaña, S. (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: 68-71.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2020). *Soil quality indicators*. USDA. https://s3-us-west-2.amazonaws.com/treefruit.wsu.edu/wp-content/uploads/2020/03/Ind-Cal-Suelo-Biologicos_02-17-20.pdf.
- Dexter, A. R., E. A. Czyz, and O. P. Gate. (2007). *A method for prediction of soil penetration resistance*. *Soil Tillage Res.* 93: 412-419.
- Dick, R.P. (2004). *Soil Biological, chemical, and physical dynamics during transition to nonthermal residue management grass seed systems*. Online Internet. Oregon, GSCSSA, Progress reports FY00. <http://gscssa.wsu.edu/progress/00/100.htm>.
- Dieter, P. (1984). *Calmodulin and calmodulin-mediated process in plants*. *Plant Cell Environ.* 7: 371-380.
- Fernández, M. (2007). *Fósforo: amigo o enemigo*. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*. 41(2): 51-57. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>.
- Ferreras, L., Toresani, S., Faggioli, V., & Galarza, C. (2015). *Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana argentina*. *Spanish Journal of Soil Science*, 5(3), 220–235.
- Ferreras, Laura, Toresani, Silvia, Bonel, Beatriz, Fernández, Estela, Bacigaluppo, Silvina, Faggioli, Valeria, & Beltrán, Celina. (2009). *Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos*. *Ciencia del suelo*, 27(1), 103-114. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-

20672009000100011&lng=es&tlng=es.Forsythe, W. (1985). Física de Suelos. San José, CR.: IICA

Folegatti, M.V.; Brasil, R.P.C. Do; Blanco, F.F. (2001) *Sampling equipment for soil bulk density determination tested in a Kandiuudalfic Eutrudox and a Typic Hapludox*. Scientia Agricola 58: 833-838.

Fox, E. (2013). *Evaluación de pérdida de suelo por salinización en la parte baja de la cuenca del jequetepeque: san pedro de lloc (1980 – 2003)*. [Tesis Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/4809/FOX_LLERENA_ESTEFANIA_EVALUACION_PERDIDA.pdf?sequence=1.

Gesmontes (12 de julio de 2023). *Textura del Suelo: Ventajas y Desventajas sobre la Producción de la Finca*. <https://gesmontes.es/textura-del-suelo/>

Goykovic C. V. y G. Saavedra R. (2007). *Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo*. IDESA 25(3):47-58.

Guida-Johnson, B., Abraham, E., Cony, M. (2016). *Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina*. Rev. FCA UNCUIYO, 49(1): 205-215. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/9376/20171-cp19-jhonson.pdf.

Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L. And Beaton, J.D. (2014). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. 8 ed. New Jersey (USA): Pearson, 516 p.

Henríquez, C., Ortiz, O., Largaespada, K., Portugués, P., Vargas, M., Villalobos, P., Gómez, D. (2011). *Determinación de la resistencia a la penetración, al corte tangencial, densidad aparente y temperatura en un suelo cafetalero, Juan Viñas, Costa Rica*. Agronomía Costarricense 35(1): 175-184. http://www.mag.go.cr/rev_agr/index.html.

Hernández, A.; Ascanio, M. O.; Morales, M.; Bojórquez, I.; García, Norma, E. y García, J. (2006). *Fundamentos sobre la formación del suelo, cambios globales y su manejo*. Editorial Universidad de Nayarit.,. 255 p.

Hilda, H. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio*: <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/tesisHilda1101.pdf>

Hu, Y. y U. Schimdhalter. (2005). *Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants*. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168:541-549.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). *Caracterización de los suelos y las tierras. In: Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023648/Sintesis.pdf>
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005192/macizo/pdf/Capitulo4.pdf>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2018). *Manejo integrado de suelos salinos y ácidos y riego tecnificado*. Documento informativo. INIA. https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/2018/09/CV_ManejoSuelos.pdf.
- INTAGRI. (2017). Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos. Núm. 29. *Artículos Técnicos de INTAGRI*. México. 5 p.
- INTAGRI. (2023). *Funciones del Calcio (Ca) en la Nutrición de los Cultivos*. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/funciones-del-calcio-en-la-nutricion-de-los-cultivos>.
- Jenks, M. A. y Hasegawa, P. M. (2005). *Plant Abiotic Stress*. India. Blackwell Publishing Ltd, , p. 270.
- Keren, R. (2000). “*Salinity*”. In: Handbook of Soil Science, Malcolm E. Sumner (editors). CRS Press. (pp. G3-G25).
- Kohler, J., Caravaca, F. and Roldán, A. (2010). *An AM fungus and a PGPR intensify the adverse effects of salinity on the stability of rhizosphere soil aggregates of Lactuca sativa*”. Soil Biology and Biochemistry, Vol. 42, No. 3, (pp. 429-434).
- Lacasta, C., Benítez, M., Maire, N. & Meco, R. (2006). *Efecto de la textura del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos*. Agricultura y Alimentación Ecológica, Trabajo 110. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/16622/1/2006%20Bio-suelos.pdf>.
- Lacasta, C., Meco, R., & Maire, N. (2005). *Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en un agroecosistema de cereales sometido a diferentes manejos de suelo durante 21 años*. El reto de la Agricultura y Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación, 429-436.
- Leclercq, C., Strazzullo, P. (2014). *Sodium: Advances in Nutrition* 5 (2): 188-190. doi:10.3945/an.113.00521.

- Lok, S. (2005). *Determinación y selección de indicadores del sistema suelo-pasto en pastizales dedicados a la producción del ganado vacuno*. [Tesis de Doctorado] en Ciencias Agrícolas. Instituto de ciencia animal. Cuba. 119 p.
- López, M.V. y S. M. E. Satti. (1996). *Calcium and potassium enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress*. Plant-Science-Limerick. 114(1):19-27.
- Makoi, J. and Verplancke, H. (2010). "Effect of gypsum placement on the physical chemical properties of a saline sandy loam soil". Australian Journal of Crop Science, Vol. 4 No. 7 (pp. 556-563). ISSN: 1835-2707.
- Maldonado, A. (2016). *Evaluación de diferentes dosis de Hexametafosfato de sodio (napo₃)₆, en la determinación de tres tipos texturales de suelo, mediante el método de Bouyoucos*. [Tesis Ingeniero, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8135/1/T-UCE-0004-42.pdf>.
- Manayay, D. (2021). *Efecto de la aplicación de un bioestimulante sobre las propiedades fisicoquímicas de suelos con diferente textura y salinidad*. [Tesis Maestría, Universitat Politècnica De València]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/174953/Manayay%20-%20Efecto%20de%20la%20aplicacion%20de%20un%20bioestimulante%20sobre%20las%20propiedades%20fisico-quimicas%20de%20s...pdf?sequence=1>.
- Marchese, A. (2015). *Estudio físico y químico de suelos agrícolas para la estimación del nivel de salinización en el sector bajo de San Pedro de Lloc*. [Tesis licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6442/MARCHESE_ADOLOFO_BRUNO_SUELOS_AGRICOLAS_SALINIZACION.pdf?sequence=1.
- Martella, M., Trumper, E., Bellis, L., Renison, D., Giordano, P., Bazzano, G. y Gleiser R. (2012). *Manual de Ecología Evaluación de la biodiversidad. Reduca*. Argentina. Serie Ecología. 5(1):71-115.
- Martínez, E. (2003). *Reacción del suelo (pH)*. Rev. Batuco. Universidad de Chile. 1-34.
- Mashali, A. (1999). *Overview of FAO Global Net Work on Soil management for sustainable use of salt affected soil*, in 3th International work shop on Integrated Soil Management for sustainable Use of Salt Affected Soil.: Bureau of soils and Water Management. Soil Research and Development Center Deliman Quezoncity, Filipinas. p. 1-36.

- Mengel, K. & Kirby, E. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. Instituto Internacional de la Potasa. 4ta ed. Suiza.
https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRIN_CIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf.
- Montiel, K., Ibrahim, M. (2015). *Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático*. <http://www.iica.int/>.
- Moraes, MT; VR Da Silva; AL Zwirtes & R Carlesso. (2014). *Use of penetrometers in agriculture: A review*. Eng. Agríc. 34 (1): 179-193
- Munera, G. & Meza, D. (2012). *El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal*. Universidad Tecnológica De Pereira.
<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/7377066a-bac4-4402-a306-eb45caa49d1c/content>.
- Munns, R., S. Goyal, J. Passioura. (2005). *Salinity stress and its mitigation*. University of California, Davis. 19 p.
- Munson, R. D. (1985). *Potassium in Agriculture*. American Society of Agronomy, Inc.
- National Resource Conservation Soil (NRCS). (2004). *What is soil quality? Unites States Department Agriculture*. [http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/what_is/].
- Narváez, H., Combatt, E., Bustamante Barrera. I. (2014). Distribución espacial de la salinidad en suelos del área de influencia de la desembocadura del río Sinú (Córdoba, Colombia). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 17 (2): 433 – 443.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a14.pdf>.
- Navarro, G. & Navarro, S. (2013). *Química agrícola, química del suelo y de nutrientes esencial*. 3 ed. Madrid (España): Mundi-Prensa, 492 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019). *Textura del suelo*. <https://bit.ly/2MmvZe0>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016). *Suelos y biodiversidad*. <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/285729/>.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura, (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. FAO. <https://www.fao.org/3/i3361s/i3361s.pdf>.
- Osorio, N. (2012). *pH del suelo y disponibilidad de nutrientes*. Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal. 1(4).
- Osorio, A., Céspedes R. (2000). *Efecto de métodos de riego localizado en la salinidad del perfil de suelo en vid de mesa. I. Conductividad eléctrica, sodio, cloro y boro en distintos puntos del perfil*. Agricultura Técnica. 60(2) p. 178-194. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/33509>.
- Padilla, L. (2017). *Variabilidad espacial de la salinidad en suelos del distrito de riego 014, Mexicali Baja California*. [Tesis licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/67920/UAEM-FaPUR-Tesis-Leonardo%20Sebastian%20Padilla%20Arzaluz.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Pérez Rosales, A., Galvis Spínola, A., Bugarín Montoya, R., Hernández Mendoza, T., Vázquez Peña, M. & Rodríguez González, A. (2017). Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU+ n). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(1): 171-177. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n1/2007-0934-remexca-8-01-171.pdf>.
- Porta, C., López, A., & Laburu, R. D. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. (3 edición). Madrid, España: Mundi-prensa.
- Reynolds, W.D., Drury, C.F., Yang, X.M., Tan, C.S. (2008). *Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions*. *Geoderma* 146, 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.06.017>
- Reynolds, W.D., Drury, C.F., Yang, X.M., Fox, C.A., Tan, C.S., Zhang, T.Q. (2007). *Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil*. *Soil Tillage Res.* 96, 316–330. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.07.003>
- Richards, L.A. (1954) *Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils, Agriculture*, 160, Handbook 60. US Department of Agriculture, Washington DC.
- Rivera, E., Sánchez, M., Domínguez, H. (2018). *pH como factor de crecimiento en plantas*. Volumen Especial N° 4. <https://core.ac.uk/download/pdf/234019718.pdf>.

- Rodríguez, J., Pinochet, D., Matus, F.J. (2001). *Fertilización de los cultivos*. Editorial LOM. Santiago, Chile. 117 p. La fertilización de los cultivos. Pontificia Universidad Católica de Chile: 117 p.
- Rotenberg, D; A Jiménez Wells; EJ Chapman; AE Whitfield; RM Goodman & LR Cooperband. (2007). *Soil properties associated with organic matter-mediated suppression of bean root rot in field soil amended with fresh and composted paper mill residuals*. Soil Biol. Biochem. 39: 2936-2948.
- Rozema, J. (1996). *Biology of halophytes*. In Halophytes and Biosaline Agriculture (R. Choukr-Allah, C.V. Malcolm, A. Handy, eds.). Marcel Dekker Inc. New York., p. 17-30.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. <https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>.
- Salamanca J., A.; Sadeghian Kh., S. (2005). *La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana*. Cenicafé 56(4):381-397.
- Schlesinger, W. H., J. A. Raikes, A. E. Hartley, and A. F. Cross. (1996). *On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems*. Ecology 77: 364-74.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2017). *Palma de aceite mexicana*. Planeación agrícola nacional 2017-2030. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación.
- Setia, R., Marschner, P., Baldock, J., Chittleborough, D., Smith, P. and Smith, J. (2011). *“Salinity effects on carbon mineralization in soils of varying texture”*. Soil Biology & Biochemistry, Vol. 43, No. 9, (pp. 1908-1916).
- Shainberg, I. and Singer, M. J. (1984). *Response of soil to sodic and saline conditions*. In: Wallender, W. W. and Tanji, K. K. (ed.). 2012. Agricultural Salinity Assessment and management. American Society of Civil Engineers, 2nd Edition, pages 139-167.
- Shannon, M. C., C. M. Grieve. (1999). *Tolerance of vegetable crops to salinity*. Scientia Horticulturae. 78:5- 38.
- 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, SQI-NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.

- Stevenson, F. J. and M. A. Cole. (1999). *Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. John Wiley and Sons. New York, NY, USA.
- Stewart, D.P.; Cameron, K.C.; Cornforth, I.S.; Sedcole, J.R. (1998). *Effects of spent mushroom substrate on soil physical conditions and plant growth in an intensive horticultural system*. Australian Journal of Soil Research 36(6): 899- 912.
- Swift, M. J.; Bignell, D.; Moreira, F. M. De S.; Huising, J. O (2010). *Inventário da biodiversidade biológica do solo: conceitos e orientações gerais*. In: Moreira, F. M S.; Huising, E. J.; Bignell, D. E. (Eds.). Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade. Lavras: Editora da UFLA, p. 23-41.
- Taiz, L., Zeiger, I., Moller, M. & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. 6 ed. Sunderland (USA): Sinauer Associates Inc. 761 p.
- Trinidad-Santos, A., Velasco-Velasco, J. (2016). *Importancia de la materia orgánica en el suelo*. Agroproductividad 9(8): 52-58. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/802>.
- Van Konijnenburg, A. (2006). *Agricultura orgánica, el suelo: sus componentes físicos*. Material didáctico N° 1. INTA. [https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_\(1\).pdf](https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_(1).pdf).
- Vélez-Carvajal, N., Melo-Martínez, S., Flórez-Roncancio, V. (2014). Comportamiento de Ca, Mg y S en un sistema de cultivo sin suelo para clavel. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20(2): 171-185, doi: <http://www.10.5154/r.rchsh.2013.10.038>.
- Villarreal, Héctor; Álvarez, Mauricio; Córdoba, Sergio, Escobar, Federico; Fagua, Geovanny; Gast, Fernando; Mendoza, Humberto; Ospina, Mónica y Umaña, Ana María. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 238 p.
- Vitousek, P. M. and P. A. Matson. (1985). *Disturbance, nitrogen availability and nitrogen losses in an intensively managed loblolly pine plantation*. Ecology 66: 1360-1376.
- Vistoso Gacitúa, E. & Martínez-Lagos, J. (2020). *Potasio disponible y fertilización en suelos de la Región de Los Ríos*. Instituto De Investigaciones Agropecuarias – Boletín Informativo N° 254. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/4037/Informativo%20INIA%20N%C2%B0%20254?sequence=1>.

- Weil, N., Brady, RC. (2017). *The nature and properties of soils 15th edition*. Pearson.
- Wenk, Hans-Rudolf y A. Bulakh. (2004). *Minerals. Their constitution and origin*. University Press Cambridge. U.K.
- Whalley, WR; CW Watts; AS Gregory; SJ Mooney; LJ Clark & AP Whitmore. (2008). *The effect of soil strength on yield of wheat*. Plant Soil 306, 237–247. doi: <http://www.10.1016/j.geoderma.2006.08.029>
- White, R.E. (2005). *Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource*. Cuarta edición. Oxford: Blackwell. 384 p.
- Wolkowski, R.; Lowery, B. (2008). *Soil Compaction: Causes, Concerns, and Cures*. University of Wisconsin – Extension. Estados Unidos de América.
- Yokoi, S., A. Bressan Ray, P. M. Hasegawa. (2002). *Salt stress tolerance of plants*. JIRCAS Working Report 25-33.
- Yong, R. N.; Warkentin, B. P.; Phadungchewit, Y. and Galvez, R. (1990). *Buffer capacity and lead retention in some clay*. Water, Air, and Soil Pollution. 53: 53-67.
- Zuñiga Escobar, O., Osorio Saravia, J., Cuero Guependo, R., Peña Ospina, J. (2011). *Evaluación de Tecnologías para la Recuperación de Suelos Degradados por Salinidad*.

ANEXO

Anexo A. Panel fotográfico



Figura 117. Vista panorámica del puente Cachiayacu.



Figura 128. Coordenada UTM de la Zona baja del CP Ramal de Cachiayacu.



Figura 139. Coordenada UTM de la Zona media del CP Ramal de Cachiyacu.



Figura 1410. Muestreo de suelo de la Zona media del CP Ramal de Cachiyacu.



Figura 1511. Preparando las soluciones para el análisis de suelo en laboratorio



Figura 1612. Proceso de secado de las muestras de suelos del CP Ramal de Cachiyacu.



Figura 1713. Equipos y herramientas utilizados en campo en el CP Ramal de Cachiyacu.



Figura 1814. Muestras de suelos para ser enviados al Laboratorio para su respectivo análisis del CP Ramal de Cachiyacu.



Figura 1915. Muestra de suelo para ser analizada de la Zona baja del CP Ramal de Cachiyacu.



Figura 2016. Toma de coordenada de la Zona alta del CP Ramal de Cachiyacu.

Anexo B. Datos recolectados en la investigación.

Tabla 2725. Propiedades físicas de los suelos en el centro poblado Ramal de Cachiyacu.

N°	Datos			Análisis mecánico			Textura	DA
				Arena	Limo	Arcilla		g/cm ³
	Cod. Lab.	Muestra	Zona	%	%	%		
1	S0685	PM 01	Baja	37	16	47	Franco	1,06
2	S0686	PM 02	Baja	49	10	41	Franco	0,89
3	S0687	PM 03	Baja	51	14	35	Franco	1,05
4	S0688	PM 04	Baja	49	12	39	Franco	1,05
5	S0689	PM 05	Baja	51	18	31	Franco	1,10
6	S0690	PM 06	Media	55	12	33	Franco arenoso	0,99
7	S0691	PM 07	Media	53	14	33	Franco arenoso	1,06
8	S0692	PM 08	Media	55	12	33	Franco arenoso	1,05
9	S0693	PM 09	Media	53	14	33	Franco arenoso	1,13
10	S0694	PM 10	Media	61	10	29	Franco arenoso	0,98
11	S0695	PM 11	Alta	61	10	29	Franco arenoso	1,09
12	S0696	PM 12	Alta	60	10	30	Franco arenoso	1,07
13	S0697	PM 13	Alta	60	10	30	Franco arenoso	1,00
14	S0698	PM 14	Alta	59	10	31	Franco arenoso	1,08
15	S0699	PM 15	Alta	55	14	31	Franco arenoso	1,04

DA: densidad aparente

Tabla 2826. Valores de las propiedades químicas del suelo del centro poblado Ramal de Cachiyacu.

N°	Datos			pH	MO	N	P	K	CIC	Cambiables (Cmol(+).kg			
				01:01	%	%	ppm	ppm		Ca	Mg	K	Na
	Cod. Lab.	Muestra	Zona										
1	S0685	PM 01	Baja	5,70	2,19	0,11	7,61	90,35	8,26	6,82	0,90	0,29	0,25
2	S0686	PM 02	Baja	6,58	3,98	0,20	10,89	99,81	6,97	5,51	0,92	0,39	0,16

3	S0687	PM 03	Baja	6,04	1,11	0,06	11,70	97,96	6,22	5,51	0,65	0,31	0,16
4	S0688	PM 04	Baja	5,88	2,09	0,10	6,32	92,61	6,83	5,73	0,70	0,28	0,12
5	S0689	PM 05	Baja	5,52	1,32	0,07	12,18	97,56	8,79	7,60	0,83	0,24	0,12
6	S0690	PM 06	Media	6,13	2,60	0,13	8,25	99,83	7,02	5,78	0,75	0,26	0,23
7	S0691	PM 07	Media	6,28	2,73	0,14	5,44	75,78	6,27	5,09	0,67	0,30	0,22
8	S0692	PM 08	Media	6,26	2,53	0,13	4,48	94,13	7,49	6,32	0,67	0,21	0,29
9	S0693	PM 09	Media	6,40	2,03	0,10	6,73	78,24	8,45	7,09	1,00	0,25	0,12
10	S0694	PM 10	Media	6,92	2,49	0,12	7,13	98,58	7,36	5,83	1,08	0,29	0,16
11	S0695	PM 11	Alta	6,68	3,98	0,20	5,28	95,85	7,58	6,14	0,83	0,32	0,28
12	S0696	PM 12	Alta	6,69	3,44	0,17	4,40	90,74	8,91	7,65	0,75	0,27	0,24
13	S0697	PM 13	Alta	6,27	3,58	0,18	4,96	73,19	6,42	5,05	0,92	0,30	0,13
14	S0698	PM 14	Alta	6,00	3,81	0,19	7,45	93,04	7,22	6,12	0,58	0,33	0,19
15	S0699	PM 15	Alta	6,22	2,16	0,11	8,25	90,77	7,96	6,60	0,92	0,28	0,16

Tabla 2927. Valores para el porcentaje de sodio intercambiable y la Relación de Adsorción de Sodio por zona en el centro poblado Ramal de Cachiyacu.


N°	Zona	PSI	RAS
1	Baja	3,03	0,13
2	Baja	2,30	0,09
3	Baja	2,57	0,09
4	Baja	1,76	0,07
5	Baja	1,37	0,06
6	Media	3,28	0,13
7	Media	3,51	0,13
8	Media	3,87	0,16
9	Media	1,42	0,06
10	Media	2,17	0,09
11	Alta	3,69	0,15
12	Alta	2,69	0,12
13	Alta	2,02	0,08

14	Alta	2,63	0,10
15	Alta	2,01	0,08


Tabla 3028. Valores del coeficiente de correlación de las propiedades fisicoquímicas del suelo versus la relación con el Sodio por zona en el centro poblado Ramal de Cachiyacu.

Zona	Na	DA	pH	MO	N	P	K	CIC
Baja	0,25	1,06	5,70	2,19	0,11	7,61	90,35	8,26
Baja	0,16	0,89	6,58	3,98	0,20	10,89	99,81	6,97
Baja	0,16	1,05	6,04	1,11	0,06	11,70	97,96	6,22
Baja	0,12	1,05	5,88	2,09	0,10	6,32	92,61	6,83
Baja	0,12	1,10	5,52	1,32	0,07	12,18	97,56	8,79
Coef. correlación		-0,05	-0,03	0,16	0,17	-0,27	-0,51	0,20
Media	0,23	0,99	6,13	2,60	0,13	8,25	99,83	7,02
Media	0,22	1,06	6,28	2,73	0,14	5,44	75,78	6,27
Media	0,29	1,05	6,26	2,53	0,13	4,48	94,13	7,49
Media	0,12	1,13	6,40	2,03	0,10	6,73	78,24	8,45
Media	0,16	0,98	6,92	2,49	0,12	7,13	98,58	7,36
Coef. correlación		-0,32	-0,54	0,70	0,78	-0,50	0,33	-0,51
Alta	0,28	1,09	6,68	3,98	0,20	5,28	95,85	7,58
Alta	0,24	1,07	6,69	3,44	0,17	4,40	90,74	8,91
Alta	0,13	1,00	6,27	3,58	0,18	4,96	73,19	6,42
Alta	0,19	1,08	6,00	3,81	0,19	7,45	93,04	7,22
Alta	0,16	1,04	6,22	2,16	0,11	8,25	90,77	7,96
Coef. correlación		0,86	0,74	0,46	0,46	-0,38	0,75	0,55

DA: Densidad aparente; pH: potencial de hidrogeno; MO: materia orgánica; N: nitrógeno; P: fosforo; K: potasio; CIC: capacidad de intercambio catiónico.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - WhatsApp 941531359
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: KATHERINE JAHAYRA GARCIA PAIMA											PROCEDENCIA: RAMAL DE CACHİYACU - SAN MARTIN													
N°	DATOS			ANÁLISIS MECÁNICO			DENSIDAD APARENTE	pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%	
				Arena	Arcilla	Limo								Textura	g/cm ³	1:1	%	%	Ca					Mg
	COD LAB	MUESTRA	ZONA	%	%	%	disponible	ppm	ppm	Bas. Carb.	Ac. Carb.	Sat. Al												
1	S0685	PM 01	BAJA	37	16	47	Franco	1.06	5.70	2.19	0.11	7.61	90.35	8.26	6.82	0.90	0.29	0.25	--	--	--	100	0	0
2	S0686	PM 02	BAJA	49	10	41	Franco	0.89	6.58	3.98	0.20	10.82	99.81	6.97	5.51	0.92	0.39	0.16	--	--	--	100	0	0
3	S0687	PM 03	BAJA	51	14	35	Franco	1.05	6.04	1.11	0.06	11.70	97.96	6.22	5.10	0.65	0.31	0.16	--	--	--	100	0	0
4	S0688	PM 04	BAJA	49	12	39	Franco	1.05	5.88	2.09	0.10	6.32	92.61	6.83	5.73	0.70	0.28	0.12	--	--	--	100	0	0
5	S0689	PM 05	BAJA	51	18	31	Franco	1.10	5.52	1.32	0.07	12.18	97.56	8.79	7.60	0.83	0.24	0.12	--	--	--	100	0	0
6	S0690	PM 06	MEDIA	55	12	33	Franco Arenoso	0.99	6.13	2.60	0.13	8.25	99.83	7.02	5.78	0.75	0.26	0.23	--	--	--	100	0	0
7	S0691	PM 07	MEDIA	53	14	33	Franco Arenoso	1.06	6.28	2.73	0.14	5.44	75.78	6.27	5.09	0.67	0.30	0.22	--	--	--	100	0	0
8	S0692	PM 08	MEDIA	55	12	33	Franco Arenoso	1.05	6.26	2.53	0.13	4.48	94.13	7.49	6.32	0.67	0.21	0.29	--	--	--	100	0	0
9	S0693	PM 09	MEDIA	53	14	33	Franco Arenoso	1.13	6.40	2.03	0.10	6.73	78.24	8.45	7.09	1.00	0.25	0.12	--	--	--	100	0	0
10	S0694	PM 10	MEDIA	61	10	29	Franco Arenoso	0.98	6.92	2.49	0.12	7.13	98.58	7.36	5.83	1.08	0.29	0.16	--	--	--	100	0	0
11	S0695	PM 11	ALTA	61	10	29	Franco Arenoso	1.09	6.68	3.98	0.20	5.28	95.85	7.58	6.14	0.83	0.32	0.28	--	--	--	100	0	0
12	S0696	PM 12	ALTA	60	10	30	Franco Arenoso	1.07	6.69	3.44	0.17	4.40	90.74	8.91	7.65	0.75	0.27	0.24	--	--	--	100	0	0
13	S0697	PM 13	ALTA	60	10	30	Franco Arenoso	1.00	6.27	3.58	0.18	4.96	73.19	6.42	5.08	0.92	0.30	0.13	--	--	--	100	0	0
14	S0698	PM 14	ALTA	59	10	31	Franco Arenoso	1.08	6.00	3.81	0.19	7.45	93.04	7.22	6.12	0.58	0.33	0.19	--	--	--	100	0	0
15	S0699	PM 15	ALTA	55	14	31	Franco Arenoso	1.04	6.22	2.16	0.11	8.25	90.77	7.96	6.60	0.92	0.28	0.16	--	--	--	100	0	0

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO 001 N° 0611660
TINGO MARIA, 13 DE MARZO 2020

Figura 21. Análisis de suelos de la zona de trabajo del CP Ramal de Cachiyacu



Figura 22. Análisis especial de la muestra de agua de la zona de trabajo del CP Ramal de Cachiyacu

