

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“EFECTO DE DIFERENTES DOSIS Y FUENTES DE ENCALADO EN
LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO ÁCIDO, EN EL
DISTRITO DE CALQUIS - SAN MIGUEL - CAJAMARCA”**

T E S I S

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por el Bachiller:

YONIL TERRONES COTRINA

Asesor:

Dr. EDIN ALVA PLASENCIA

CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. **Investigador:** Yonil Terrones Cotrina
DNI: 71964211
Escuela Profesional/Unidad UNC: Agronomía
2. **Asesor:** Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
3. **Facultad/Unidad UNC:** Ciencias Agrarias
4. **Grado académico o título profesional:**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
5. **Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
6. **Título de Trabajo de Investigación:** EFECTO DE DIFERENTES DOSIS Y FUENTES DE ENCALADO EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO ÁCIDO EN EL DISTRITO DE CALQUIS – SAN MIGUEL – CAJAMARCA.
7. **Fecha de evaluación:** 22/11/2024
8. **Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
9. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 16%
10. **Código Documento:** oid:3117:408477237
11. **Resultado de la Evaluación de Similitud:** 16%
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 27/11/2024

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 <hr/> Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia 26620894

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

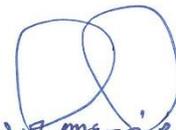
En la ciudad de Cajamarca, a los veintidós días del mes de noviembre del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el ambiente 2C - 202 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 538-2024-FCA-UNC**, de fecha 16 de octubre del 2024, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "EFECTO DE DIFERENTES DOSIS Y FUENTES DE ENCALADO EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO ÁCIDO, EN EL DISTRITO DE CALQUIS - SAN MIGUEL - CAJAMARCA", realizada por el Bachiller **YONIL TERRONES COTRINA** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las doce horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

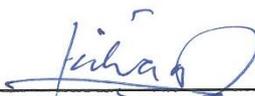
A las trece horas y siete minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.



Dr. Isidro Rimarachín Cabrera
PRESIDENTE



Dr. Wilfredo Poma Rojas
SECRETARIO



Ing. José Lizandro Silva Mego
VOCAL



Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
ASESOR

DEDICATORIA

A mi madre, Zulema Cotrina Llanos, por su inmenso amor, cuidado incondicional, paciencia y por inculcarme valores que han guiado mi vida. Su presencia constante en los momentos más difíciles y su fortaleza inquebrantable me dieron el ánimo y la determinación para superar los obstáculos y alcanzar esta meta.

A mi padre, Juan Bautista Terrones García, por su constante apoyo y dedicación, por inculcarme enseñanzas, valores y sabios consejos que han sido la base de mi formación como persona y profesional. Su respaldo, tanto emocional como económico, fue fundamental para superar los desafíos de este camino y alcanzar mis metas. Su ejemplo de fortaleza y compromiso siempre será una inspiración en mi vida.

A mis hermanos, Elmer, Aníbal, Lindomira, Alindor, Marilú e Ilmer, por su incondicional apoyo, aprecio y por estar presentes en los momentos más importantes de mi vida. Su compañía y aliento han sido fundamentales en este camino, y este logro es también el reflejo del vínculo y la fuerza que compartimos como familia.

A mi novia, por su constante apoyo, comprensión y confianza incondicional, que han sido pilares fundamentales a lo largo de este camino. Su compañía y motivación han sido una fuente de fortaleza y alegría en cada etapa de este logro.

El autor.

AGRADECIMIENTO

A Dios por cuidarme y aún concederme la vida y haber permitido concluir este proyecto.

Al Dr. Edin Alva Plasencia por su valioso tiempo, desinteresado asesoramiento y sus aportes científicos en el presente trabajo de investigación.

Al Dr. Luis Vallejos Fernández por su notable orientación y apoyo durante el desarrollo de esta tesis.

Al proyecto: “Estrategias tecnológicas para incrementar la calidad del suelo, el pasto y la leche en la provincia de San Miguel – Cajamarca” dirigido por la Universidad Nacional de Cajamarca.

A mis amigos, quienes apoyaron desinteresadamente en la ejecución del proyecto.

Al Sr. Elar Rodas y su familia por su hospitalidad y por haberme permitido realizar el trabajo de investigación en su propiedad.

El autor.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRAC	xv
CAPÍTULO I: INTRODUCCION	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
Hipótesis	4
CAPÍTULO II: REVISION DE LITERARIA	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
A nivel Internacional	5
A nivel Nacional	7
A nivel Local	7
2.2. Bases teóricas	8
2.2.1. Acidez del suelo	8
2.2.2. Acidificación del suelo	8

2.2.3. pH	9
a. pH ácido	10
b. pH alcalino	10
2.2.4. Fuentes de acidez	11
2.2.4.1. Altas precipitaciones	11
2.2.4.2. Absorción de nutrientes catiónicos	11
2.2.4.3. Aluminio intercambiable	11
2.2.4.4. Otras formas de acidez del suelo	12
2.2.5. Efecto de acidez (H^+ y Al^{+3})	12
2.2.6. Encalado	13
2.2.7. Fuentes de encalado	14
2.2.7.1. Óxido de calcio (CaO)	14
2.2.7.2. Hidróxido de calcio (Ca (OH)2)	14
2.2.7.3. Carbonatos o cales agrícolas	14
2.2.7.4. Dolomita	14
2.2.7.5. óxido de magnesio	15
2.2.7.6. Magnesita	15
2.3. Definición de términos	15
CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODOS	17
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación	17
3.2. Material experimental	19
3.2.1. Material biológico	19
3.2.2. Materiales de escritorio	19
3.2.3. Materiales de campo	19
3.2.4. Equipos	20

3.3. Metodología	20
3.3.1. Diseño estadístico	21
3.3.2. Instalación del experimento	22
3.3.2.1. Delimitación del área de estudio	22
3.3.2.2. Limpieza del área de estudio	22
3.3.2.3. Diseño del área de estudio	22
3.3.2.4. Muestreo	22
3.3.2.5. Preparación del campo experimental	23
3.3.2.6. Aplicación de la cal	23
3.3.2.7. Evaluaciones realizadas	23
3.3.2.8. Tratamientos	24
CAPÍTULO IV.: RESULTADOS Y DISCUSION	25
4.1. Evolución del pH en el suelo (120 días)	25
4.2. Análisis del pH	26
4.3. Evolución de la conductividad eléctrica en el suelo (120 días)	30
4.4. Análisis de la conductividad eléctrica	32
4.5. Evolución de la materia orgánica en el suelo (120 días)	35
4.6. Análisis de la materia orgánica	36
4.7. Evolución del nitrógeno en el suelo (120 días)	40
4.8. Análisis del nitrógeno	41
4.9. Evolución del fosforo en el suelo (120 días)	44
4.10. Análisis del fósforo	46
4.11. Evolución del óxido de potasio en el suelo (120 días)	49
4.12. Análisis del óxido de potasio	51
4.13. Evolución del aluminio en el suelo (120 días)	54

4.14. Análisis del aluminio	55
4.15. Evolución del hidrogeno en el suelo (120 días)	59
4.16. Análisis del hidrógeno	60
4.17. Evolución de la capacidad de intercambio cationico en el suelo (120 días)	63
4.18. Análisis de la capacidad de intercambio catiónico	65
4.19. Evolución de las bases cambiables en el suelo (120 días)	68
4.20. Análisis de las bases cambiables	70
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1. Conclusiones	74
5.2. Recomendaciones	75
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
CAPÍTULO VII: ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Título	Página
1	<i>Datos meteorológicos registrados durante el periodo de investigación (febrero - junio 2024)</i>	17
2	<i>Muestra inicial del suelo</i>	21
3	<i>Fecha de evaluación de tratamientos</i>	24
4	<i>Representación de dosis y fuentes de insumos: Óxido de calcio (CaO) e Hidróxido de calcio Ca (OH)₂</i>	24
5	<i>Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el pH del suelo ácido en Calquis - San Miguel - Cajamarca</i>	25
6	<i>Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de (CaO) y Ca(OH)₂ en el pH</i>	26
7	<i>Prueba de Tukey para el pH por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	27
8	<i>Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en la conductividad eléctrica del suelo ácido en Calquis - San Miguel - Cajamarca</i>	30
9	<i>Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de (CaO) y Ca(OH)₂ en la conductividad eléctrica</i>	32
10	<i>Prueba de Tukey para la conductividad eléctrica del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	33
11	<i>Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en la materia orgánica del suelo ácido en Calquis - San Miguel – Cajamarca</i>	35
12	<i>Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de (CaO) y Ca(OH)₂ en la materia orgánica</i>	36
13	<i>Prueba de Tukey para la materia orgánica por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	37
14	<i>Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el nitrógeno del suelo ácido en Calquis - San Miguel - Cajamarca</i>	40
15	<i>Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de (CaO) y Ca(OH)₂ en el nitrógeno</i>	41
16	<i>Prueba de Tukey para el reacción del nitrógeno por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	42
17	<i>Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el fósforo del suelo ácido en San Miguel - Cajamarca</i>	44
18	<i>Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el fósforo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	46
19	<i>Prueba de significación de Tukey para la concentración de fósforo del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	47
20	<i>Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el óxido de potasio del suelo ácido en San Miguel - Cajamarca</i>	49
21	<i>Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el óxido de potasio por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	51
22	<i>Prueba de significación de Tukey para la concentración de óxido de potasio del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	52

23	<i>Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el aluminio del suelo ácido en San Miguel - Cajamarca</i>	54
24	<i>Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el aluminio por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	55
25	<i>Prueba de significación de Tukey para la concentración del aluminio del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	56
26	<i>Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el hidrogeno del suelo ácido en San Miguel - Cajamarca</i>	59
27	<i>Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el hidrógeno por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	60
28	<i>Prueba de significación de Tukey para la concentración del hidrogeno del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	61
29	<i>Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en la capacidad de intercambio catiónico del suelo ácido en San Miguel – Cajamarca</i>	63
30	<i>Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar en la capacidad de intercambio catiónico por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	65
31	<i>Prueba de significación de Tukey para la capacidad de intercambio catiónico del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	66
32	<i>Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en las bases cambiables del suelo acido en San Miguel – Cajamarca</i>	68
33	<i>Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las bases cambiables por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	70
34	<i>Prueba de significación de Tukey para la concentración de bases cambiables del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂</i>	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Ubicación del área experimental	18
2	Distribución de tratamientos en el área experimental	22
3	Tendencia del pH de un suelo ácido por efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH) ₂ en Calquis - San Miguel – Cajamarca	25
4	pH promedio alcanzado por efecto de (CaO) y Ca(OH) ₂	28
5	Tendencia de la conductividad eléctrica del suelo ácido por efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH) ₂ en Calquis San Miguel – Cajamarca	31
6	Conductividad eléctrica promedio alcanzado por efecto de (CaO) y Ca(OH) ₂	33
7	Tendencia de la materia orgánica del suelo ácido por efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH) ₂ en Calquis - San Miguel – Cajamarca	35
8	Materia orgánica promedio alcanzado por efecto de (CaO) y Ca(OH) ₂	38
9	Tendencia del nitrógeno del suelo ácido por efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH) ₂ en Calquis - San Miguel – Cajamarca	40
10	Nitrógeno promedio alcanzado por efecto de (CaO) y Ca(OH) ₂	43
11	Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH) ₂ en el fósforo del suelo ácido en Calquis -San Miguel – Cajamarca	45
12	Concentración de fosforo en el suelo por efecto de (CaO) y (Ca(OH) ₂)	47
13	Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH) ₂ en el óxido de potasio del suelo ácido en Calquis - San Miguel – Cajamarca	50
14	Concentración de óxido de potasio en el suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH) ₂	52
15	Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH) ₂ en el aluminio del suelo ácido en Calquis San Miguel – Cajamarca	54
16	Concentración de Aluminio en el suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH) ₂	57
17	Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH) ₂ en el hidrogeno del suelo ácido en San Miguel – Cajamarca	59
18	Concentración de Hidrogeno en el suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH) ₂	62
19	Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH) ₂ en la capacidad de intercambio catiónico del suelo ácido en San Miguel – Cajamarca	64
20	Capacidad de intercambio catiónico del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH) ₂	66

21	Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en la Bases cambiables del suelo ácido en San Miguel – Cajamarca	69
22	Concentración de Bases cambiables en el suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂	71

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis y fuentes de encalado en las propiedades químicas de un suelo ácido, en el distrito de Calquis, San Miguel – Cajamarca. El estudio se llevó a cabo en el caserío La Totorá, a una altitud de 3514 msnm, bajo un clima templado, con temperaturas que oscilan entre 7°C y 20°C, y una precipitación anual promedio de 800 a 1000 mm. Se emplearon dos fuentes de cal, óxido de calcio (CaO) e hidróxido de calcio (Ca(OH)₂), en dosis de 2, 4 y 6 tn ha⁻¹, bajo un diseño de bloques completamente randomizados (DBCR). Los datos fueron analizados mediante ANOVA para determinar la significancia estadística de los tratamientos en las propiedades químicas del suelo. Los resultados mostraron que la aplicación de 6 tn ha⁻¹ de (CaO) fue la más efectiva, incrementando el pH a 5,30, la conductividad eléctrica (0,53 dS/m) y el porcentaje de bases cambiables (95,12%), reduciendo el aluminio e hidrogeno a 0,22 y 0,10 Cmol(+)/kg respectivamente, Además, la dosis de 2 tn ha⁻¹ de (CaO) destacó por aumentar la CIC a 8,67 Cmol(+)/kg, la M.O (6,47 %) y el contenido de Nitrógeno (0,32 %); mientras que 6 tn ha⁻¹ de (Ca(OH)₂) logró el valor más alto de fósforo disponible (46,62 ppm). Las enmiendas cálcicas, particularmente el óxido de calcio en dosis altas, mejoraron significativamente las propiedades químicas del suelo ácido, destacándose en la corrección de la acidez y otros parámetros químicos relevantes para la fertilidad del suelo.

Palabras claves: Enmiendas, Óxido de calcio, Hidróxido de calcio.

ABSTRACT

The objective of this research work was to evaluate the effect of different doses and sources of liming on the chemical properties of an acidic soil, in the district of Calquis, San Miguel – Cajamarca. The study was carried out in the La Totorá hamlet, at an altitude of 3514 meters above sea level, under a temperate climate, with temperatures ranging between 7°C and 20°C, and an average annual precipitation of 800 to 1000 mm. Two sources of lime were used, calcium oxide (CaO) and calcium hydroxide (Ca(OH)₂), at doses of 2, 4 and 6 tn ha⁻¹, under a completely randomized block design (DBCR). The data were analyzed by ANOVA to determine the statistical significance of the treatments on the chemical properties of the soil. The results showed that the application of 6 tn ha⁻¹ of (CaO) was the most effective, increasing the pH to 5.30, the electrical conductivity (0.53 dS/m) and the percentage of exchangeable bases (95.12. %), reducing aluminum and hydrogen to 0.22 and 0.10 Cmol(+)/kg respectively. In addition, the dose of 2 tn ha⁻¹ of (CaO) highlighted by increasing the CEC to 8.67 Cmol(+)/kg, the M.O (6.47%) and the Nitrogen content (0.32%); while 6 tn ha⁻¹ of (Ca(OH)₂) achieved the highest value of available phosphorus (46.62 ppm). Calcium amendments, particularly calcium oxide in high doses, significantly improved the chemical properties of the acidic soil, standing out in the correction of acidity and other chemical parameters relevant to soil fertility.

Keywords: Amendments, Calcium oxide, Calcium hydroxid.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema

El problema de investigación se centra en la existencia de suelos ácidos, un problema que afecta la productividad agrícola a nivel mundial, especialmente en áreas de altura. La acidez del suelo es una limitación importante para la agricultura, ya que influye en las propiedades químicas y biológicas del suelo, afectando el crecimiento de los cultivos y la disponibilidad de nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (Cerde et al., 2022). La producción agrícola global enfrenta el reto de mantener la fertilidad de los suelos, y la acidez representa una barrera significativa en este proceso.

En el ámbito nacional, la acidez del suelo es una de las principales limitaciones para el desarrollo agrícola especialmente en regiones andinas, que albergan una alta concentración de suelos ácidos debido a factores climáticos y geológicos. Este problema no solo compromete la producción agrícola, sino también la estabilidad económica de los agricultores, quienes dependen de sus cultivos para subsistir. Es crucial implementar estrategias de manejo adecuadas para mejorar las características químicas de estos suelos, donde el uso de insumos encalantes se presenta como una solución viable para regular la acidez (Castro y Munevar, 2013).

A nivel local, en el distrito de Calquis, San Miguel - Cajamarca, la situación es compleja. Los agricultores enfrentan una disminución en la productividad agrícola debido a la acidez de los suelos. Este fenómeno afecta la disponibilidad de nutrientes y aumenta la toxicidad de elementos como el aluminio y manganeso, perjudicando el desarrollo de los cultivos. (Bernier et al., 2006; Castillo et al., 2009).

Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis y fuentes de encalado como enmienda para la corrección del pH, contribuyendo a la elección adecuada de insumos y promoviendo un manejo sostenible del suelo.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de las diferentes dosis y fuentes de encalado en las propiedades químicas de un suelo ácido en el distrito de Calquis - San Miguel - Cajamarca?

1.3. Justificación

La presente investigación se justifica por varias razones de relevancia científica y práctica. En primer lugar, los suelos tienden a perder su fertilidad con el tiempo debido a diversos procesos naturales y antrópicos, como la erosión, compactación y acidificación, lo que reduce significativamente la productividad agrícola y la calidad de los cultivos. Estas problemáticas afectan la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, lo que hace urgente la búsqueda de mecanismos que ofrezcan soluciones viables para mejorar y mantener la fertilidad de los suelos.

En segundo lugar, el uso de enmiendas calcáreas, como el encalado, ha sido ampliamente estudiado en diferentes partes del mundo, demostrando su efectividad en mejorar la calidad del suelo y aumentar la productividad de los cultivos. Sin embargo, a pesar de los beneficios comprobados, el encalado no ha sido adoptado de manera generalizada en todas las regiones, especialmente en aquellas con suelos ácidos y condiciones agrícolas particulares. Esto resalta la necesidad de investigaciones locales que permitan validar su efectividad bajo condiciones específicas, como las del distrito de Calquis, San Miguel – Cajamarca.

Finalmente, la importancia actual que se le otorga a la calidad del suelo en la agricultura moderna se centra en mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. En este contexto, el encalado se plantea como una estrategia clave para corregir la acidez de los suelos, optimizar su productividad y garantizar la sostenibilidad agrícola en la región, contribuyendo a mejorar la economía de los agricultores locales y la eficiencia en la producción de cultivos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes dosis y fuentes de encalado en las propiedades químicas de un suelo ácido, en el distrito de Calquis - San Miguel - Cajamarca.

1.4.2. Objetivos específicos

Evaluar el efecto de las diferentes dosis de Óxido de calcio e Hidróxido de calcio en el pH, la concentración de aluminio, hidrógeno y la conductividad eléctrica en un suelo ácido, en el distrito de Calquis - San Miguel - Cajamarca.

Determinar el efecto de las diferentes dosis de Óxido de calcio e Hidróxido de calcio en los niveles de nitrógeno, fósforo y óxido de potasio en un suelo ácido, en el distrito de Calquis - San Miguel - Cajamarca.

Analizar el efecto de las diferentes dosis de Óxido de calcio e Hidróxido de calcio en las bases cambiables y la capacidad de intercambio catiónico en un suelo ácido, en el distrito de Calquis - San Miguel - Cajamarca.

Evaluar el efecto de las diferentes dosis de Óxido de calcio e Hidróxido de calcio en la materia orgánica en un suelo ácido, en el distrito de Calquis - San Miguel - Cajamarca.

1.5. Hipótesis

La aplicación de Óxido de calcio e Hidróxido de calcio mejora las propiedades químicas de un suelo ácido, en el distrito de Calquis - San Miguel - Cajamarca.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

A nivel Internacional

Alemu et al. (2022), evaluaron el efecto de diferentes tasas de cal determinadas a través de diferentes métodos de determinación de la tasa de cal en las propiedades químicas del suelo seleccionadas y el rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) en suelos ácidos. Para el experimento se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar (RCBD) con cuatro repeticiones, el estudio aplicó cada tratamiento a una dosis de 3,5 t ha⁻¹. Los resultados indicaron que. El encalado mostró una diferencia significativa positiva en pH el mismo que pasó de 4.85 (muy fuertemente ácido) a 6.21 (ligeramente ácido), por otro lado, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) pasó de 21,85 a 25,41 cmol kg⁻¹, respectivamente, las bases cambiabiles pasaron de 48,08 % a 64,20 %, respectivamente. Sin embargo, no mostró ninguna diferencia significativa en el C y N del suelo. Los rendimientos de grano y biomasa aérea del maíz tuvieron diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados indicaron que los rendimientos más altos de grano y biomasa (7719 y 18180.6 kg ha⁻¹, respectivamente) se obtuvieron de la aplicación de 3,5 t ha⁻¹ de cal, mientras que los más bajos fueron: 6,479 y 15,004.6 t ha⁻¹, respectivamente, los mismos que se obtuvieron del tratamiento de control (testigo).

Cerda et al. (2022), evaluaron el Manejo agronómico de la acidez y aluminio en suelos de plantaciones de café, *coffea arabica*. Para el experimento se empleó un diseño experimental en parcelas divididas en bloques al azar, con ocho tratamientos (T1 Cal dolomita con yeso, T2 Cal dolomita sin yeso, T3 Hidróxido de calcio sin yeso, T4 Hidróxido de calcio con yeso, T5

Cal agrícola con yeso, T6 Testigo absoluto (sin enmienda), T7 Testigo relativo y T8 Cal agrícola sin yeso) todos con dosis de 200 g por planta y cuatro repeticiones. Los resultados indicaron que el hidróxido de calcio redujo el aluminio de 1,350 Cmol(+)/kg a 0,617 Cmol(+)/kg, la cal agrícola también redujo el aluminio de 1,350 Cmol(+)/kg a 0,65 Cmol(+)/kg. el tratamiento de cal dolomita con yeso fue el más eficiente en reducir el aluminio quien alcanzó un valor de 0,567 Cmol(+)/kg, en cuanto al pH el tratamiento que dio mejor resultado fue la cal dolomita más yeso y cal dolomita sin yeso alcanzando valores de 4,927 y 4,907 respectivamente; mientras que el hidróxido de calcio y la cal agrícola alcanzaron valores de 4,720 y 4,623 respectivamente, siendo superiores al testigo con un valor de 4,317. En lo que se refiere a la CIC el hidróxido de calcio mejoro de 3,687 Cmol(+)/kg a 4,480 mientras que la cal agrícola llevo a un valor de 4,147, siendo el tratamiento más efectivo la cal dolomita con yeso alcanzando 5,834 Cmol(+)/kg.

López (2018) en su investigación, Evaluó el efecto del encalado y fertilización química en plantas de café establecidas en un suelo con problema de acidez. Para el experimento se empleó un diseño experimental de bloques al azar (DBA) con cinco repeticiones, el estudio aplico cal dolomita a una dosis de 0,5 t ha⁻¹, Fertilización (nitrógeno 30 g por planta y fósforo 28 g por planta); la aplicación fue junta de cal dolomita y fertilización. Los resultados indicaron que el efecto en las enmiendas de los tratamientos, evidenciaron que el suelo pasó de una situación de fuertemente ácido (pH de 4.8) a moderadamente ácido (pH de 5.5) por el efecto del encalado; además, el incremento de pH pudo permitir la precipitación del Al³⁺ como Al(OH)₃ que es un compuesto insoluble, eliminando de esta forma, el efecto tóxico del Al³⁺ en las plantas y la principal fuente de iones H⁺. También se observa que el porcentaje de saturación de Al³⁺ dentro de la CIC se redujo significativamente en los tratamientos donde se aplicó cal, pasando de 20 a 3,5 mEq/100g, y en el caso, del H⁺ se redujo de 7 a 0 Cmol(+)/kg, por otro lado, se observó un aumento significativo en el porcentaje de saturación de la CIC por Calcio

de 24 a 54, mEq/100g de igual manera, se muestra un aumento de la CIC efectiva de 5,84 a 8,38 mEq/100g debido al desalojo del Al^{3+} y aumento de la participación de las bases cambiables de 46% a 69% en los sitios de intercambio.

A nivel Nacional

Chamaya (2019) al realizar su investigación “Efecto de la aplicación de enmiendas cálcicas en el rendimiento de la especie forrajera ray grass (*Lolium perenne*), en el anexo nuevo Olmal, distrito de Sonche, provincia Chachapoyas, región Amazonas”. Con la aplicación de las enmiendas cálcicas de cal agrícola, dolomita y colpar se llegó a corregir el pH del suelo, aumentado de 4.67 a 5.67. La cal agrícola a diferencia de la dolomita tuvo mayor influencia en la corrección del pH, logrando aumentar de 4.67 a 5.55 en suelo. Evidenciando así que la dosis de mayor aceptación fue de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ teniendo mayor influencia en la corrección del PH, ocasionando un incremento de 4.67 hasta 5.42. De igual forma el mayor rendimiento de forraje verde, alcanzando valores de $17,793.3 \text{ t ha}^{-1}$ de FV de rye grass, así mismo, la aplicación de dolomita dio similares resultados. Por otro lado, el rendimiento de materia seca se incrementó hasta 32.67% con la aplicación de cal agrícola a una dosis de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$, mientras que al aplicar dolomita se incrementó hasta 30.93%; en cambio la aplicación de colpar fue insignificante en todas las variables.

A nivel Local

Tasilla (2021) en su investigación titulada “variación de la reacción del suelo a la aplicación de cal de diferente granulometría en la Encañada – Cajamarca” concluyó que: El tratamiento el T9 (2 t ha^{-1} de cal $Ca(OH)_2$ con una granulometría $< 0.3 \text{ mm}$) ha superado a los demás tratamientos después de 02 meses, alcanzando el pH un valor de 6.79, ubicándose dentro del rango de un suelo neutro (6,6 a 7,3). En la medición de los tratamientos hubo alta significación en cada uno de los intervalos de tiempo, el T9 (2 t ha^{-1} de cal $Ca(OH)_2$ con

granulometría < 0.3 mm), subió el pH de 4.1 a 5.57 a los 15 días; 5.69 a los 30 días; 6.61 a los 45 días y 6.79 a los 60 días, superando al resto de tratamientos en cada medición. También hubo alta significación estadística en la dosis de cal a los tratamientos, el tratamiento T9 al que se aplicó (2 t ha⁻¹ de cal Ca (OH)₂ con granulometría < 0.3 mm), superó estadísticamente a los demás tratamientos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Acidez del suelo

En muchas áreas del mundo, la acidez del suelo limita la producción agrícola. El bajo contenido de bases cambiabiles, especialmente calcio; y la toxicidad de aluminio, afectan el crecimiento radicular y la absorción de agua y nutrientes por las plantas, causando una reducción en el rendimiento de los cultivos en los suelos ácidos. La acidificación del suelo es un proceso espontáneo que se da durante la pedogénesis, según (Sumner et al., 1986) citado por (Tasilla, 2021).

La acidez del suelo afecta la movilización y biodisponibilidad de los principales nutrientes como N, P, S y cationes básicos. La acidez del suelo regula la tasa de mineralización de la materia orgánica, reduciendo la cantidad de moléculas orgánicas simples disponibles para una mayor descomposición y eventualmente haciendo que el N y otros elementos constituyentes (P y S) sean solubles (Alexander, 1977; (Chapin et al., 2003; Curtin et al., 1998) citado por (Kunhikrishnan et al., 2016)

2.2.2. Acidificación del suelo

La acidificación del suelo, es uno de los principales problemas que se está evaluando en los sistemas de clasificación de suelos, sea estimado como pH, saturación de bases, o simplemente dominancia de elementos como Al⁺³ y Fe, provocando una limitación en el rendimiento de los cultivos en los suelos ácidos. La acidificación del suelo es un proceso

espontáneo que ocurre durante la formación del suelo. (Sumner et al., 1986) citado por (Tasilla, 2018).

La acidificación del suelo puede acelerarse mediante la agricultura intensiva o prevenirse mediante prácticas de gestión sostenible. La acidificación del suelo en un sistema de producción agrícola gestionado es causada por la transformación de carbono (C), nitrógeno (N) y azufre (S), que libera protones (H^+) a la solución del suelo. La acidificación del suelo disminuye el pH del suelo, provocando efectos adversos sobre las plantas y los microorganismos del suelo. La acidificación, junto con las toxicidades de aluminio, manganeso y hierro, y las deficiencias de fósforo, calcio, magnesio y potasio, pueden provocar una baja fertilidad del suelo. (Kunhikrishnan et al., 2016)

2.2.3. pH

El pH significa potencial de hidrógeno (pondus hydrogenii) y nos da la concentración de hidrógeno en la solución del suelo. Es medido en una escala que va de 1 a 14, donde la mitad es y significa un pH neutro. Cuando el pH es neutro, el contenido de hidrógeno (H^+) en la solución del suelo es igual al contenido de hidróxidos (OH^-). Cuando el pH es menor de siete, el suelo es ácido y, en la mientras que el pH desciende, el suelo va volviéndose aún más ácido. Cuando el pH está por arriba de siete, el suelo es alcalino o básico y se volverá más alcalino en la medida que el pH se incrementa. El valor del pH es un indicador importante para diagnosticar el estado de disponibilidad de nutrientes de las plantas. Aunque las especies de plantas cultivadas varían ligeramente en el pH al que crecen de manera óptima, generalmente se acepta que las plantas utilizan los nutrientes de manera más eficiente cuando el pH del suelo está entre 6,0 y 7,0. (Toledo, 2016).

El pH del suelo puede influir fuertemente en la disponibilidad de nutrientes dependiendo del nutriente específico y la magnitud del cambio de pH. Estas influencias se

analizarán a continuación en cada nutriente específico. El pH óptimo del suelo varía entre 4,5 y 7,5 según el cultivo. Neutralizar la acidez del suelo encalando al 10 % de la CIC generalmente evitará la toxicidad del Al^{+3} . La disminución del pH del suelo en los sistemas de cultivo se atribuye a: el uso de fertilizantes formadores de ácido; eliminación de cultivos y/o lixiviación de cationes que disminuyen el BS; y descomposición de residuos orgánicos. (Hu et al., 2014).

a. pH ácido

Al momento que el pH es reducido por debajo de 5.5, los niveles de acidez son tan altos que nutrientes como el calcio, magnesio, molibdeno y fósforo pueden no estar tan disponibles e inclusive inhibirse para las plantas, las que sufrirán deficiencia nutricional. Además, algunos nutrientes y otros elementos del suelo llegan a tornarse tóxicos para las plantas como el hierro, aluminio y manganeso. Además, y en el caso de muchos de los suelos tropicales con altos contenidos de coloides de carga variable, la acidez causa la pérdida de nutrientes catiónicos (por ejemplo, calcio, magnesio, potasio, amonio) durante el lavado porque en condiciones tan ácidas muchos de los coloides de los suelos se vuelven de carga positiva, siendo incapaces de retener los nutrientes de carga positiva o cationes (debido a que las cargas iguales se repelen). (Toledo, 2016).

b. pH alcalino

En cuanto el pH se incrementa por arriba de 7, volviéndose más alcalino, la disponibilidad de nutrientes como hierro, zinc, boro, manganeso y fósforo se reduce, limitándose fuertemente el crecimiento de las plantas. Especialmente el fósforo es afectado por la condición del pH del suelo. Este nutriente es más aprovechado por las plantas cuando el rango del pH está entre 6 y 6.5. Por sobre y por debajo de este rango, gran proporción del fósforo forma compuestos no absorbibles por las plantas con elementos como el aluminio,

hierro, manganeso y zinc (cuando el pH es ácido) y con calcio (cuando el pH es alcalino). (Toledo, 2016).

2.2.4. Fuentes de acidez

2.2.4.1. Altas precipitaciones

Los suelos ácidos se encuentran predominantemente en áreas de alta pluviosidad. La lixiviación de sales básicas solubles de potasio, calcio, magnesio y sodio de los suelos debido a las intensas precipitaciones deja grandes cantidades de óxidos y silicatos de aluminio, hierro, silicio y manganeso que son insolubles y muy ácidos. Además, la lluvia ácida aumenta su impacto ya que suministra cantidades excedentes de H^+ a los suelos desplazando todos los cationes del suelo, contribuyendo así a la acidez del suelo. (Dubey y Kumar, 2022).

2.2.4.2. Absorción de nutrientes catiónicos

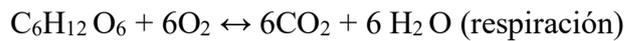
Para absorber nutrientes, las raíces de las plantas y los microorganismos liberan protones en la solución del suelo, que generan protones en las soluciones del suelo cercanas de las raíces (rizosfera) el pH tiende a ser más bajo que el resto del suelo. Esta situación es más intensa si la planta sólo absorbe N en forma de amonio (NH_4^+). Cuando absorbe NO_3 , libera OH^- , de este modo se puede compensar la acidificación de la rizosfera. (Osorio, 2012).

2.2.4.3. Aluminio intercambiable

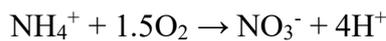
La acidez promueve la presencia de aluminio intercambiable en el suelo, lo que a su vez contribuye a la acidez del suelo. Por tanto, la presencia de aluminio crea una reacción en cadena que acidifica aún más el suelo. Esto se da porque los iones de aluminio (Al^{+3}) desplazados de los 3 minerales arcillosos, se hidrolizan para formar complejos monoméricos y poliméricos hidroxialuminicos, cada una de estas reacciones libera H^+ y contribuyen a la acidez del suelo. (Espinosa & Molina, 1999). Citado por (Sánchez, 2012).

2.2.4.4. Otras fuentes de acidez del suelo

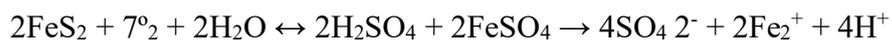
- a. Hidrólisis causada por Fe^{3+} : $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$
- b. Descomposición microbial de la materia orgánica: la actividad respiratoria de los microorganismos del suelo produce ácidos orgánicos y CO_2 . Este último formará posteriormente H_2CO_3 (ácido carbónico):



- c. Oxidación microbial de NH_4^+ a NO_3^- : los microorganismos oxidan amonio para formar nitrato (nitrificación) y con ello generan acidez:



- d. Oxidación microbial de S_2 y sulfuros: las bacterias *Acidithiobacillus thiooxidans* oxidan estos compuestos y forman ácido sulfúrico (H_2SO_4):

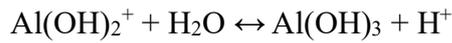
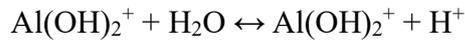
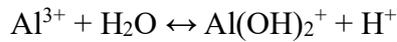


Estas reacciones ocurren en ambientes donde abundan los sulfuros (pirita, calcopirita, galena), las cuales, bajo condiciones aeróbicas (con drenaje), permiten la formación de “suelos sulfatoácidos”. (Osorio, 2012).

2.2.5. Efecto de acidez (H^+ y Al^{3+})

Una vez el Al^{3+} se libera puede causar hidrólisis (rompe las moléculas del agua). Esto ocurre porque el Al^{3+} “atrapa” iones OH^- del agua y deja “libres” los protones (H^+) en la solución del suelo, tal como se ilustra a continuación. Note que cada ion de Al^{3+} puede

reaccionar con tres iones OH^- y deja libres tres protones H^+ . Consecuentemente, el pH de la solución del suelo disminuye.



Parte del Al^{3+} que se libera en la dilución de los aluminosilicatos puede ser retenido en la superficie de las arcillas y los óxidos del suelo. Este Al^{3+} puede pasar desde los sitios de retención hasta la solución del suelo por el proceso de intercambio catiónico, y por eso recibe el nombre de “Al intercambiable”. Esto hace que exista una relación inversa entre el valor de pH y la presencia de Al intercambiable en el suelo. (Osorio, 2012).

2.2.6. Encalado

Históricamente, el encalado es la práctica de manejo más común utilizada para neutralizar la acidez del suelo. La mayoría de las plantas crecen bien en el rango de pH de 5,5 a 6,5 y el objetivo habitual de los programas de encalado es mantener el pH en este rango. El encalado mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a través de su efecto directo en la mejora de la acidez del suelo y a través de sus efectos indirectos en la movilización de nutrientes de las plantas, la inmovilización de metales pesados tóxicos y la mejora de las condiciones físicas del suelo. En suelos de carga variable, el encalado se puede utilizar como herramienta de manejo para manipular la carga superficial, controlando así las reacciones de los iones nutrientes y los metales pesados. El encalado proporciona condiciones óptimas para una serie de procesos biológicos, incluido el N_2 y la mineralización de N, fósforo (P) y S. (Kunhikrishnan et al., 2016).

2.2.7. Fuentes de encalado

2.2.7.1. Óxido de calcio (CaO)

Producto de la calcinación de la roca caliza, constituido en su mayor parte por óxido de calcio (CaO), o bien óxido de calcio asociado con óxido de magnesio (MgO); capaces de reaccionar con el agua exotérmicamente, lo que produce su apagado o hidratación. (García, 2020).

2.2.7.2. Hidróxido de calcio Ca (OH)₂

Polvo seco, obtenido al tratar cal viva con la suficiente agua para satisfacer su afinidad química y provocar su hidratación. Consiste esencialmente en hidróxido de calcio [Ca(OH)₂] o una mezcla de hidróxido de calcio, óxido de magnesio (MgO) e hidróxido de magnesio [Mg(OH)₂]. (García, 2020).

2.2.7.3. Carbonatos o cales agrícolas.

Carbonato de calcio: (CaCO₃). A este material se le denomina “caliza” y tiene un equivalente de óxido de calcio (CaCO) entre 24 % y 38 %. Se obtiene a partir de las rocas calizas, de la cual forma parte en proporciones entre 60 % y 96 %. El producto empacado puede llevar cierto grado de impurezas como arena, limo y arcilla (Toledo, 2016).

Carbonato doble de calcio y de magnesio: generalmente conocido como cal dolomítica y su fórmula es CaCO₃ MgCO₃ (Campillo, 2014).

2.2.7.4. Dolomita

La dolomita es una enmienda conformada por calcio y magnesio (CaCO₃ MgCO₃). En su pureza, este encalante presenta un 21.6% de Ca y 13.1% de Mg. (García, 2020).

2.2.7.5. Óxido de magnesio

Este material está compuesto solo por magnesio (60 %) obtenido a partir de la roca magnesita. Además de ser fuente de magnesio, es ideal para usarse como enmienda para mejorar los suelos ácidos, ya que tiene una capacidad de neutralización de la acidez alta. Se considera que el poder neutralizante del MgO es diecinueve puntos mayor que el CaCO₃, por lo que, si el CaCO₃ tiene 100 % de poder neutralizante, el del MgO es del 119 % (Toledo, 2016).

2.2.7.6. Magnesita

Es un material a base de carbonato de magnesio (MgCO₃), que en su forma pura contiene aproximadamente un 28 % de Mg (Bernier et al., 2006).

2.3. Definición de términos

Acido. - En el año de 1923, J. N. Bronsted y Thomas Lowry definen los ácidos como sustancias donadoras de protones (iones hidrogeno). (Jiménez et al., 2015).

Hidrólisis. - Es el reemplazamiento de cationes en la estructura de los silicatos primarios, por los iones de hidrógeno desde la solución suelo y llegando a la completa descomposición de los minerales (Navarro, 2003) citado por (Tasilla, 2021).

Suelos ácidos. - Los suelos ácidos hacen referencia a aquellos que contienen un pH de valor inferior a 5,5 durante la mayor parte del año. Están asociados con un número de toxicidades (Aluminio) y deficiencias (Molibdeno) y otras condiciones restringentes para las plantas. (Nastacuas, 2022).

Encalado. - El encalado es la práctica más comúnmente prescrita para aliviar la acidez de la capa superficial del suelo y mejorar la producción de cultivos. (Fageria y Nascente, 2014).

pH. - El pH significa potencial de hidrógeno (pondus hydrogenii) y nos da la concentración de hidrógeno en la solución del suelo. Mediante una escala numérica de 1 a 14, donde la mitad significa un pH neutro. Cuando el pH es neutro, el contenido de hidrógeno (H^+) en la solución del suelo es igual al contenido de hidróxidos (OH^-). Cuando el pH es menor de siete, el suelo es ácido y cuando el pH está por arriba de siete, el suelo es alcalino o básico. (Toledo, 2016).

Granulometría. - la fineza de las partículas individuales de la cal determina su velocidad de reacción. A medida que se reduce el tamaño de la partícula de cualquier material de encalado se aumenta el área o superficie de contacto (Molina, 1998) citado por (Tasilla, 2021).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

El trabajo de investigación se realizó en el caserío de la Titora, distrito de Calquis provincia San Miguel, de la región Cajamarca a una altitud de 3514 m.s.n.m. cuyas coordenadas UTM son: 732376 Este y 9230653 Norte (figura 1). Con temperaturas entre 11 y 21 °C, humedad relativa promedio de 84,08 % y una precipitación promedio de 65,08 mm (tabla 1), en todo el tiempo de estudio.

El experimento se realizó en un área de 285.60 m² de terreno. Se instaló en campo con suelo ácido, al mismo que se le dio la preparación agrotécnica correspondiente y se agregó dos tipos de cal (óxido de calcio (CaO) e hidróxido de calcio Ca (OH)₂) con dosis de (2 t ha⁻¹, 4 t ha⁻¹ y 6 t ha⁻¹).

Tabla 1

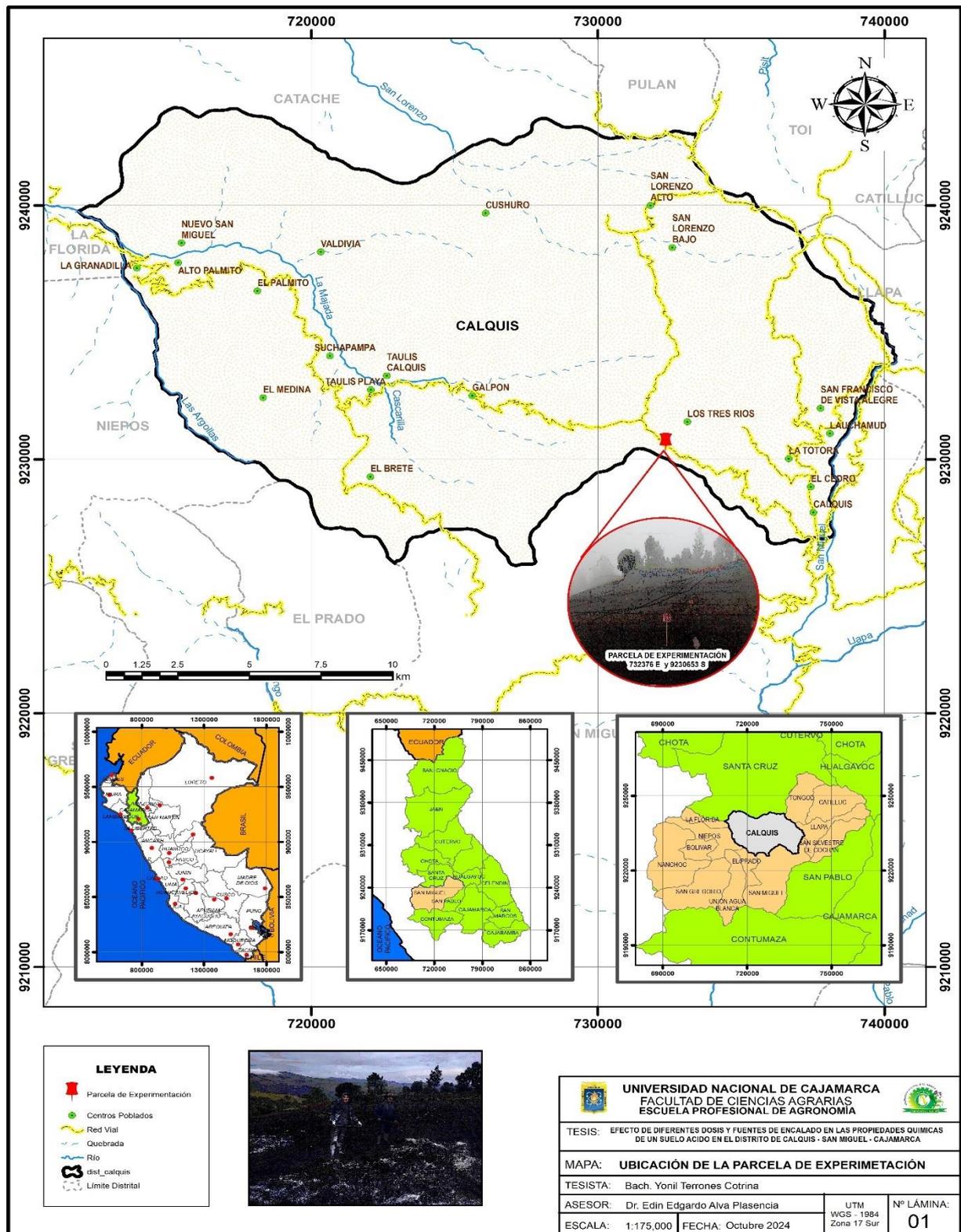
Datos meteorológicos registrados durante el periodo de investigación (febrero - junio 2024)

Factores meteorológicos	Meses				
	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Precipitación (mm)	141,8	77,2	64,3	32,4	9,7
Humedad Relativa (%)	88,93	85,69	87,41	82,71	75,7
Temperatura Mínima (°C)	11,08	11,08	11,15	11,17	10,04
Temperatura Máxima (°C)	19,29	19,79	19,32	20,44	21,29

Fuente: SENAMHI/DRD, 2024.

Figura 1

Ubicación del área experimental.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.2. Material experimental

3.2.1. Material biológico

El suelo

Cal

3.2.2. Materiales de escritorio

Lapiceros

Lápiz

Tajador

Borrador

Regla

Plumón indeleble

Cinta de embalaje

Hojas bond

3.2.3. Materiales de campo

Libreta de campo

Estacas de madera

Letreros

Rafia

Picota

Wincha

Bolsas de polietileno

Bolsas herméticas de plástico

Etiquetas

3.2.4. Equipos

Cámara digital

Computadora

Tamiz

Balanza electrónica

Estufa

GPS

Laboratorio de análisis de suelos.

3.3. Metodología

El trabajo de investigación se realizó entre los meses de febrero y junio del año 2024, la instalación del experimento se realizó en campo, en un suelo ácido al cual se realizó las labores agrotécnicas correspondientes y posteriormente se aplicó dos fuentes de cal: Óxido de calcio (CaO) e Hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con una dosis de (2 t ha^{-1} , 4 t ha^{-1} y 6 t ha^{-1}) según la ubicación de los tratamientos.

Tabla 02*Muestra inicial del suelo*

ANÁLISIS QUÍMICO									
pH	CE	Materia	N	P	K ₂ O	Al	H	CIC	Bases
		Orgánica							Cambiables
	dS/m	M.O.	total	disponible	Aluminio	Hidrógeno			
1:1	1:1	%	%	ppm	ppm	(Cmol(+)/kg)			%
4,08	0,34	5,13	0,292	22,013	133,17	2,95	3,64	6,50	44,41

Fuente: Universidad Nacional Agraria de la Selva, Laboratorio de Análisis de suelos, Agua y Ecotoxicología

El presente análisis muestra un suelo ácido con un pH de 4,08 y alta concentración de iones de hidrógeno (3,64 Cmol(+)/kg) y aluminio (2,95 Cmol(+)/kg), factores que pueden limitar la disponibilidad de nutrientes. La conductividad eléctrica es baja (0,34 dS/m), por lo que afecta el crecimiento de las plantas, la materia orgánica (5,13%) es adecuada para la estructura del suelo, con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 6,5 Cmol(+)/kg. El nitrógeno total (0,292%) es aceptable, aunque el fósforo (22,013 ppm) y potasio disponible (133,17 ppm) podrían no ser suficientes para algunos cultivos. Las bases cambiables representan el 44,41% de la CIC, lo que sugiere una disponibilidad limitada de nutrientes y la posible necesidad de encalado para reducir la acidez y mejorar la fertilidad.

3.3.1. Diseño estadístico

La Investigación se realizó mediante un Diseño de Bloques Completamente Randomizados (DBCR), el cual consta de 07 tratamientos y 03 repeticiones.

3.3.2. Instalación del experimento

3.3.2.1. Delimitación del área de estudio

Consistió en delimitar un área de 285.60 m² (21 m x 13.60 m), con una cinta métrica y asegurando estacas de madera en cada punto correspondiente. cada repetición consta de 07 tratamientos y cada tratamiento de un área de 12 m²(3 m de ancho por 4 m de largo).

3.3.2.2.Limpieza del área de estudio

Luego de la delimitación se procedió con la limpieza del área de estudio, sacando vegetación y piedras, que se encontraban en la superficie del área delimitada.

3.3.2.3. Diseño del área de estudio

Se procedió con el diseño de tres repeticiones con siete tratamientos cada uno, los mismos que tienen medidas de; 3 m de ancho por 4 m de largo, entre repeticiones, hay una calle de 0.80 m de ancho.

Figura 2

Distribución de tratamientos en el área experimental

Bloques	Tratamientos						
I	T3	T0	T2	T5	T1	T6	T4
II	T6	T1	T4	T0	T2	T3	T5
III	T2	T5	T1	T3	T6	T4	T0

3.3.2.4. Muestreo

A la muestra inicial del suelo se evaluó para tener un resultado con el cual se pueda comparar los posteriores resultados de los análisis y verificar la reacción y la variación del suelo con respecto a la dosis y fuente de cal.

3.3.2.5. Preparación del campo experimental.

La preparación del área experimental inició con las labores agrotécnicas correspondientes; como es la capa arable del suelo (30 cm) de profundidad, dejando el suelo bien mullido para posteriormente delimitar los bloques y tratamientos, utilizando rafia.

3.3.2.6. Aplicación de la cal

Una vez concluida la preparación de las unidades experimentales se realizó la aplicación de cal en los diversos tratamientos y según las dosis y fuente que le corresponda.

T0: Testigo.

T1: 2 t ha⁻¹ de Óxido de calcio (CaO).

T2: 4 t ha⁻¹ de Óxido de calcio (CaO).

T3: 6 t ha⁻¹ de Óxido de calcio (CaO).

T4: 2 t ha⁻¹ de Hidróxido de calcio Ca (OH)₂.

T5: 4 t ha⁻¹ de Hidróxido de calcio Ca (OH)₂.

T6: 6 t ha⁻¹ de Hidróxido de calcio Ca (OH)₂.

La aplicación de los insumos Óxido de calcio (CaO) e Hidróxido de calcio Ca (OH)₂ a cada uno de los tratamientos se realizó el día 15 de febrero del 2024.

3.3.2.7. Evaluaciones realizadas

El método de evaluación consistió en sacar muestras de suelo de cada tratamiento mensualmente, dichas muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para su análisis correspondiente. Los resultados fueron procesados estadísticamente, es como sigue en la tabla 3.

Tabla 3*Fecha de evaluación de tratamientos.*

EVALUACIÓN	FECHA
Primera evaluación	15 de marzo del 2024.
Segunda evaluación	15 de abril del 2024.
Tercera evaluación	15 de mayo del 2024.
Cuarta evaluación	15 de junio del 2024.

Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.3.2.8. Tratamientos**Tabla 4***Representación de dosis y fuentes de insumos: Óxido de calcio (CaO) e Hidróxido de calcio (Ca (OH)₂)*

Código	Tratamientos	Fuente
T0	Testigo	
T1	2 t ha ⁻¹	(CaO)
T2	4 t ha ⁻¹	(CaO)
T3	6 t ha ⁻¹	(CaO)
T4	2 t ha ⁻¹	Ca (OH) ₂
T5	4 t ha ⁻¹	Ca (OH) ₂
T6	6 t ha ⁻¹	Ca (OH) ₂

Fuente: Elaboración propia, 2024.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evolución del pH en el suelo (120 días)

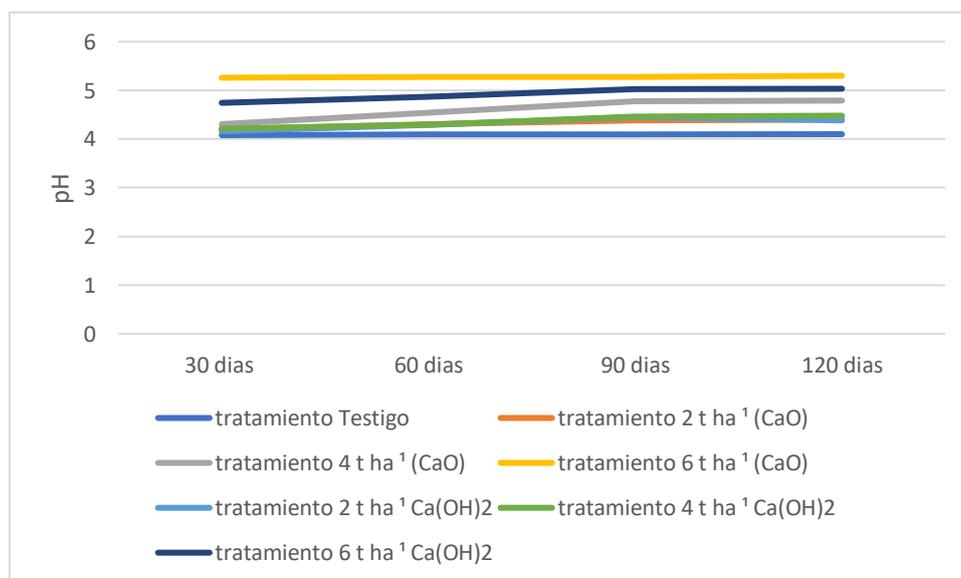
Tabla 5

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el pH del suelo ácido en Calquis - San Miguel - Cajamarca.

Frecuencia de evaluación (Días)	CaO (t ha ⁻¹)			Ca(OH) ₂ (t ha ⁻¹)			Testigo
	2	4	6	2	4	6	
30	4,20	4,31	5,26	4,16	4,21	4,74	4,08
60	4,31	4,54	5,28	4,29	4,29	4,87	4,09
90	4,39	4,78	5,28	4,45	4,47	5,02	4,09
120	4,40	4,79	5,30	4,46	4,48	5,03	4,10

Figura 3

Tendencia del pH del suelo ácido por efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en Calquis - San Miguel – Cajamarca.



Los resultados de la Tabla 5 y de la Figura 3, muestran que ambos tipos de cal tuvieron un impacto positivo en la reducción de la acidez del suelo, aunque con patrones diferentes.

Para la cal viva, la dosis de 6 t ha⁻¹ generó el aumento más significativo, elevando el pH de 4,08 a 5,30 a lo largo del estudio. Las dosis de 2 y 4 t ha⁻¹ también mostraron incrementos sustanciales, alcanzando valores de 4,40 y 4,79 respectivamente al final del período.

En cuanto a la cal apagada, se observó un efecto más gradual pero constante. La dosis de 6 t ha⁻¹ resultó ser la más efectiva, aumentando el pH de 4,08 a 5,03 durante el transcurso del experimento. Las dosis menores también contribuyeron a la reducción de la acidez, aunque en menor medida.

Con el testigo se obtuvo una estabilidad notable a lo largo del periodo de estudio. El pH del suelo sin tratamiento se mantuvo relativamente constante, variando mínimamente de 4,08 a 4,10 durante los 120 días. Este resultado obtenido con el testigo confirma la persistencia de la acidez en ausencia de intervención de la cal, ya sea viva o apagada.

4.2. Análisis del pH

Tabla 6

Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de (CaO) y Ca(OH)₂ en el pH.

Fuente de variación	Suma de cuadrado	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloques	0.02	2	0.01	0.68	0.5234
Tratamientos	2.58	6	0.43	34.06	<0,0001
Error	0.15	12	0.01		
Total	2.75	20			

CV = 2,40 %

En el análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el efecto de diferentes dosis y tipos de encalado en el pH del suelo (Tabla 6), muestra que el valor de significación (p-valor = 0,5234) obtenido para los bloques es mayor que el 0,05, lo que indica que no existe diferencias entre los bloques con respecto al pH del suelo.

El valor de significación (p-valor = 0.0001) para los tratamientos es menor al 0,05, lo que indica que los tratamientos aplicados tuvieron un efecto en el pH del suelo, es decir, que las diferentes dosis y fuentes de encalado utilizadas en el experimento causaron diferencias significativas en el pH del suelo.

El coeficiente de variación (CV) es igual a 2,40 %, el cual indica que la variabilidad de los resultados del pH dentro de cada tratamiento es baja. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad del pH.

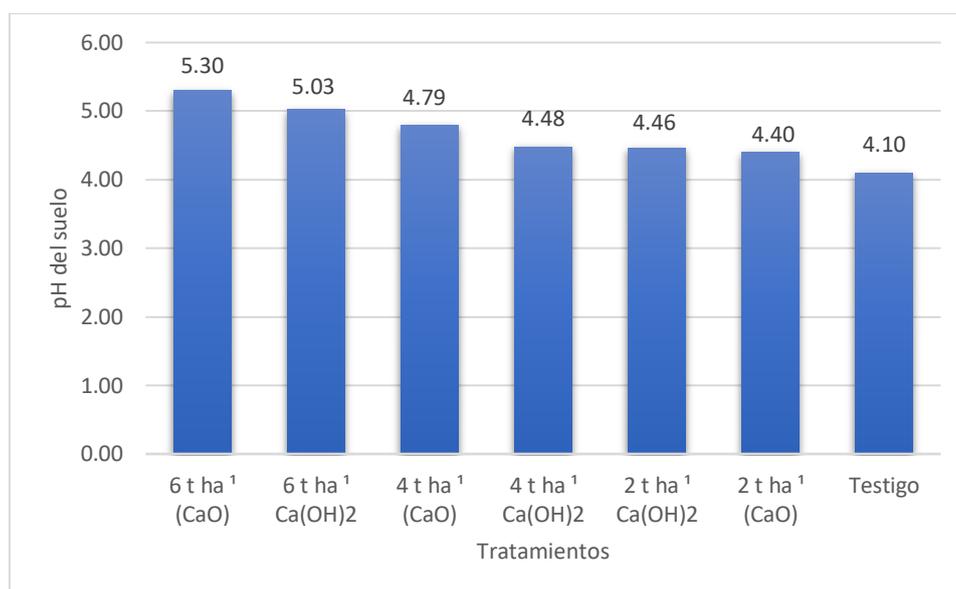
Tabla 7

Prueba de Tukey para el pH del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Tratamiento	pH	Agrupación
6 t ha ⁻¹ (CaO)	5,30	A
6 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	5,03	AB
4 t ha ⁻¹ (CaO)	4,79	BC
4 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	4,48	CD
2 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	4,46	D
2 t ha ⁻¹ (CaO)	4,40	D
Testigo	4,10	E

Figura 4

pH promedio alcanzado por efecto de (CaO) y (Ca(OH)₂)



La prueba de Tukey sobre el efecto del encalado en el pH del suelo (tabla 7 y figura 4), mostró que la aplicación de 6 t ha⁻¹ de cal viva (CaO) alcanzó un pH de 5,30, ubicado en la agrupación A, siendo mayor que el testigo. Este resultado confirma que la cal viva en esta dosis mejora el pH del suelo, haciéndolo menos ácido. El tratamiento con 6 t ha⁻¹ de cal apagada Ca(OH)₂ presentó un pH de 5,03, agrupado en AB, con un efecto positivo, pero menor que la cal viva.

El tratamiento de 4 t ha⁻¹ de cal viva elevó el pH a 4,79, agrupado en BC, mostrando que dosis menores también son efectivas, aunque con menor impacto. El tratamiento con 4 t ha⁻¹ de cal apagada presentó un pH de 4,48 en la agrupación CD, siendo menos efectivo que la cal viva.

Las dosis más bajas, 2 t ha⁻¹ de cal apagada y viva, generaron pH de 4,46 y 4,40, respectivamente, ambos en la agrupación D, lo que indica que no hubo un aumento significativo del pH en comparación con el testigo. El testigo tuvo un pH de 4,10, sin mejora en el pH del suelo.

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la aplicación de cal sin importar el tipo mejora el pH del suelo. De acuerdo con Díaz (2016) los mecanismos de reacción de los materiales de encalado permiten neutralizar los iones H^+ en la solución del suelo por medio de los iones OH^- ; cuando el material entra en contacto con el agua del suelo, los óxidos reaccionan inmediatamente transformándose en hidróxidos y neutralizan la acidez a través de su OH^- . El estudio demostró que 6 t ha^{-1} de cal viva (CaO) es la más efectiva para aumentar el pH del suelo, alcanzando un valor de 5.30, lo que reduce la acidez del suelo en comparación con el tratamiento testigo.

Por otro lado, la aplicación de 6 t ha^{-1} de cal apagada $Ca(OH)_2$ alcanzó un pH de 5,03 contribuyendo también a mejorar el pH del suelo, aunque de manera menos efectiva que la cal viva. Estos resultados son coherentes según hallazgos reportados por Tasilla (2021) quien evaluó la efectividad de la cal apagada (hidróxido de calcio) y observó que una dosis de 2 t ha^{-1} con granulometría fina ($<0.3\text{ mm}$) logró elevar el pH del suelo hasta 6.79, superando a otros tratamientos. Cerda et al. (2022) evaluaron la efectividad de la cal apagada (hidróxido de calcio), observando que mejoró el pH de 4,317 a 4,720. Sin embargo, este estudio muestra que la cal viva es superior.

La aplicación de dosis altas de cal viva resulta ser la opción más eficaz para elevar el pH del suelo y reducir la acidez, estos resultados son respaldados por Chamaya (2019) quien encontró que la cal viva fue más efectiva que otras enmiendas; como la cal dolomita en la corrección del pH del suelo. Como menciona su investigación, un incremento del pH de 4.67 a 5.55 con la aplicación de cal viva, resultado similar al obtenido en este estudio. Esta mayor efectividad de la cal viva podría explicarse por su velocidad de reacción y una mayor concentración de calcio (71% en su forma pura) ya que por ser un óxido, reacciona rápidamente al tener contacto con el agua provocando así una fuerte reacción y liberar rápidamente iones OH^- . (Molina, A., & Alvarado, E., 2014).

Asimismo, López (2018) a pesar de haber utilizado cal a una dosis mucho menor (0,5 t ha⁻¹), también evidenció un incremento en el pH de suelos ácidos, pasando de 4.8 a 5.5. Brady y Weil (2008) indican que la adición de enmiendas calcáreas mejora la estructura química del suelo al desplazar iones de aluminio y aumentar la disponibilidad de cationes como calcio y magnesio. De esta manera contribuir con la corrección del pH en suelos ácidos.

Por otro lado, el estudio realizado por Alemu et al. (2022) muestra que el encalado en suelos ácidos, con una dosis de 3,5 t ha⁻¹, aumentó el pH de 4.85 a 6.21, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este estudio. De igual manera el estudio realizado por Nazar (2015) indica en su estudio que la aplicación de cal viva (CaO) a un suelo ácido con una dosis de 4 t ha⁻¹, aumentó el pH de 3.95 a 5,65. La consistencia de estos resultados con los estudios previos muestra la importancia de las enmiendas cálcicas, particularmente la cal viva, en la corrección de la acidez del suelo.

4.3. Evolución de la conductividad eléctrica en el suelo (120 días)

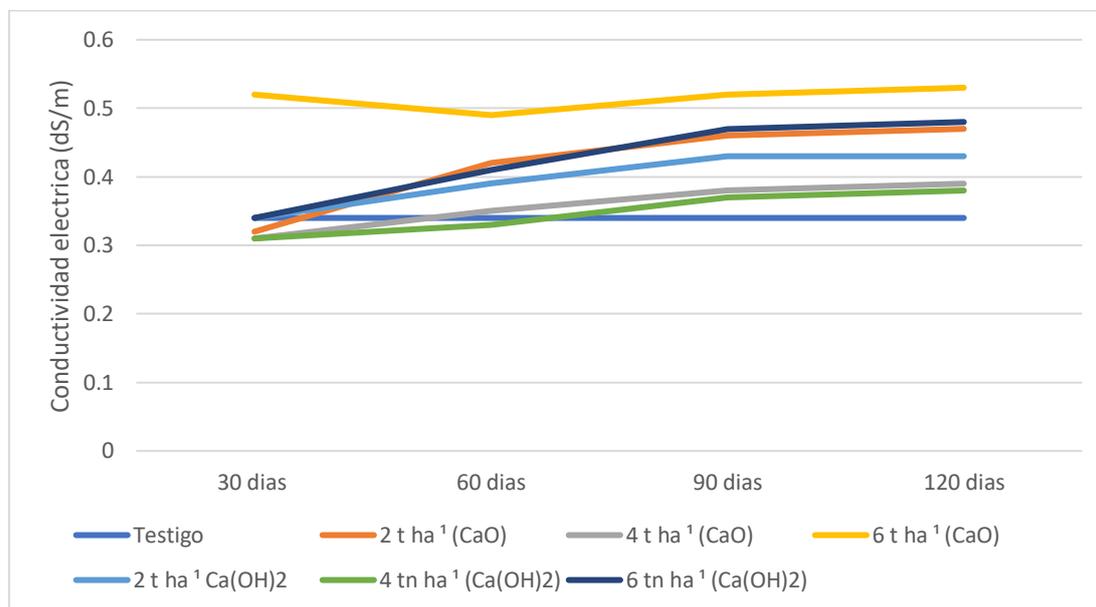
Tabla 8

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada (Ca(OH)₂) en la conductividad eléctrica del suelo ácido en Calquis - San Miguel - Cajamarca.

Frecuencia de evaluación (Días)	CaO (t ha ⁻¹)			Ca(OH) ₂ (t ha ⁻¹)			Testigo
	2	4	6	2	4	6	
30	0,32	0,31	0,39	0,34	0,31	0,34	0,34
60	0,42	0,35	0,49	0,39	0,33	0,41	0,34
90	0,46	0,38	0,52	0,43	0,37	0,47	0,34
120	0,47	0,39	0,53	0,44	0,38	0,48	0,34

Figura 5

Tendencia de la conductividad eléctrica del suelo ácido por efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en Calquis San Miguel – Cajamarca



Los resultados de la Tabla 8 y Figura 5, muestran que ambos tipos de cal tuvieron un impacto en la conductividad eléctrica del suelo, aunque con patrones diferentes según el tipo y la dosis aplicada. Para la cal viva, la dosis de 6 t ha⁻¹ generó el aumento más significativo en la conductividad eléctrica, elevándola de 0,34 dS/m a 0,53 dS/m a los 120 días. Las dosis de 2 y 4 t ha⁻¹ también mostraron incrementos, alcanzando valores de 0,47 y 0,39 dS/m respectivamente al final del período.

En cuanto a la cal apagada, se observó un efecto más moderado, pero igualmente notable. La dosis de 6 t ha⁻¹ resultó ser la más efectiva, aumentando la conductividad eléctrica de 0,34 dS/m a 0,48 dS/m a los 120 días. Las dosis menores también contribuyeron al aumento de la conductividad eléctrica, aunque en menor medida.

En contraste, el tratamiento testigo mostró una estabilidad notable a lo largo del estudio. La conductividad eléctrica del suelo sin tratamiento se mantuvo constante en 0,34 dS/m durante

los 120 días. Esta estabilidad en el testigo resaltó aún más el efecto de los tratamientos con cal en la modificación de la conductividad eléctrica del suelo.

4.4. Análisis de la conductividad eléctrica

Tabla 9

Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de (CaO) y Ca(OH)₂ en la conductividad eléctrica

Fuente de variación	Suma de cuadrado	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloques	0,00027	2	0,00013	2,66667	0,1101
Tratamientos	0,08006	6	0,01334	266,85714	<0,0001
Error	0,0006	12	0,00005		
Total	0,08092	20			

CV= 1,64%

En el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la conductividad eléctrica del suelo (Tabla 9), se observa que el valor de significación (p-valor = 0,1101) es mayor que el valor de significación 0,05, lo cual indica que los bloques no se diferenciaron entre si respecto a la conductividad eléctrica del suelo.

El valor de significación, (p-valor= 0,0001) para los tratamientos es menor al 0,05, lo cual indica que los tratamientos aplicados tuvieron un efecto en la conductividad eléctrica del suelo, es decir, que las diferentes dosis y fuentes de encalado provocaron respuestas distintas en la conductividad eléctrica del suelo.

El coeficiente de variación (CV) es igual a 1,64 %, el cual indica que la variabilidad de los resultados de la conductividad eléctrica dentro de cada tratamiento es baja. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad de la conductividad eléctrica.

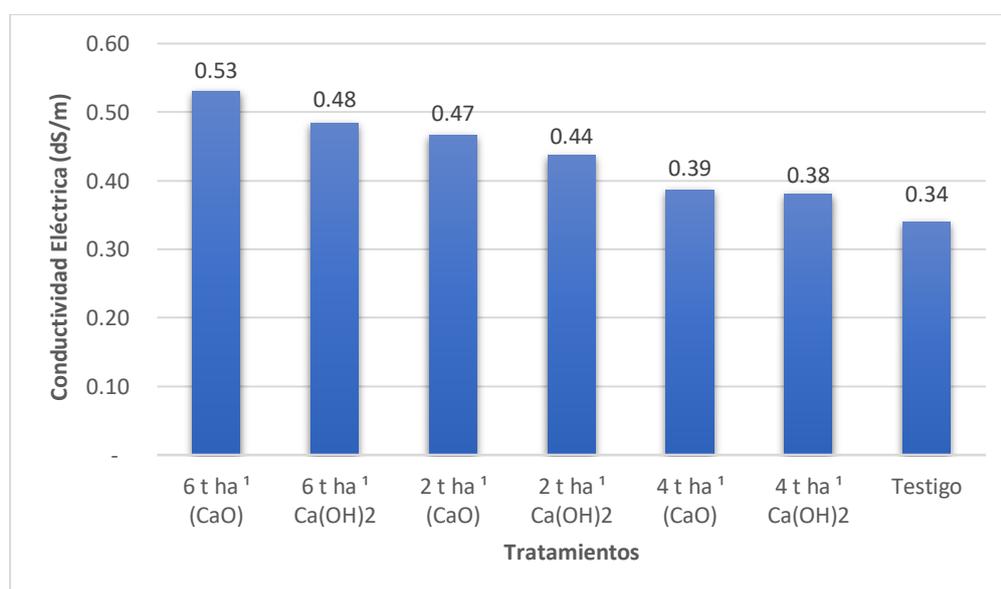
Tabla 10

Prueba de Tukey para la conductividad eléctrica del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Tratamiento	Conductividad Eléctrica (dS/m)	Agrupación
6 t ha ⁻¹ (CaO)	0,53	A
6 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	0,48	B
2 t ha ⁻¹ (CaO)	0,47	B
2 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	0,44	C
4 t ha ⁻¹ (CaO)	0,39	D
4 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	0,38	D
Testigo	0,34	E

Figura 6

Conductividad eléctrica promedio alcanzado por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂



La prueba de Tukey (Tabla 10 y figura 6), mostró que el tratamiento con 6 t ha⁻¹ de cal viva (CaO) obtuvo la mayor conductividad eléctrica del suelo, con una media de 0,53 dS/m, ubicándose en la agrupación A. Este tratamiento influyó significativamente en la conductividad eléctrica generando resultados distintos al testigo. El tratamiento con 6 t ha⁻¹ de cal apagada

Ca(OH)₂, con una media de 0,48 dS/m en la agrupación B, mostró una diferencia significativa respecto al testigo. De manera similar, el tratamiento con 2 t ha⁻¹ de cal viva (CaO), con una media de 0,47 dS/m en el mismo grupo, también presentó un aumento significativo en comparación con el testigo, aunque menos efectivo que la dosis de 6 t ha⁻¹. Esto se debe a que, a mayor cantidad de cal aplicada, aumentan los iones calcio (Ca²⁺) e hidróxido (OH⁻) en el suelo.

El tratamiento con 2 t ha⁻¹ de cal apagada Ca(OH)₂ registró una media de 0,44 dS/m en la agrupación C, mostrando una diferencia significativa respecto al testigo, aunque inferior a las dosis de cal viva. Por su parte, los tratamientos con 4 t ha⁻¹ de cal viva (CaO) y cal apagada Ca(OH)₂ presentaron medias de 0,39 dS/m y 0,38 dS/m, respectivamente, en la agrupación D, con aumentos menores en comparación con las dosis más altas. A menor cantidad de cal, se liberan menos iones, lo que no es suficiente para alcanzar la máxima conductividad eléctrica en el suelo.

El testigo, con una media de 0,34 dS/m en la agrupación E, evidenció el menor contenido de cationes intercambiables, destacando la importancia del encalado para mejorar esta propiedad del suelo.

Los resultados indicaron que 6 t ha⁻¹ de cal viva (CaO) es el más efectivo para aumentar la conductividad eléctrica del suelo, con un promedio de 0,53 dS/m, siendo superior al testigo con 0,34 dS/m. Con 6 t ha⁻¹ de cal apagada Ca(OH)₂ y el de 2 t ha⁻¹ de cal viva también muestran incrementos significativos en comparación con el testigo, aunque en menor medida. El encalado es crucial para mejorar esta propiedad del suelo, con la cal viva a dosis altas demostrando la mayor eficacia, estos resultados son respaldados por Hernández et al. (2010) observaron que la incorporación de enmiendas calcáreas en suelos ácidos incrementó temporalmente la conductividad eléctrica, debido a la liberación de cationes como Ca²⁺ y Mg²⁺

en la solución del suelo. Estos iones aumentan la concentración total de sales solubles, lo que eleva la conductividad eléctrica.

4.5. Evolución de la materia orgánica en el suelo (120 días)

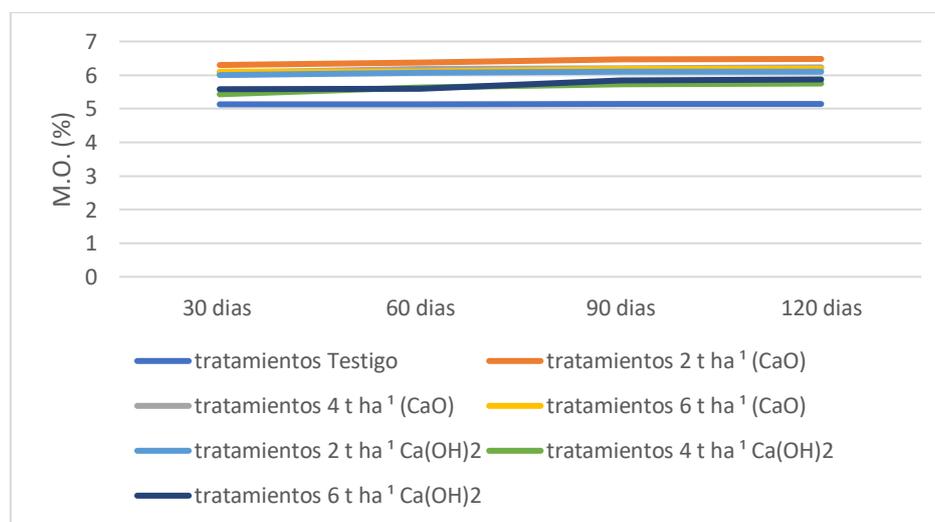
Tabla 11

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en la materia orgánica del suelo ácido en Calquis - San Miguel - Cajamarca

Frecuencia de evaluación (Días)	CaO (t ha ⁻¹)			Ca(OH) ₂ (t ha ⁻¹)			Testigo
	2	4	6	2	4	6	
30	6,30	6,07	6,10	6,00	5,43	5,58	5,13
60	6,38	6,19	6,11	6,07	5,63	5,59	5,13
90	6,47	6,21	6,17	6,10	5,72	5,84	5,13
120	6,47	6,23	6,17	6,11	5,75	5,87	5,13

Figura 7

Tendencia de la materia orgánica del suelo ácido por efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en Calquis - San Miguel – Cajamarca



Los resultados de la Tabla 11 y Figura 7, muestran una tendencia general de ligero aumento en el contenido de materia orgánica a lo largo del tiempo por efecto de la cal. Con cal viva, la dosis de 2 t ha⁻¹ mostró el incremento más notable, pasando de 5,13% a 6,47% a los 120 días. Las dosis de 4 y 6 t ha⁻¹ también presentaron aumentos, aunque menos pronunciados, alcanzando valores de 6,23% y 6,17% respectivamente al final del período.

En cuanto a la cal apagada, se observó un patrón similar de aumento gradual. La dosis de 2 t ha⁻¹ mostró el mayor incremento, pasando de 5,13% a los 30 días a 6,11% a los 120 días. Las dosis de 4 y 6 t ha⁻¹ también presentaron aumentos, llegando a 5,75% y 5,87% respectivamente al final del estudio.

El tratamiento testigo mostró una estabilidad notable a lo largo del estudio. El contenido de materia orgánica del suelo sin tratamiento se mantuvo constante en 5,13 % durante los 120 días. Esto indica que la aplicación de cal, aunque beneficiosa para otras propiedades químicas del suelo, podría haber tenido un efecto inicial de disminución en el contenido de materia orgánica, seguido de una recuperación gradual.

4.6. Análisis de la materia orgánica

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de (CaO) y Ca(OH)₂ en la materia orgánica

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloques	0,00104	2	0,00052	27,25	<0,0001
Tratamientos	3,40546	6	0,56758	29797,75	<0,0001
Error	0,00023	12	0,00002		
Total	3,40672	20			

CV= 0,07 %

En el análisis de varianza (ANOVA) realizado para la materia orgánica (M.O) del suelo (Tabla 12), se observa que el valor de significación (p-valor = 0,0001) es menor que el 0,05, indicando que hay diferencias entre los bloques con respecto a la materia orgánica.

Para los tratamientos el valor de significación, (p-valor = 0,0001) es menor al 0,05, lo que indica que los tratamientos aplicados tuvieron un efecto en la materia orgánica (M.O) del suelo, es decir, que se observaron resultados distintos entre las diversas dosis y fuentes de cal utilizadas.

El coeficiente de variación (CV) es igual a 0,07 %, el cual indica que la variabilidad de los resultados de la materia orgánica (M.O) dentro de cada tratamiento es baja. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad de la materia orgánica.

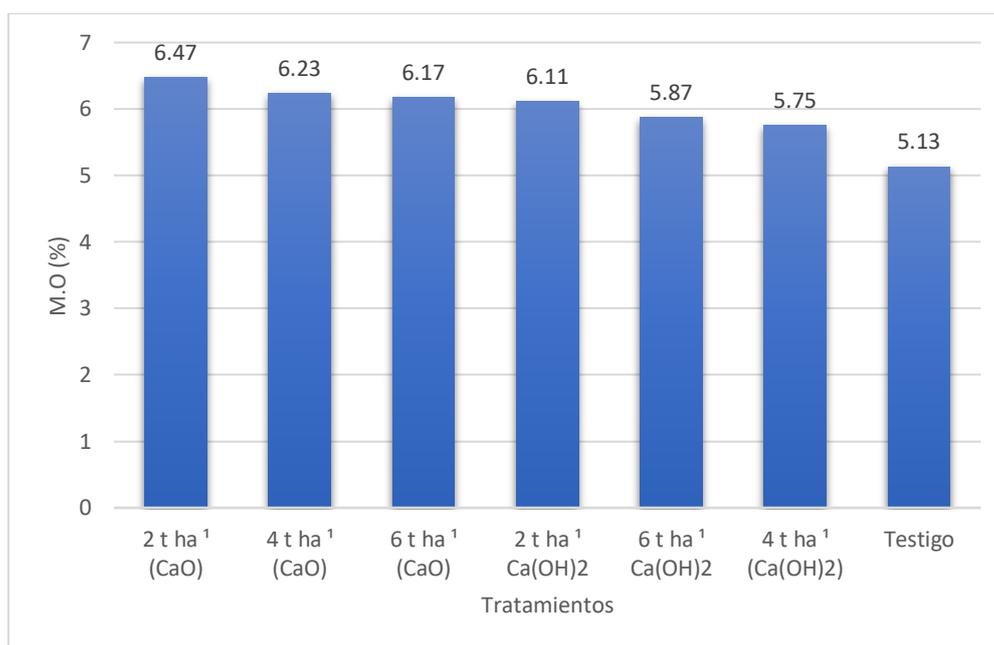
Tabla 13

Prueba de Tukey para la materia orgánica del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Tratamientos	Materia orgánica	
	(%)	Agrupación
2 t ha ⁻¹ (CaO)	6,47	A
4 t ha ⁻¹ (CaO)	6,23	B
6 t ha ⁻¹ (CaO)	6,17	C
2 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	6,11	D
6 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	5,87	E
4 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	5,75	F
Testigo	5,13	G

Figura 8

Materia orgánica promedio alcanzado por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂



La prueba de Tukey realizada (Tabla 13 y Figura 8), muestra que el tratamiento con 2 t ha⁻¹ de (CaO) presentó el mayor porcentaje de materia orgánica 6,47 % y se ubicó en la agrupación A, siendo el más efectivo en comparación con los demás tratamientos y el testigo. El tratamiento con 4 t ha⁻¹ de cal viva (CaO) mostró un 6,23 % de materia orgánica y se encuentra en la agrupación B, también superior al testigo, aunque menos efectivo que la dosis de 2 t ha⁻¹. De otro modo el tratamiento con 6 t ha⁻¹ de cal viva (CaO) presentó un 6,17 % de materia orgánica y pertenece a la agrupación C, evidenciando una disminución en la efectividad con dosis más altas de cal viva. Esto debido a que las dosis elevadas de cal pueden aumentar la toxicidad del suelo, afectando negativamente a microorganismos beneficiosos y reduciendo su capacidad para descomponer la materia orgánica.

El tratamiento con 2 t ha⁻¹ de cal apagada Ca(OH)₂ presentó un 6,11 % de materia orgánica y se encuentra en la agrupación D, superior al testigo pero menos efectivo que los tratamientos con cal viva. El tratamiento con 6 t ha⁻¹ de cal apagada mostró un 5,87 % de

materia orgánica y pertenece a la agrupación E, con baja efectividad comparada con la cal viva. Por otro lado, el tratamiento con 4 t ha⁻¹ de cal apagada tuvo el menor valor de materia orgánica con un 5,75 %, y se encuentra en la agrupación F, el testigo presentó un 5,13 %, encontrándose en la agrupación G.

Los resultados indican que el tratamiento testigo se mantuvo constante presentando un 5,13% de materia orgánica. Esto se debe a que el suelo sigue presentando acidez cambiante y probablemente también han estado sometidos a un amplio y continuo lavado de los cationes intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio) por las altas precipitaciones. (Navarro, 2003). Por otro lado, ambas fuentes y dosis de cal mejoran la materia orgánica del suelo. (Haynes & Naidu 1998), mencionan que, en suelos ácidos, la actividad microbiana suele estar limitada, pero al aumentar el pH con cal, se estimula la mineralización de la materia orgánica. Además, el encalado incrementa la población, tamaño y actividad de las lombrices del suelo, lo que de manera indirecta hace que se mejore la estructura del suelo, aumentando la presencia de macroporos. (Díaz, 2016); Con 2 t ha⁻¹ de (CaO) se obtuvo el mayor porcentaje de materia orgánica 6.47 %. Estos resultados coinciden con (Nazar 2015) quien evaluó la efectividad de la cal viva (óxido de calcio) y observó que una dosis de 4 t ha⁻¹ resultó ser la más efectiva para incrementar la materia orgánica elevándola de 3,11% a 4,02%. Las dosis más altas también incrementaron gradualmente la materia orgánica, pero en menor cantidad que la dosis de 2 t ha⁻¹, esto podría ser causado debido a lo que indica. Tang et al. (2020), encontraron que dosis excesivas de cal pueden reducir la diversidad microbiana del suelo. Esto se debe a la alteración de las condiciones químicas del suelo, como el pH y la disponibilidad de nutrientes. En su estudio, la aplicación de más de 5 t ha⁻¹ de cal disminuyó significativamente la biomasa microbiana en comparación con aplicaciones más moderadas.

4.7. Evolución del nitrógeno en el suelo (120 días)

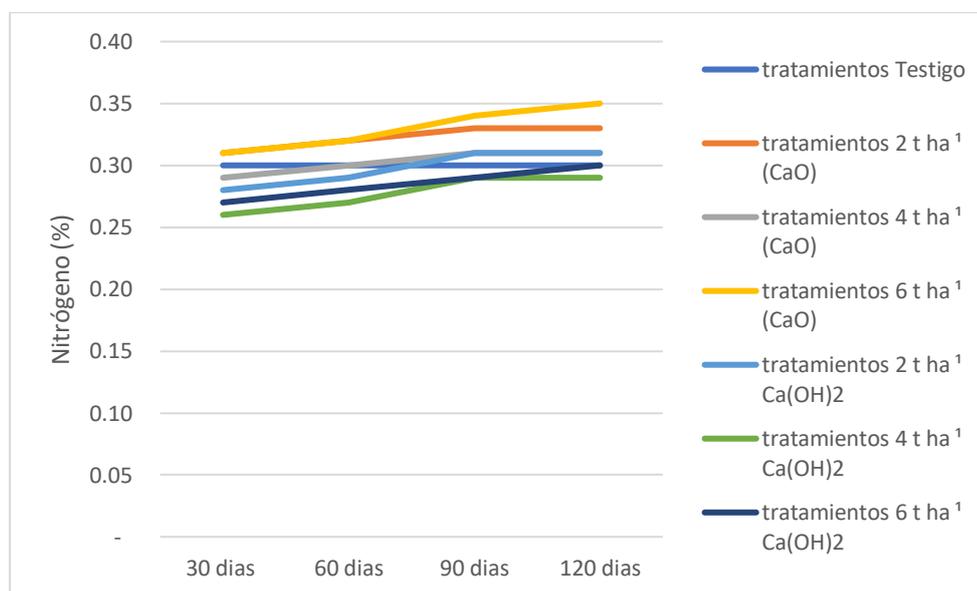
Tabla 14

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el nitrógeno del suelo ácido en Calquis - San Miguel – Cajamarca

Frecuencia de evaluación (Días)	CaO (t ha ⁻¹)			Ca(OH) ₂ (t ha ⁻¹)			Testigo
	2	4	6	2	4	6	
30	0,310	0,295	0,300	0,289	0,269	0,279	0,292
60	0,315	0,303	0,304	0,290	0,275	0,287	0,292
90	0,320	0,312	0,309	0,306	0,287	0,294	0,292
120	0,320	0,312	0,309	0,306	0,287	0,294	0,292

Figura 9

Tendencia del nitrógeno del suelo ácido por efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en Calquis - San Miguel – Cajamarca



Los resultados de la Tabla 14 y Figura 9, muestran una tendencia general de ligero aumento en el contenido de nitrógeno a lo largo del tiempo por efecto de la cal. Con cal viva, la dosis de 2 t ha⁻¹ mostró el incremento más notable, pasando de 0,292% a 0,320% a los 120 días. Las

dosis de 4 y 6 t ha⁻¹ también presentaron aumento, aunque menos pronunciados, alcanzando valores de 0,312% y 0,309% respectivamente al finalizar el periodo.

En cuanto a la cal apagada también se mostró un aumento gradual. La dosis de 2 t ha⁻¹ mostró el mayor incremento pasando de 0,292% a 0,306% a los 120 días. Las dosis de 4 y 6 t ha⁻¹ también presentaron aumentos, llegando a 0,287% y 0,294% respectivamente al finalizar el estudio.

El tratamiento testigo mostro un nivel constante durante todo el periodo de evaluación, el contenido de nitrógeno sin tratamiento se mantuvo en 0,292% durante los 120 días. Esto indica que la aplicación de cal, aunque beneficiosa para algunas propiedades químicas del suelo, podría haber tenido en un inicio disminución en el contenido de nitrógeno, para posteriormente tener una recuperación gradual según las dosis aplicadas.

4.8. Análisis del nitrógeno

Tabla 15

Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de (CaO) y Ca(OH)₂ en el nitrógeno

Fuente de variación	Suma de cuadrado	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloques	0.000001	2	0.0000003	1.3373494	0.299
Tratamientos	0.002888	6	0.0004814	1923.18199	<0,0001
Error	0.000003	12	0.0000003		
Total	0.002892	20			

C.V= 0,16%

En el análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar la concentración de nitrógeno (N) en el suelo (Tabla 15), se observa que el valor de significación (p-valor= 0,2999) obtenido para los bloques es mayor que el 0,05, lo que indica que no existe diferencias significativas entre los bloques respecto al nitrógeno (N).

El valor de significación (p -valor = 0,0001) para los tratamientos es menor al 0,05, lo que indica que los tratamientos aplicados tuvieron un efecto en la concentración de nitrógeno en el suelo, es decir, que las diferentes dosis y fuentes de cal utilizadas causaron diferencias significativas en la concentración de nitrógeno en el suelo.

El coeficiente de variación (CV) es igual a 0,16 %, el cual indica que la variabilidad de los resultados del nitrógeno (N) dentro de cada tratamiento es baja, Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad del nitrógeno.

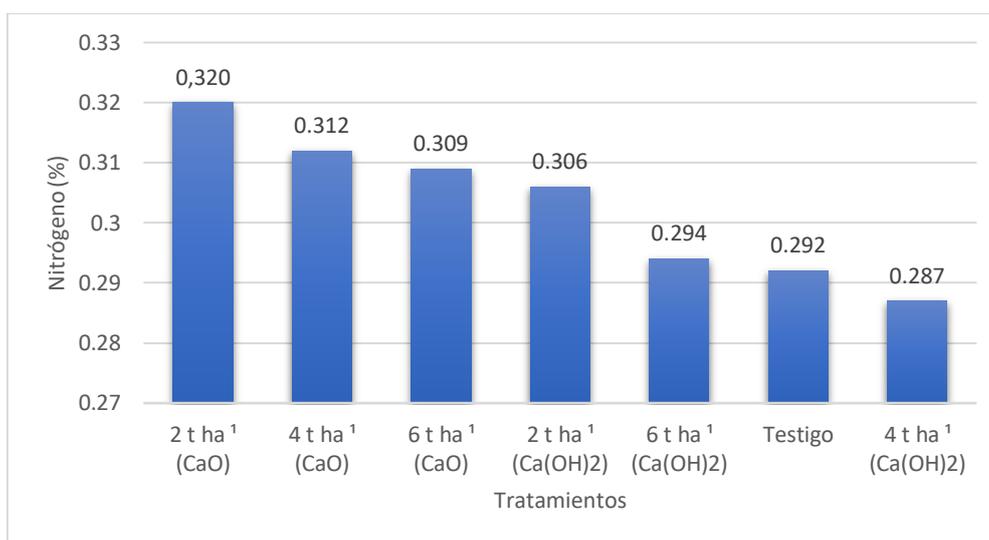
Tabla 16

Prueba de Tukey para la reacción del nitrógeno del suelo por efecto de (CaO) y (Ca(OH)₂)

Tratamiento	Nitrógeno	
	(%)	Agrupación
2 t ha ⁻¹ (CaO)	0,320	A
4 t ha ⁻¹ (CaO)	0,312	B
6 t ha ⁻¹ (CaO)	0,309	C
2 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	0,306	D
6 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	0,294	E
Testigo	0,292	E
4 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	0,287	F

Figura 10

Nitrógeno promedio alcanzado por efecto de (CaO) y (Ca(OH)₂)



La prueba de Tukey (Tabla 16 y Figura 10) revela que el tratamiento con 2 t ha⁻¹ de cal viva (CaO) alcanzó el mayor contenido de nitrógeno en el suelo 0,323 %, perteneciendo a la agrupación A. Esto indica un efecto significativamente mayor en comparación con el testigo. El tratamiento con 4 t ha⁻¹ de cal viva presentó un contenido de nitrógeno de 0,312 %, y se encuentra en la agrupación B. La dosis de 6 t ha⁻¹ de cal viva mostró un promedio de 0,309 % perteneciendo a la agrupación C, siendo significativamente mayor que el testigo, pero con una eficiencia menor que las dosis más bajas.

La dosis de 2 t ha⁻¹ de cal apagada Ca(OH)₂ registró un promedio de 0,306 %, ubicándose en la agrupación D, superando al testigo, pero con menor eficacia que la cal viva. El tratamiento con 6 t ha⁻¹ de cal apagada no resultó efectivo, con un promedio de 0,294 %, quedando en la misma agrupación que el testigo (E), que presentó un 0,292 %. Asimismo, el tratamiento con 4 t ha⁻¹ de cal apagada mostró el menor contenido de nitrógeno, con un 0,287 %, clasificándose en la agrupación F, lo que sugiere un posible efecto negativo en el suelo. Esto podría deberse a la saturación de los sitios de intercambio catiónico, y reduciendo la capacidad del suelo para retener nitrógeno.

Los resultados indican que la aplicación de 2 t ha⁻¹ de cal viva (CaO) tiene el efecto más positivo sobre la concentración de nitrógeno en el suelo, alcanzando un 0,323 %, superando al testigo. Estos hallazgos coinciden con los reportados por Nazar (2015), quien observó que una dosis de 4 t ha⁻¹ de cal viva incrementó el nitrógeno del suelo de 0,20 % a 0,25 %. Aunque dosis mayores, como 4 t ha⁻¹ y 6 t ha⁻¹, también aumentan el contenido de nitrógeno, su eficiencia disminuye conforme aumenta la dosis. El encalado excesivo puede alterar la proporción de nitrógeno con otros nutrientes, ya que la alta concentración de calcio puede interferir con la absorción de nitrógeno y de otros elementos esenciales, como magnesio y potasio (McKenzie et al., 2004). Por otro lado, la aplicación de 4 t ha⁻¹ de cal apagada Ca(OH)₂ reduce la concentración de nitrógeno. Esto podría darse debido a los procesos de nitrificación y emisiones de amoníaco (NH₃), como señalan Kemmitt et al. (2006) y Baggs et al. (2010), donde el encalado puede promover la volatilización de amoníaco, disminuyendo la cantidad de nitrato (NO₃⁻) disponible en el suelo.

4.9. Evolución del fósforo en el suelo (120 días).

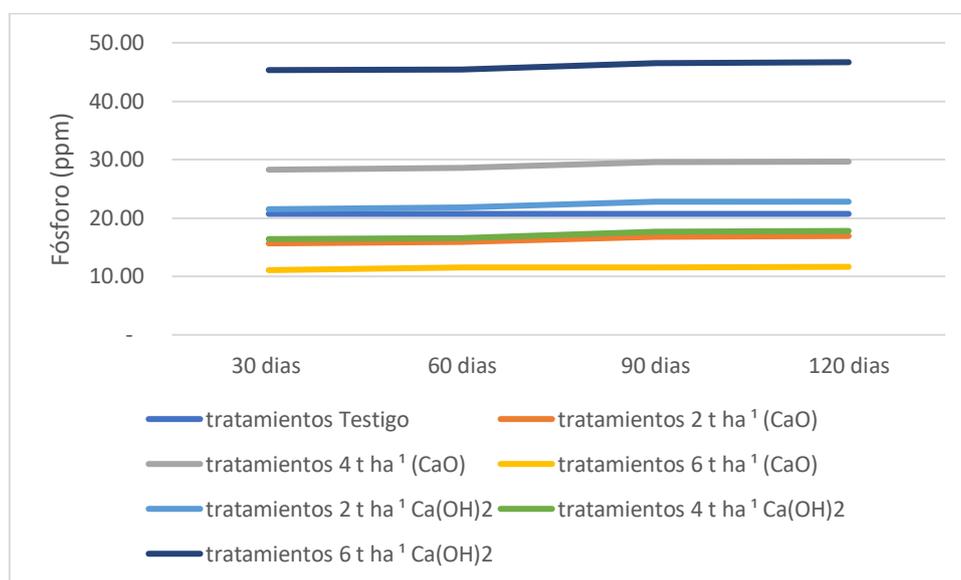
Tabla 17

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el fósforo del suelo ácido en San Miguel - Cajamarca.

Frecuencia de evaluación (Días)	CaO (t ha ⁻¹)			Ca(OH) ₂ (t ha ⁻¹)			Testigo
	2	4	6	2	4	6	
30	15,66	28,27	11,08	21,51	16,40	45,32	22,013
60	15,96	28,57	11,58	21,77	16,60	45,47	22,013
90	16,83	29,57	11,59	22,75	17,67	46,52	22,013
120	16,92	29,64	11,64	22,86	17,77	46,62	22,013

Figura 11

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada (Ca(OH)_2) en el fósforo del suelo ácido en Calquis - San Miguel – Cajamarca



Los resultados de la Tabla 17 y de la Figura 11, muestran que con ambas fuentes de cal hubo ligeros cambios en el fósforo. Con cal viva, la dosis de 4 t ha^{-1} mostró el incremento más notable, pasando de $22,013 \text{ ppm}$ a $29,64 \text{ ppm}$ a los 120 días. Las dosis de 2 y 6 t ha^{-1} también presentaron aumentos, aunque menores, alcanzando valores de $16,92 \text{ ppm}$ y $11,64 \text{ ppm}$ respectivamente al finalizar el estudio.

Con respecto a la cal apagada, se observó que la dosis con 6 t ha^{-1} mostró el mayor incremento pasando de $22,013 \text{ ppm}$ a $46,62 \text{ ppm}$ a los 120 días. La dosis de 2 y 4 t ha^{-1} también presentaron aumentos, llegando a $22,86 \text{ ppm}$ y $17,77 \text{ ppm}$ respectivamente al final del periodo.

El tratamiento testigo mostró una estabilidad notable a lo largo del estudio. El contenido de fósforo del suelo sin tratamiento se mantuvo constante en $22,013 \text{ ppm}$ durante los 120 días. Esto indica que la aplicación de cal, aunque beneficiosa para otras propiedades químicas del suelo, podría haber tenido un efecto inicial de disminución en el contenido de fósforo, seguido de una recuperación gradual según las dosis aplicadas.

4.10. Análisis del fósforo

Tabla 18

Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el fósforo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloques	0.00075	2	0.00038	4.05128	0.0452
Tratamientos	2371.1646	6	395.1941	4255936.5	<0.0001
Error	0.00111	12	0.00009		
Total	2371.1665	20			

CV= 0,040 %

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar la concentración de fósforo (P) en el suelo, como se muestra en la Tabla 18, reveló un valor de significación (p-valor) de 0,0452 para los bloques. Este valor de significación al ser inferior al 0,05, indica que existen diferencias significativas entre los bloques en cuanto a la concentración de fósforo en el suelo, indicando que las diferencias entre bloques influyen significativamente en la concentración de este nutriente.

Asimismo, el p-valor para los tratamientos es 0,0001, significativamente menor que 0,05. Este resultado indica que los tratamientos aplicados han tenido un efecto significativo en la concentración de fósforo en el suelo, es decir, que las distintas dosis y tipos de encalado han provocado resultados distintos en la concentración de fósforo en el suelo, confirmando el impacto de los tratamientos en el parámetro evaluado.

El coeficiente de variación (CV) es igual a 0,040 %, el cual indica que la variabilidad de los resultados del fósforo dentro de cada tratamiento es baja. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad del fosforo.

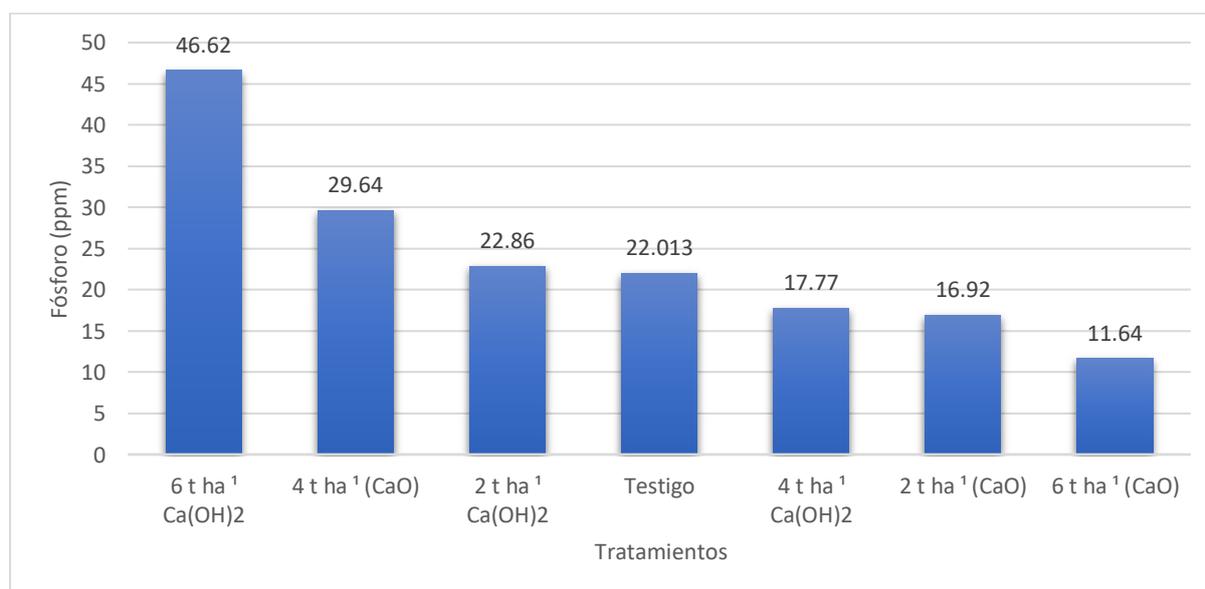
Tabla 19

Prueba de Tukey para la concentración de fósforo del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Tratamientos	Fósforo (ppm)	Agrupación
6 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	46,62	A
4 t ha ⁻¹ (CaO)	29,64	B
2 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	22,86	C
Testigo	22,013	D
4 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	17,77	E
2 t ha ⁻¹ (CaO)	16,92	F
6 t ha ⁻¹ (CaO)	11,64	G

Figura 12

Concentración de fósforo en el suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂



La prueba de Tukey (Tabla 19 y Figura 12) muestra que la aplicación de 6 t ha⁻¹ de hidróxido de calcio Ca(OH)₂ resultó en una concentración de 46,62 ppm de fósforo,

clasificándose en la agrupación A, siendo este valor significativamente mayor que el de los demás tratamientos y el más efectivo para incrementar los niveles de fósforo en el suelo. Esto podría explicarse porque el pH del hidróxido de calcio Ca(OH)_2 es ligeramente menor que el Ph de la cal viva (CaO), lo que podría favorecer una mayor disponibilidad de fósforo en el suelo

La aplicación de 4 t ha^{-1} de cal viva (CaO) y 2 t ha^{-1} de Ca(OH)_2 produjo concentraciones de 29,64 ppm y 22,86 ppm de fósforo, ubicándose en las agrupaciones B y C, respectivamente, ambas superiores al testigo, que registraron 22,013 ppm y se situó en la agrupación D. Estos resultados indican que el Ca(OH)_2 influye en la concentración de fósforo en el suelo, variando en función de la dosis aplicada.

Los tratamientos con 4 tn ha^{-1} de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 y 2 t ha^{-1} de óxido de calcio (CaO), con promedios de 17,77 ppm y 16,92 ppm perteneciendo a la agrupación E y F respectivamente, muestran disminuciones en fósforo en comparación con el testigo. De otra forma, el tratamiento con 6 t ha^{-1} de óxido de calcio (CaO), con un promedio de 11,64 ppm se encuentra en la agrupación G, mostrando la mayor reducción en fósforo, indicando que dosis altas de óxido de calcio pueden ser perjudiciales para los niveles de fósforo en el suelo debido a que la cal viva puede generar un pH elevado, provocando que el fósforo tiende a precipitarse en formas menos solubles, como fosfatos de calcio.

Los resultados demuestran que el encalado mejora la disponibilidad de fósforo en el suelo. Marschner (2012) explica que la aplicación de cal en suelos ácidos aumenta la disponibilidad de fósforo al neutralizar los iones de aluminio (Al) y hierro (Fe), que tienden a fijar el fósforo en formas insolubles. De manera similar, Sumner y Yamada (2002) señalan que el encalado eleva el pH del suelo, lo que reduce la fijación de fósforo por Al y Fe, incrementando la fracción disponible para las plantas. La dosis de 6 t ha^{-1} de hidróxido de

calcio Ca(OH)_2 resultó ser la más efectiva, alcanzando 46,62 ppm de fósforo, superando significativamente al testigo ya otras dosis. Estos resultados son comparables con los de Bari (1964), quien reportó un incremento en la concentración de fósforo de 20 a 31 ppm al aplicar 2,6 t ha⁻¹ de cal. Asimismo, Tang et al. (2006) evaluaron dosis de cal de 1 a 5 t ha⁻¹, incrementando la disponibilidad de fósforo en suelos ácidos de 12 mg/kg a 25 mg/kg. Aunque las dosis menores y otros tratamientos con hidróxido de calcio y óxido de calcio también mostraron mejoras, fueron menos efectivas. Por el contrario, Lim et al. (2000) aplicaron dosis de 0, 2 y 4 t ha⁻¹ de cal, observando que 2 t ha⁻¹ incrementaron el fósforo disponible de 10 mg/kg a 30 mg/kg; Sin embargo, con 4 t ha⁻¹, el fósforo disponible disminuyó a 20 mg/kg, sugiriendo una posible precipitación de fosfato de calcio.

4.11. Evolución del óxido de potasio en el suelo (120 días)

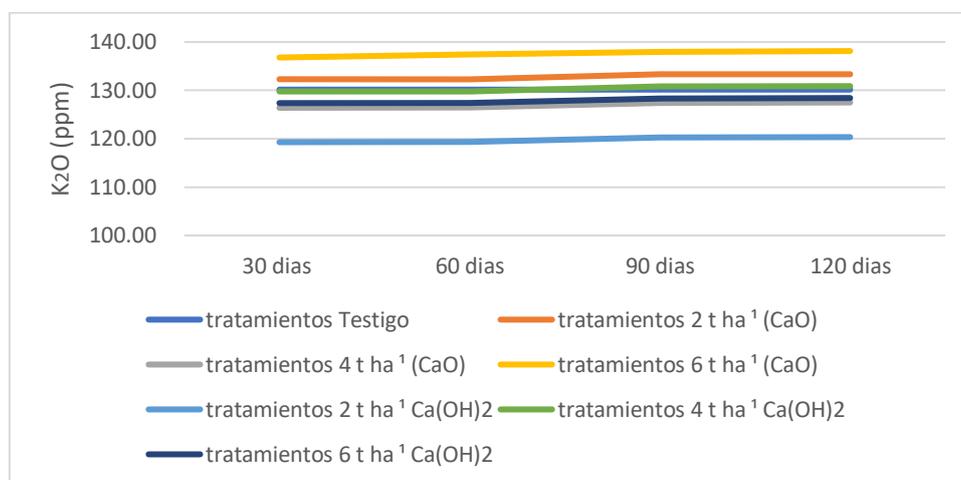
Tabla 20

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)_2 en el óxido de potasio del suelo ácido en San Miguel - Cajamarca

Frecuencia de evaluación (Días)	CaO (t ha ⁻¹)			Ca(OH) ₂ (t ha ⁻¹)			Testigo
	2	4	6	2	4	6	
30	132,31	126,40	136,80	119,29	129,78	127,37	133,17
60	132,33	126,41	136,83	119,31	129,79	127,39	133,17
90	133,32	127,50	136,87	120,29	130,78	128,33	133,17
120	133,41	127,50	136,87	120,39	130,88	128,47	133,17

Figura 13

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el óxido de potasio del suelo ácido en Calquis - San Miguel - Cajamarca



Los resultados de la Tabla 20 y de la Figura 13, muestran que ambos tipos de cal generaron variación en el óxido de potasio. La cal viva, con dosis de 6 t ha⁻¹ mostró el incremento más notable, pasando de 133,17 ppm a 136,87 ppm a los 120 días. Las dosis de 2 y 4 t ha⁻¹ también presentaron aumentos, aunque menores, alcanzando valores de 133,41 ppm y 127,50 ppm respectivamente al finalizar el estudio.

En lo que respecta a la cal apagada, se observó que la dosis con 4 t ha⁻¹ mostró el mayor incremento pasando de 129,78 ppm a los 30 días a 130,88 ppm a los 120 días. La dosis de 2 y 6 t ha⁻¹ también presentaron aumentos, llegando a 120,39 ppm y 128,47 ppm respectivamente al final del periodo.

El tratamiento testigo mostró una estabilidad notable a lo largo del estudio. El contenido de óxido de potasio del suelo sin tratamiento se mantuvo constante en 133,17 ppm durante los 120 días. Esto indica que la aplicación de cal, beneficia a algunas propiedades químicas del suelo, también podría disminuir el óxido de potasio dependiendo de las dosis y tipos de cal aplicadas

4.12. Análisis del óxido de potasio

Tabla 21

Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el óxido de potasio por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloques	0.000695	2	0.000348	0.154661	0.8584
Tratamientos	511.43446	6	85.23908	37924.165	<0.0001
Error	0.026971	12	0.00225		
Total	511.46212	20			

CV= 0,036 %

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar la concentración óxido de potasio (K₂O) en el suelo, como se muestra en la Tabla 21, reveló un valor de significación (p-valor) de 0,8584 para los bloques. Este valor de significación mayor que 0,05, indica que no existen diferencias significativas entre los bloques en cuanto a la concentración de óxido de potasio en el suelo.

Asimismo, el p-valor para los tratamientos es 0,0001, significativamente menor que 0,05. Este resultado indica que los tratamientos aplicados han tenido un efecto significativo en la concentración de óxido de potasio en el suelo, es decir, que las distintas dosis y tipos de encalado han provocado resultados distintos en la concentración de óxido de potasio en el suelo, confirmando el impacto de los tratamientos en el parámetro evaluado.

El coeficiente de variación (CV) es igual a 0,036 %, el cual indica que la variabilidad de los resultados del óxido de potasio dentro de cada tratamiento es baja. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad del óxido de potasio.

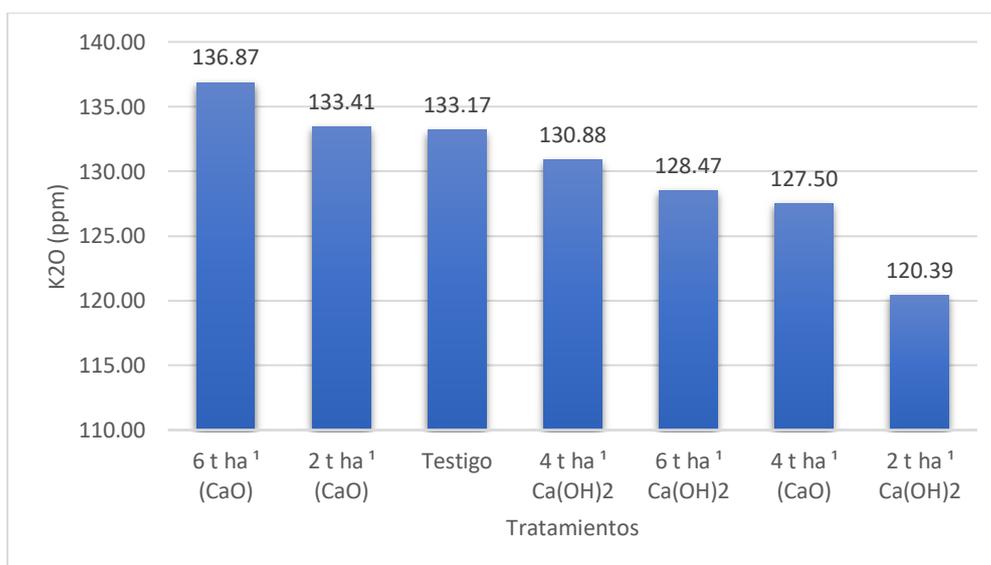
Tabla 22

Prueba de Tukey para la concentración de óxido de potasio del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Tratamientos	Oxido de potasio (ppm)	Agrupación
6 t ha ⁻¹ (CaO)	136,87	A
2 t ha ⁻¹ (CaO)	133,41	B
Testigo	133,17	C
4 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	130,88	D
6 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	128,47	E
4 t ha ⁻¹ (CaO)	127,50	F
2 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	120,39	G

Figura 14

Concentración de óxido de potasio en el suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂



La prueba de Tukey (Tabla 22 y Figura 14) muestra que con 6 t ha⁻¹ de óxido de calcio (CaO) se obtuvo un promedio de K₂O de 136,87 ppm, ubicándose en la agrupación A, siendo

este tratamiento el más efectivo para incrementar los niveles de K_2O en el suelo. Demostrando que dosis más altas de cal pueden mejorar la estructura del suelo y aumentar su capacidad de retención de agua, lo que facilita la disponibilidad de nutrientes, incluido el potasio. Además, al aplicar una mayor cantidad de cal, se pueden liberar cationes de potasio que estaban previamente fijados en el suelo, aumentando así la concentración de óxido de potasio disponible.

Con 2 t ha^{-1} de CaO y 4 t ha^{-1} de $Ca(OH)_2$ se obtuvieron promedios de K_2O de 133,41 ppm y 130,88 ppm, ubicándose en las agrupaciones B y D respectivamente, mostrando un leve aumento y una ligera disminución en comparación con el testigo, que presentó 133,17 ppm de K_2O y se encuentra en la agrupación C.

Los tratamientos con 6 t ha^{-1} de $Ca(OH)_2$ y 4 t ha^{-1} de CaO , con promedios de 128,47 ppm y 127,50 ppm de K_2O , ubicándose en las agrupaciones E y F respectivamente, mostraron disminuciones en comparación con el testigo, indicando baja efectividad. Finalmente, el tratamiento con 2 t ha^{-1} de $Ca(OH)_2$, con un promedio de 120,39 ppm de K_2O , se encuentra en la agrupación G, mostrando la mayor reducción en K_2O , explicando que dosis bajas no proporcionan suficiente cantidad de cal para desencadenar estos procesos.

Los resultados muestran que la aplicación de 6 t ha^{-1} de óxido de calcio (CaO) fue la más efectiva para incrementar los niveles de óxido de potasio (K_2O) en el suelo, alcanzando 136,87 ppm, superando significativamente al testigo y a otras dosis. Estos resultados son similares a los reportados por Nazar (2015), quien observó que el óxido de potasio intercambiable aumentó de 138,08 ppm a 158,13 ppm. Aunque dosis menores y otros tratamientos con hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$ y óxido de calcio (CaO) también muestran ciertos incrementos en los niveles de K_2O , no fueron tan efectivos como la dosis de 6 t ha^{-1} de CaO .

4.13. Evolución del aluminio en el suelo (120 días)

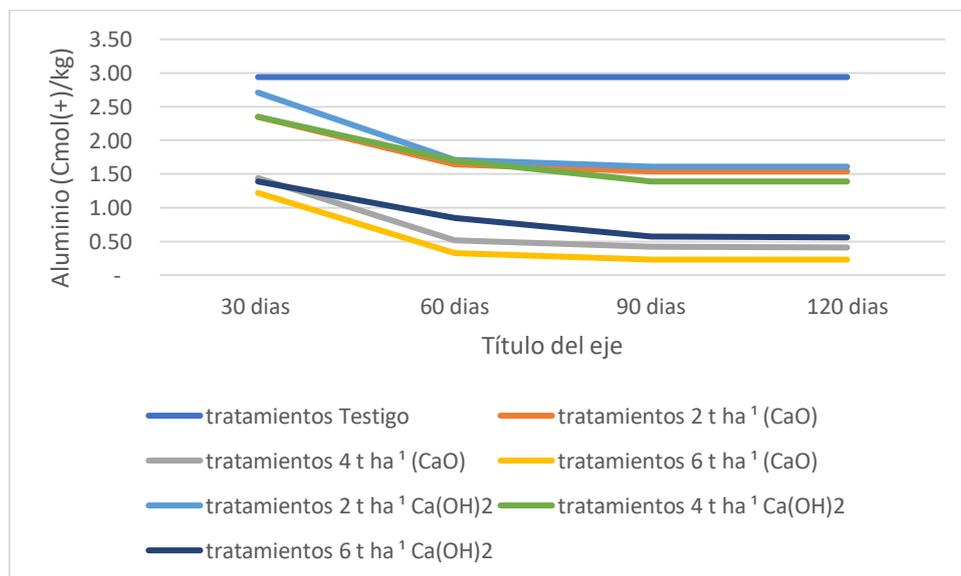
Tabla 23

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el aluminio del suelo ácido en San Miguel - Cajamarca

Frecuencia de evaluación (Días)	CaO (t ha ⁻¹)			Ca(OH) ₂ (t ha ⁻¹)			Testigo
	2	4	6	2	4	6	
30	2,35	1,44	1,22	2,71	2,35	1,39	2,95
60	1,64	0,52	0,33	1,71	1,70	0,85	2,95
90	1,54	0,42	0,23	1,60	1,39	0,57	2,95
120	1,53	0,41	0,22	1,60	1,38	0,56	2,95

Figura 15

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el aluminio del suelo ácido en Calquis San Miguel – Cajamarca



Los resultados de la Tabla 23 y de la Figura 15, muestran. La cal viva mostró un efecto más pronunciado y rápido en comparación con la cal apagada. Las dosis más altas de ambos tipos de cal redujeron más notablemente el aluminio del suelo.

Para la cal viva, la dosis de 6 t ha⁻¹ generó el aumento más significativo, reduciendo el Al de 2,95 Cmol(+)/kg a 0,22 Cmol(+)/kg a lo largo del estudio. Las dosis de 2 y 4 t ha⁻¹ también mostraron reducciones notables, alcanzando valores de 1,53 Cmol(+)/kg y 0,41 Cmol(+)/kg respectivamente al final del período.

En cuanto a la cal apagada, se observó un efecto más gradual pero constante. La dosis de 6 t ha⁻¹ resultó ser la más efectiva, disminuyendo el Al de 2,95 Cmol(+)/kg a 0,56 Cmol(+)/kg durante el transcurso del experimento. Las dosis menores también contribuyeron a la reducción del aluminio, aunque en menor medida.

Con el testigo se obtuvo una estabilidad notable a lo largo del periodo de estudio. El Aluminio del suelo sin tratamiento se mantuvo relativamente constante, con 2,95 Cmol(+)/kg durante los 120 días. Esta estabilidad en el testigo resaltó aún más el efecto positivo de los tratamientos con cal en la modificación del Aluminio del suelo. Este resultado obtenido con el testigo confirma la persistencia de aluminio en ausencia de intervención de la cal, ya sea viva o apagada.

4.14. Análisis del aluminio

Tabla 24

Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el aluminio por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Fuente de variación	Suma de cuadrado	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloques	0.0005	2	0.0002	1	0.3966
Tratamientos	16.0127	6	2.6688	10777.75	<0,0001
Error	0.003	12	0.0002		
Total	16.0161	20			

CV= 1,27 %

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar la concentración de aluminio (Al) en el suelo, como se muestra en la Tabla 24, reveló un valor de significación (p-valor) de 0,3966 para los bloques. Este valor de significación al ser mayor que 0,05, indica que no existen diferencias significativas entre los bloques en cuanto a la concentración de aluminio en el suelo, indicando que las diferencias entre bloques influyen significativamente en la concentración de este elemento.

Asimismo, el p-valor para los tratamientos es 0,0001, significativamente menor que 0,05. Este resultado indica que los tratamientos aplicados han tenido un efecto significativo en la concentración de aluminio en el suelo, es decir, que las distintas dosis y tipos de encalado han provocado resultados distintos en la concentración de aluminio en el suelo, confirmando así el impacto de los tratamientos en el parámetro evaluado.

El coeficiente de variación (CV) es igual a 1,27 %, el cual indica que la variabilidad de los resultados del aluminio dentro de cada tratamiento es baja. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad del aluminio.

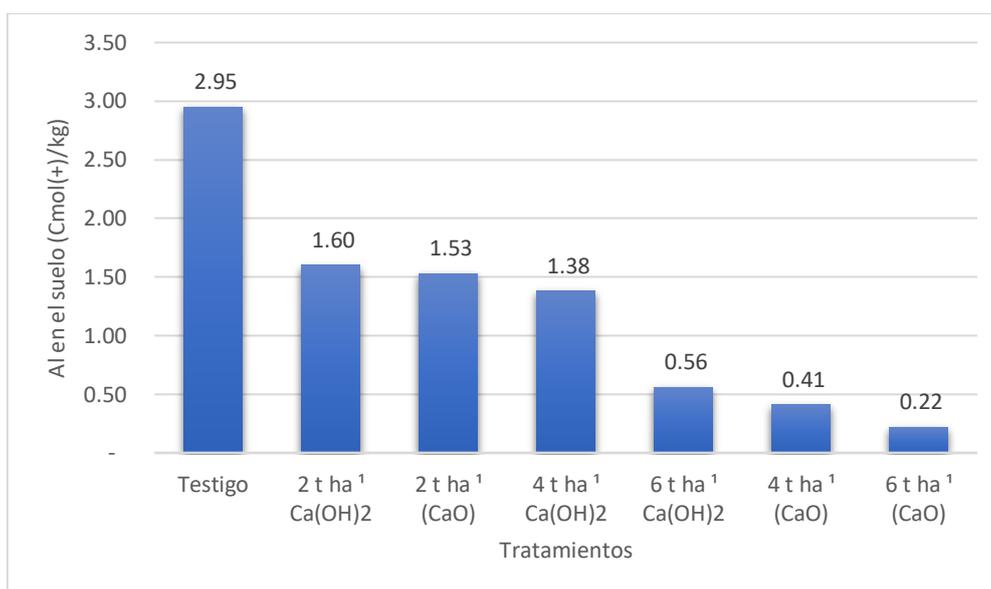
Tabla 25

Prueba de Tukey para la concentración del aluminio del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Tratamientos	Aluminio (Cmol(+)/kg)	Agrupación
Testigo	2,95	A
2 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	1,60	B
2 t ha ⁻¹ (CaO)	1,53	C
4 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	1,38	D
6 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	0,56	E
4 t ha ⁻¹ (CaO)	0,41	F
6 t ha ⁻¹ (CaO)	0,22	G

Figura 16

Concentración de Aluminio en el suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂



La prueba de Tukey (Tabla 25 y Figura 16) muestra que con 6 t ha⁻¹ de (CaO) se obtuvo una media de aluminio de 0,22 Cmol(+)/kg, perteneciendo a la agrupación G, siendo este tratamiento el más efectivo para reducir los niveles de aluminio en el suelo. Con 4 t ha⁻¹ de CaO y con 6 t ha⁻¹ de Ca(OH)₂ se obtuvieron medias de aluminio de 0,41 Cmol(+)/kg y 0,56 Cmol(+)/kg, ubicándose en las agrupaciones F y E respectivamente; estos resultados son superiores a los del testigo, que presentó una media de aluminio de 2,95 Cmol(+)/kg, perteneciendo a la agrupación A. Demostrando así, que dosis más altas proporcionan una mayor cantidad de iones calcio (Ca²⁺), que desplazan el aluminio (Al³⁺) de los sitios de intercambio catiónico.

Los tratamientos con 4 t ha⁻¹ de hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) y 2 t ha⁻¹ de óxido de calcio (CaO), que presentaron medias de aluminio de 1,38 Cmol(+)/kg y 1,53 Cmol(+)/kg, respectivamente, se ubicaron en las agrupaciones D y C, mostrando una disminución en los niveles de aluminio en comparación con el testigo, lo que indica una efectividad moderada. Por otro lado, el tratamiento con 2 t ha⁻¹ de Ca(OH)₂, con un medio de 1,60 Cmol(+)/kg,

perteneciente a la agrupación B, mostró una reducción considerable en los niveles de aluminio respecto al testigo, aunque fue menos efectivo que las dosis más altas.

Los resultados obtenidos en este estudio indican que el encalado con hidróxido de calcio Ca(OH)_2 y óxido de calcio (CaO) es efectivo para reducir los niveles de aluminio en el suelo. Según Fageria (2014), la aplicación de cal en suelos ácidos no solo eleva el pH, sino que también disminuye la actividad del aluminio en la solución del suelo, mejorando así la disponibilidad de nutrientes esenciales. La aplicación de 6 t ha^{-1} de cal viva (CaO) fue la más efectiva, logrando reducir los niveles de aluminio de 2,95 a $0,22 \text{ Cmol(+)}/\text{kg}$. Estos hallazgos son consistentes con los reportados por Cerda et al. (2022), quienes documentaron que la aplicación de hidróxido de calcio redujo el aluminio de 1,350 a $0,617 \text{ Cmol(+)}/\text{kg}$. Asimismo, Nazar (2015) observó una disminución significativa en el contenido de aluminio, de 6,93 meq/100g (testigo) a 0,58 meq/100g con una dosis de 4 t ha^{-1} de óxido de calcio. De manera similar, Kamprath (1984) constató que la aplicación de 2 t ha^{-1} de cal en un suelo ácido redujo el aluminio intercambiable de $2,5 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ a $0,5 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ en un período de seis meses, lo que incrementó la disponibilidad de calcio y mejoró la productividad del maíz. Por su parte, Caires et al. (2003) informaron que la aplicación de 3 t ha^{-1} de cal redujo el aluminio intercambiable de $1,30 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ a $0,08 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ tras un año de tratamiento.

4.15. Evolución del hidrógeno en el suelo (120 días)

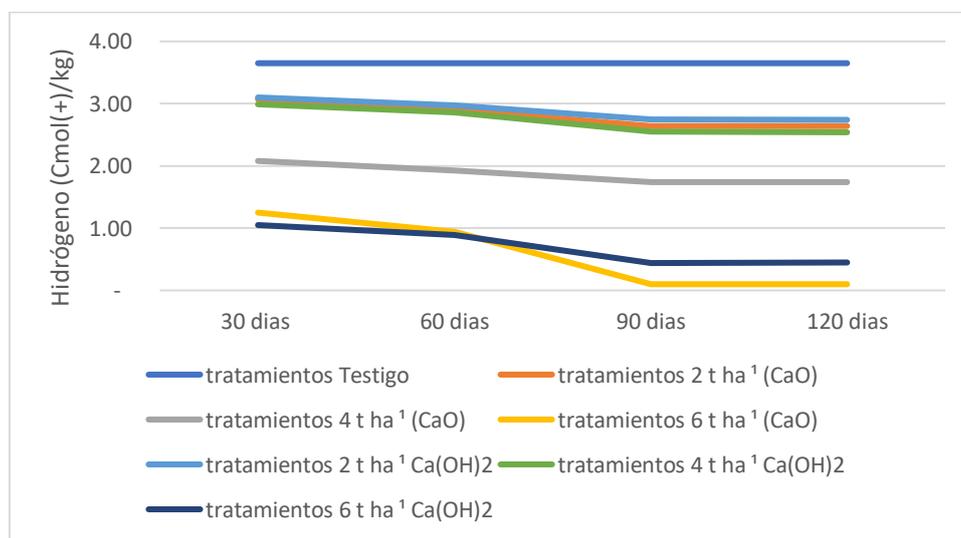
Tabla 26

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el hidrógeno del suelo ácido en San Miguel – Cajamarca

Frecuencia de evaluación (Días)	CaO (t ha ⁻¹)			Ca(OH) ₂ (t ha ⁻¹)			Testigo
	2	4	6	2	4	6	
30	3,07	2,08	1,25	3,10	2,99	1,05	3,64
60	2,9	1,93	0,94	2,97	2,86	0,89	3,64
90	2,64	1,74	0,10	2,75	2,55	0,44	3,64
120	2,64	1,75	0,10	2,75	2,55	0,44	3,64

Figura 17

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en el hidrógeno del suelo ácido en San Miguel – Cajamarca



Los resultados de la Tabla 26 y Figura 17, muestran que ambos tipos de cal tuvieron un impacto en el hidrógeno del suelo, aunque con patrones diferentes según el tipo y la dosis aplicada. La cal viva mostró cambios más pronunciados en comparación con la cal apagada.

Para la cal viva, la dosis de 6 t ha⁻¹ generó la mayor reducción en el hidrógeno, disminuyendo de 3,64 Cmol(+)/kg a 0,10 Cmol(+)/kg a los 120 días. Las dosis de 2 y 4 t ha⁻¹ también mostraron incrementos, alcanzando valores de 2,64 y 1,75 Cmol(+)/kg respectivamente al final del período.

En cuanto a la cal apagada, se observó un efecto más moderado, pero igualmente notable. La dosis de 6 t ha⁻¹ resultó ser la más efectiva, reduciendo el hidrógeno de 3,64 Cmol(+)/kg a 0,44 Cmol(+)/kg a los 120 días. Las dosis menores también contribuyeron a la reducción del hidrógeno, aunque en menor medida.

En contraste, el tratamiento testigo mostró una estabilidad notable a lo largo del estudio. El hidrógeno del suelo sin tratamiento se mantuvo constante en 3,64 Cmol(+)/kg durante los 120 días. Esta estabilidad en el testigo resaltó aún más el efecto de los tratamientos con cal en la reducción del hidrógeno del suelo.

4.16. Análisis del hidrógeno

Tabla 27

Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el hidrógeno por efecto de (CaO) y (Ca(OH)₂)

Fuente de variación	Suma de cuadrado	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloques	0.02	2	0.01	0.97	0.4066
Tratamientos	30.21	6	5.03	587.54	<0,0001
Error	0.1	12	0.01		
Total	30.33	20			

CV= 4,67 %

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar la concentración del Hidrógeno (H) en el suelo, como se muestra en la Tabla 27, reveló un valor de significación (p-valor) de 0.4066 para los bloques. Este valor de significación al ser mayor al 0,05, indica que no existen diferencias significativas entre los bloques en cuanto a la concentración de hidrógeno en el

suelo, indicando que las diferencias entre bloques influyen significativamente en la concentración de este elemento químico.

Asimismo, el p-valor para los tratamientos es 0,0001, significativamente menor que 0,05. Este resultado indica que los tratamientos aplicados han tenido un efecto significativo en la concentración de Hidrógeno en el suelo, es decir, que las distintas dosis y tipos de encalado han provocado resultados distintos en la concentración de Hidrógeno en el suelo, confirmando el impacto de los tratamientos en el parámetro evaluado.

El coeficiente de variación (CV) es igual a 4,67 %, el cual indica que la variabilidad de los resultados del pH dentro de cada tratamiento es baja. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad del hidrógeno.

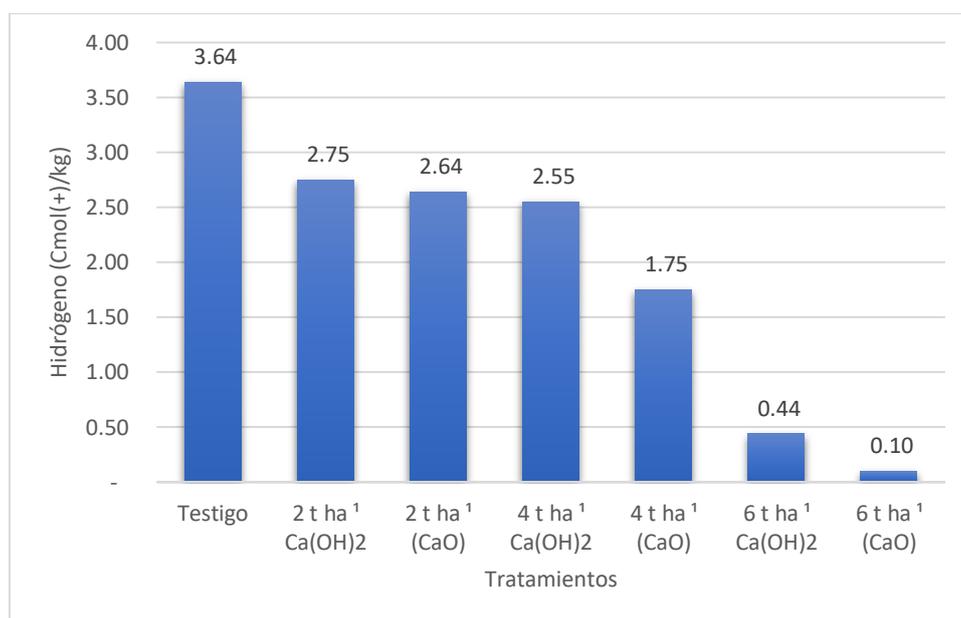
Tabla 28

Prueba de Tukey para la concentración del hidrogeno del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Tratamientos	Hidrogeno (Cmol(+)/kg)	Agrupación
Testigo	3,64	A
2 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	2,75	B
2 t ha ⁻¹ (CaO)	2,64	B
4 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	2,55	B
4 t ha ⁻¹ (CaO)	1,75	C
6 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	0,44	D
6 t ha ⁻¹ (CaO)	0,10	E

Figura 18

Concentración de Hidrógeno en el suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂



La prueba de Tukey (Tabla 28 y Figura 18) indica que la aplicación de 6 t ha⁻¹ de (CaO), obtuvo una media de hidrógeno de 0,10 Cmol(+)/kg, clasificándose en la agrupación E y siendo el tratamiento más eficaz para disminuir los niveles de hidrógeno en el suelo. Por otro lado, con 6 t ha⁻¹ de Ca(OH)₂, se registró una media de hidrógeno de 0,44 Cmol(+)/kg, ubicada en la agrupación D. Aunque estos resultados son inferiores a los alcanzados con 6 t ha⁻¹ de (CaO), superan a los del testigo, que tuvo una media de hidrógeno de 3,64 Cmol(+)/kg, perteneciente a la agrupación A. Estos resultados se deben a que dosis más altas proporcionan una mayor cantidad de iones calcio (Ca²⁺) y magnesio (Mg²⁺), los cuales desplazan eficazmente los iones hidrógeno (H⁺) de los sitios de intercambio catiónico del suelo.

Los tratamientos con 4 t ha⁻¹ de (CaO) y 4 t ha⁻¹ de Ca(OH)₂, con medias de hidrógeno de 1,75 Cmol(+)/kg y 2,55 Cmol(+)/kg respectivamente, se ubicaron en las agrupaciones C y B. Estos resultados indican que las dosis intermedias de cal viva son más efectivas que las de cal apagada para reducir el hidrógeno en el suelo. Por otro lado, el tratamiento con 2 t ha⁻¹ de (CaO), con una media de hidrógeno de 2,64 Cmol(+)/kg, y el tratamiento con 4 t ha⁻¹ de

Ca(OH)₂, con una media de 2,75 Cmol(+)/kg, ambos en la agrupación B, muestran una reducción significativa en comparación con el testigo, pero son menos efectivos que las dosis más altas. Mientras tanto, estas dosis son insuficientes para neutralizar completamente el hidrógeno presente en el suelo.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la aplicación de 6 t ha⁻¹ de cal viva (CaO) fue la más efectiva para reducir los niveles de hidrógeno en el suelo, con una disminución significativa de 3,64 Cmol(+)/kg a 0,10 Cmol(+)/kg. Estos hallazgos coinciden con los reportados por Caires et al. (2003), quienes observaron que la aplicación de 4 t ha⁻¹ de cal en un sistema de siembra directa redujo el hidrógeno en el suelo en un 70%, mejorando el pH y promoviendo una mayor absorción de nutrientes. Asimismo López (2018) también reportó resultados similares al aplicar 0,5 t ha⁻¹ de cal, logrando reducir los niveles de hidrógeno de 7 Cmol(+)/kg a 0 Cmol(+)/kg, resaltando el impacto positivo del encalado en la neutralización del hidrógeno en suelos ácidos.

4.17. Evolución de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo (120 días)

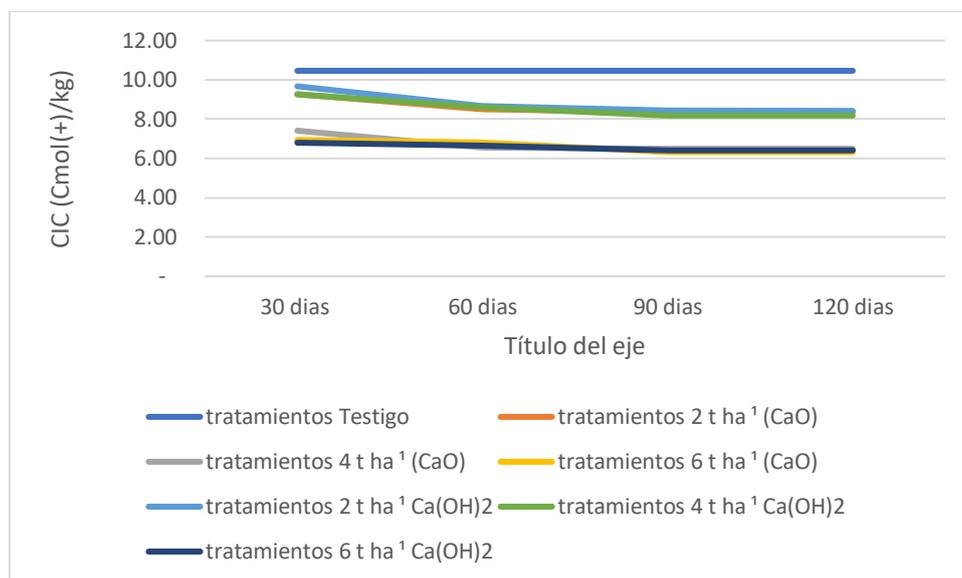
Tabla 29

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en la capacidad de intercambio catiónico del suelo ácido en San Miguel – Cajamarca

Frecuencia de evaluación (Días)	CaO (t ha ⁻¹)			Ca(OH) ₂ (t ha ⁻¹)			Testigo
	2	4	6	2	4	6	
30	8,50	7,41	6,57	8,50	7,80	6,60	6,50
60	8,51	7,44	6,60	8,53	7,88	6,64	6,50
90	8,67	7,49	6,66	8,60	8,53	6,74	6,50
120	8,67	7,49	6,66	8,60	8,53	6,74	6,50

Figura 19

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)_2 en la capacidad de intercambio catiónico del suelo ácido en San Miguel – Cajamarca



Los resultados de la Tabla 29 y Figura 19, muestran una tendencia general de una ligera reducción en la capacidad de intercambio catiónico a lo largo del tiempo por efecto de la cal. Con cal viva, la dosis de 2 t ha^{-1} mostró el incremento más notable, pasando de $6,50 \text{ Cmol}(+)/\text{kg}$ a $8,67 \text{ Cmol}(+)/\text{kg}$ a los 120 días. Las dosis de 4 y 6 t ha^{-1} también presentó aumento, aunque en menor grado, alcanzando valores de $7,49 \text{ Cmol}(+)/\text{kg}$ y $6,66 \text{ Cmol}(+)/\text{kg}$ respectivamente al final del período.

En cuanto a la cal apagada, se observó un patrón similar. La dosis de 2 t ha^{-1} mostró el mayor incremento, pasando de $6,50 \text{ Cmol}(+)/\text{kg}$ a $8,60 \text{ Cmol}(+)/\text{kg}$ a los 120 días. Las dosis de 4 y 6 t ha^{-1} también mejoraron, llegando a $8,53 \text{ Cmol}(+)/\text{kg}$ y $6,74 \text{ Cmol}(+)/\text{kg}$ respectivamente al final del estudio.

El tratamiento testigo mostró una estabilidad notable a lo largo del estudio, la capacidad de intercambio catiónico sin tratamiento se mantuvo constante en $6,50 \text{ Cmol}(+)/\text{kg}$ durante los 120 días. Esto indica que la aplicación de cal, mejora gradualmente la capacidad de intercambio catiónico según la dosis y el tipo de cal.

4.18. Análisis de la capacidad de intercambio catiónico

Tabla 30

Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar en la capacidad de intercambio catiónico por efecto de (CaO) y (Ca(OH)₂)

Fuente de variación	Suma de cuadrado	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloques	0,33	2	0,16	1,05	0,3793
Tratamientos	17,6	6	2,93	18,81	<0,0001
Error	1,87	12	0,16		
Total	19,8	20			

CV= 5,20%

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar la concentración de la capacidad de intercambio cationico (CIC) en el suelo, como se muestra en la Tabla 30, reveló un valor de significación (p-valor) de 0,3793 para los bloques. Este valor de significación al ser mayor al 0,05, indica que no existen diferencias significativas entre los bloques en cuanto a la capacidad de intercambio cationico en el suelo.

Asimismo, el p-valor para los tratamientos es 0,0001, significativamente menor que 0,05. Este resultado indica que los tratamientos aplicados han tenido un efecto significativo en la capacidad de intercambio cationico en el suelo, es decir, que las distintas dosis y tipos de encalado han provocado resultados distintos en la concentración de la capacidad de intercambio cationico en el suelo, confirmando el impacto de los tratamientos en el parámetro evaluado.

El coeficiente de variación (CV) es igual a 5,20 %, el cual indica que la variabilidad de los resultados de la (CIC) dentro de cada tratamiento es baja. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad de la (CIC).

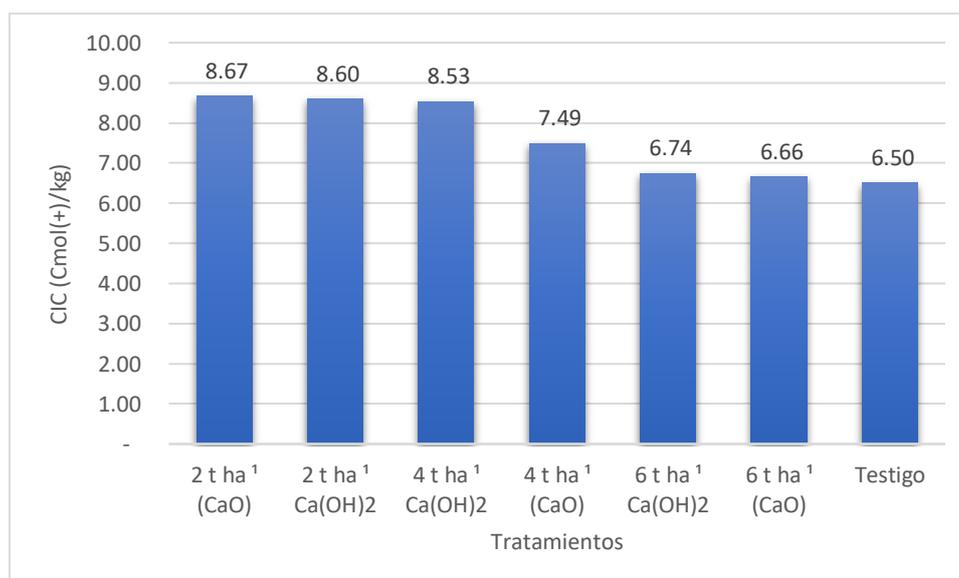
Tabla 31

Prueba de Tukey para la capacidad de intercambio catiónico del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Tratamientos	CIC Cmol(+)/kg	Agrupación
2 t ha ⁻¹ (CaO)	8,67	A
2 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	8,60	AB
4 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	8,53	AB
4 t ha ⁻¹ (CaO)	7,49	BC
6 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	6,74	C
6 t ha ⁻¹ (CaO)	6,66	C
Testigo	6,50	C

Figura 20

Capacidad de intercambio catiónico del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂



La prueba de Tukey (Tabla 31 y Figura 20) indica que el tratamiento con 2 t ha⁻¹ de (CaO) obtuvo el mayor valor de capacidad de intercambio catiónico (CIC) con 8.67

Cmol(+)/kg, clasificándose en la agrupación A. Esto indica que una dosis baja de cal viva mejora considerablemente la CIC del suelo, favoreciendo la retención de nutrientes. El tratamiento con 2 t ha⁻¹ de cal apagada Ca(OH)₂ mostró un valor similar de CIC 8.60 Cmol(+)/kg, perteneciendo a la agrupación AB, lo que sugiere que también es efectivo, aunque ligeramente menos que la cal viva. Es importante mencionar que en cantidades moderadas, la cal viva o apagada favorece una mayor retención de cationes sin saturar completamente los sitios de intercambio del suelo.

El tratamiento con 4 tn ha⁻¹ de cal apagada alcanzó 8.53 Cmol(+)/kg, dentro de la misma agrupación AB, indicando que es igual de efectivo que el tratamiento con 2 t ha⁻¹, pero no lo supera. En contraste, el tratamiento con 4 t ha⁻¹ de cal viva mostró un promedio de 7.49 Cmol(+)/kg, en la agrupación BC, lo que refleja una menor efectividad en comparación con dosis más bajas.

Los tratamientos con 6 t ha⁻¹ de cal apagada 6.74 Cmol(+)/kg y cal viva 6.66 Cmol(+)/kg quedaron en la agrupación C, junto con el testigo 6.50 Cmol(+)/kg, lo que sugiere que dosis más altas de cal, independientemente de su tipo, no aportan mejoras significativas en la CIC del suelo en comparación con el suelo no tratado. Esto se debe a que el exceso de calcio puede saturar los sitios de intercambio, desplazando otros cationes esenciales y reduciendo así la eficiencia de la CIC.

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que la aplicación de dosis menores de cal viva (CaO) y cal apagada Ca(OH)₂ incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. Neutralizar la acidez del suelo mediante encalado al 10% de la CIC generalmente previene la toxicidad del Al³⁺ (Hu et al., 2014). La aplicación de 2 t ha⁻¹ de cal viva logró un aumento de 8,67 Cmol(+)/kg en la CIC. Estos hallazgos son consistentes con los reportados por Alemu et al. (2022), quienes observaron un incremento significativo en la CIC

tras la aplicación de 3,5 t ha⁻¹ de cal en suelos ácidos, pasando de 21,85 a 25,41 Cmol(+)/kg. De manera similar, López (2018) también constató un aumento en la CIC al aplicar 0,5 t ha⁻¹ de cal en suelos ácidos, en combinación con fertilización química, logrando elevar la CIC de 5,84 a 8,38 mEq/100g. Este incremento se atribuye principalmente a la liberación de iones tóxicos, como Al³⁺ y H⁺, en los sitios de intercambio catiónico, lo que permite que las bases cambiables, especialmente el calcio, ocupen dichos espacios y contribuyan al aumento de la CIC (Fageria, 2001). Por otro lado, Cerda et al. (2022) demostraron que la aplicación de hidróxido de calcio y cal agrícola también incrementó la CIC, con valores que pasaron de 3,687 Cmol(+)/kg a 4,480 Cmol(+)/kg en el caso del hidróxido de calcio, y a 4,147 Cmol(+)/kg con la cal agrícola.

4.19. Evolución de las bases cambiables en el suelo (120 días)

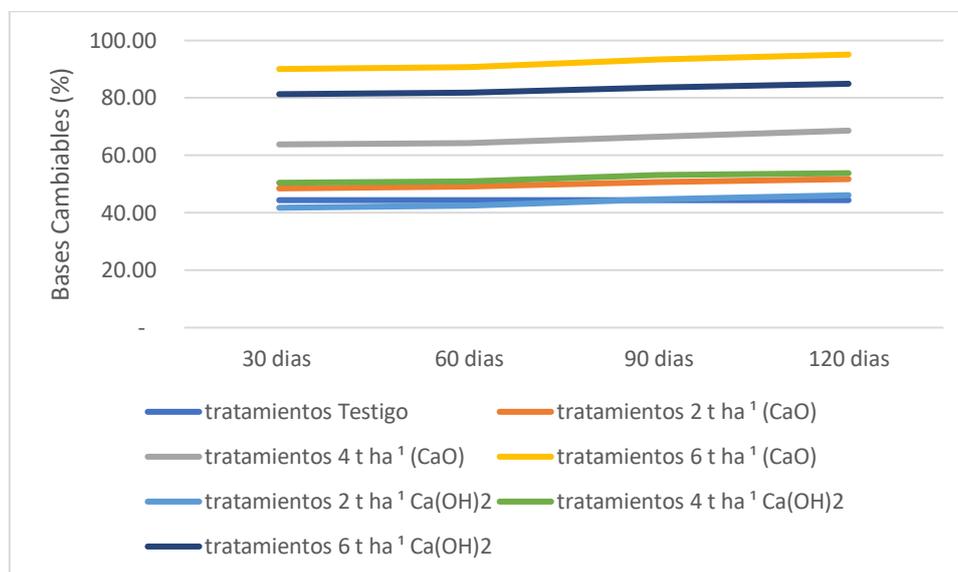
Tabla 32

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)₂ en las bases cambiables del suelo ácido en San Miguel - Cajamarca

Frecuencia de evaluación (Días)	CaO (t ha ⁻¹)			Ca(OH) ₂ (ha ⁻¹)			Testigo
	2	4	6	2	4	6	
	30	48,48	63,82	90,09	41,76	50,47	
60	49,08	64,29	90,79	42,46	50,97	81,79	44,41
90	50,74	66,62	93,45	44,79	53,14	83,62	44,41
120	47,44	68,62	95,12	46,12	53,80	84,95	44,41

Figura 21

Efecto de la cal viva (CaO) y apagada Ca(OH)_2 en las bases cambiables del suelo ácido en San Miguel – Cajamarca



La Tabla 32 y la Figura 21 muestran que ambos tipos de cal contribuyeron a mejorar las bases cambiables del suelo. En particular, la aplicación de 6 t ha^{-1} de cal viva presentó el incremento más significativo, aumentando del 44,41% al 95,12% a los 120 días. Las dosis de 2 y 4 t ha^{-1} también evidenciaron aumentos, aunque en menor magnitud, alcanzando valores de 47,44% y 68,62%, respectivamente, al finalizar el estudio.

Con respecto a la cal apagada, se observó que la dosis con 6 t ha^{-1} mostró el mayor incremento pasando de 44,41% a 84,95% a los 120 días. La dosis de 2 y 4 t ha^{-1} también presentaron aumentos, llegando a 46,12% y 53,80% respectivamente al final del periodo.

El tratamiento testigo mostró una estabilidad notable a lo largo del estudio. Las bases cambiables del suelo sin tratamiento se mantuvieron constante en 44,41% durante los 120 días. Esto indica que la aplicación de cal, mejora considerablemente las bases cambiables del suelo de acuerdo a la dosis y tipo de cal.

4.20. Análisis de las bases cambiables

Tabla 33

Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las bases cambiables por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Fuente de variación	Suma de cuadrado	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloques	0.13	2	0.06	1.1	0.3628
Tratamientos	7505.98	6	1251	21654.85	<0,0001
Error	0.69	12	0.06		
Total	7506.8	20			

CV= 0,38 %

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar la concentración de las bases cambiables en el suelo, como se muestra en la Tabla 33, reveló un valor de significación (p-valor) de 0.3628 para los bloques. Este valor de significación al ser mayor al 0,05, indica que no existen diferencias significativas entre los bloques en cuanto a la concentración de las bases cambiables en el suelo.

Asimismo, el p-valor para los tratamientos es 0,0001, significativamente menor que 0,05. Este resultado indica que los tratamientos aplicados han tenido un efecto significativo en la concentración de las bases cambiables en el suelo, es decir, que las distintas dosis y tipos de encalado han provocado resultados distintos en la concentración de las bases cambiables en el suelo, confirmando el impacto de los tratamientos en el parámetro evaluado.

El coeficiente de variación (CV) es igual a 0,38 %, el cual indica que la variabilidad de los resultados de las bases cambiables dentro de cada tratamiento es baja. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad de las bases cambiables.

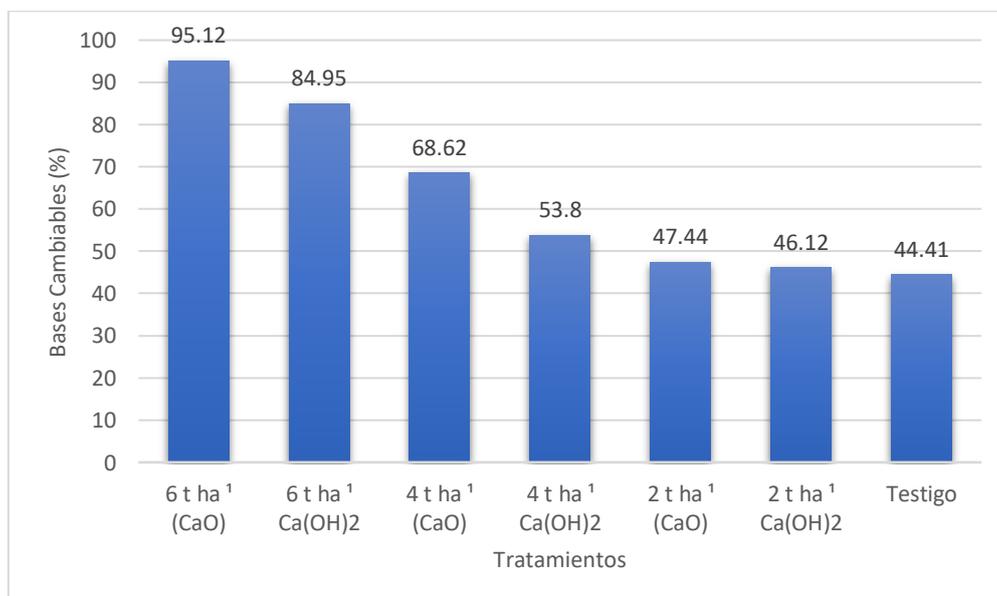
Tabla 34

Prueba de Tukey para la concentración de bases cambiables del suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂

Tratamientos	Bases Cambiables (%)	Agrupación
6 t ha ⁻¹ (CaO)	95,12	A
6 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	84,95	B
4 t ha ⁻¹ (CaO)	68,62	C
4 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	53,8	D
2 t ha ⁻¹ (CaO)	47,44	E
2 t ha ⁻¹ Ca(OH) ₂	46,12	F
Testigo	44,41	G

Figura 22

Concentración de Bases cambiables en el suelo por efecto de (CaO) y Ca(OH)₂



La prueba de Tukey (Tabla 34 y Figura 22) indica que con 6 t ha⁻¹ de cal viva (CaO) se obtuvo una media de bases cambiables de 95,12 %, ubicándose en la agrupación A, lo que indica que es el tratamiento más efectivo para aumentar las bases cambiables en el suelo. Por otro lado, con 6 t ha⁻¹ de hidróxido de calcio Ca(OH)₂, se alcanzó una media de 84,95 %, perteneciente a la agrupación B. Aunque inferior al tratamiento con cal viva, sigue siendo considerablemente mayor que el testigo, que presentó una media de 44,41 % en la agrupación G. Estos resultados se deben a la alta reactividad de la cal viva (CaO), que al disolverse en el suelo aumenta rápidamente la concentración de iones calcio (Ca²⁺). Estos iones reemplazan cationes ácidos, como el hidrógeno (H⁺) y el aluminio (Al³⁺), en los sitios de intercambio catiónico, lo que promueve un incremento significativo en las bases cambiables del suelo, tales como calcio, magnesio, potasio y sodio.

Los tratamientos con 4 tn ha⁻¹ de cal viva (CaO) y 4 t ha⁻¹ de cal apagada Ca(OH)₂ lograron medias de bases cambiables de 68,62 % y 53,8 % respectivamente, ubicándose en las agrupaciones C y D. Estos resultados muestran que, aunque inferiores a las dosis más altas, siguen siendo efectivos para incrementar las bases cambiables en el suelo en comparación con el testigo.

Los tratamientos con 2 t ha⁻¹ de cal viva (CaO) y 2 t ha⁻¹ de cal apagada Ca(OH)₂, con medias de 47,44 % y 46,12 % respectivamente, pertenecen a las agrupaciones E y F. Estos valores, aunque superiores al testigo, muestran una menor efectividad en comparación con las dosis más altas de ambos tipos de cal, indicando que una menor dosis resulta menos eficiente para aumentar las bases cambiables en el suelo. En dosis menores, la cantidad de calcio disponible es insuficiente para desplazar una proporción significativa de cationes ácidos, lo que explica los resultados menos efectivos observados tanto con la cal viva como con la cal apagada.

Los resultados obtenidos en esta investigación revelan que la aplicación de 6 t ha⁻¹ de cal viva (CaO) fue el tratamiento más efectivo para incrementar las bases cambiables en el suelo, pasando del 44,41 % al 95,12 %. Estos hallazgos son consistentes con los reportados por Alemu et al. (2022), quienes informaron un aumento significativo en las bases cambiables tras la aplicación de 3,5 t ha⁻¹ de cal en suelos ácidos, donde estas pasaron del 48,08 % al 64,20 %. Aunque la aplicación de 6 t ha⁻¹ de hidróxido de calcio Ca(OH)₂ también mostró un incremento considerable, alcanzando el 84,95 %, su efectividad fue inferior a la de la cal viva. Asimismo, las dosis menores de ambos tratamientos (cal viva y cal apagada) presentaron mejoras en las bases cambiables, aunque con incrementos más moderados. Estos resultados son respaldados por López (2018), quien evaluó el efecto del encalado en suelos ácidos en plantaciones de café. En su investigación, la aplicación de cal a una dosis de 0,5 t ha⁻¹, acompañada de fertilización química, incrementó significativamente las bases cambiables, aumentando del 46 % al 69 %. Estos cambios, similares a los observados en el presente estudio, resultaron de la neutralización de la acidez del suelo mediante el desalojo de iones tóxicos como el aluminio (Al³⁺) y el hidrógeno (H⁺), lo que permitió la adsorción de cationes esenciales. como el calcio en los sitios de intercambio (Fageria, 2001).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La aplicación de óxido de calcio (CaO) e hidróxido de calcio Ca(OH)_2 logró un incremento significativo en el pH del suelo, alcanzando un valor de 5,30 y 5,03 respectivamente. Además, se registró una conductividad eléctrica de 0,53 y 0,58 dS/m respectivamente. También se observó una reducción en los niveles de aluminio, con valores de 0,22 y 0,56; el hidrógeno redujo a 0,10 y 0,44 $\text{Cmol(+)}/\text{kg}$, respectivamente.

La aplicación de óxido de calcio (CaO) e hidróxido de calcio Ca(OH)_2 mejoró notablemente los niveles de nitrógeno, obteniendo valores de 0,320 y 0,306 % con la dosis de 2 t ha^{-1} de óxido de calcio. Además, el fósforo se incrementó a 46,62 y 22,86 ppm respectivamente, mientras que el óxido de potasio alcanzó un valor de 136,87 ppm con óxido de calcio y 130,88 ppm con hidróxido de calcio.

Se encontraron diferencias significativas en las bases cambiables entre los tratamientos con óxido de calcio (CaO) e hidróxido de calcio Ca(OH)_2 . Alcanzando valores de 95,12% y 84,95% respectivamente. Además, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) mostró una mejora notable, logrando valores de 8,67 y 8,60 $\text{Cmol(+)}/\text{kg}$ respectivamente.

La aplicación de óxido de calcio (CaO) e hidróxido de calcio Ca(OH)_2 incrementó significativamente el contenido de materia orgánica en el suelo. El tratamiento con 2 t ha^{-1} de óxido de calcio presentó el mayor incremento, alcanzando un valor de 6,47%, mientras que con 2 t ha^{-1} de hidróxido de calcio alcanzó 6,11%.

5.2. Recomendaciones

Se debe utilizar enmiendas calcáreas como el óxido de calcio, hidróxido de calcio, cal agrícola, dolomita, etc. Para corregir suelos ácidos.

Al incorporar hidróxido de calcio y óxido de calcio, se debe tener en cuenta; que el suelo este húmedo, para que pueda reaccionar rápidamente en el suelo.

Continuar con los estudios, utilizando las mismas dosis y fuentes de encalado en distintos lugares que presenten suelos ácidos.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achalu, Chimdi · Gebrekidan, Heluf · Kibret, Kibebew ...Efectos del encalado sobre las propiedades químicas relacionadas con la acidez de los suelos de diferentes sistemas de uso de la tierra en Oromia occidental, Etiopía *Revista Mundial de Ciencias Agrícolas* 2012; 8 :560-567
- Adane, Buni Efectos del encalado de suelos ácidos en la mejora de las propiedades del suelo y el rendimiento del frijol *J. Environ. Anal. Toxicol.* 2014; 5 :1-4
- Alemu, E., Selassie, Y. G., & Yitaferu, B. (2022). Effect of lime on selected soil chemical properties, maize (*Zea mays* L.) yield and determination of rate and method of its application in Northwestern Ethiopia. *Heliyon*, 8(1), e08657. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08657>
- Baggs, E. M., Smales, C. L., & Bateman, E. J. (2010). Changing pH shifts the microbial sources as well as the magnitude of N₂O emission from soil. *Biology and Fertility of Soils*, 46(8), 793–805. <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0484-6>
- Bernier V., R., & Alfaro V., M. (2006). *Acidez de los suelos y efectos del encalado*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7075>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The Nature and Properties of Soils* (14th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Caires, E. F., Blum, J., Barth, G., & Garbuio, F. J. (2003). Lime application in the establishment of a no-till cropping system in a tropical region. *Agronomy Journal*, 95(2), 512-517. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.5120>

Campillo R., R. (2014). *Corrección de suelos acidificados mediante enmiendas calcáreas en la región de La Araucanía*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/4555>

Castillo et al. 2009. Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan.

Jalisco, México.

[5http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-5172009000300003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-5172009000300003)

Castro, H., & Munevar, Ó. (s/f). *Chemical improvement of acidic soils through the use of combined liming materials*. Org.co.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n2/v16n2a15.pdf>

Cerda, O., M. G., Salgado, M., M. G., Esquinca, R., H., & Abdiel Ivan, G. V. (2022). Manejo agronómico de la acidez y aluminio en suelos de plantaciones de café, *coffea arabica* en berriozabal, motozintla. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 147-164. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2525

Chamaya, O. (2019, febrero 07) *Efecto de la aplicación de enmiendas cálcicas en el rendimiento de la especie forrajera ray grass (Lolium perenne), en el anexo nuevo Olmal, distrito de Sonche, provincia Chachapoyas, región Amazonas* [Tesis de pregrado] Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Perú.

Díaz, JA. 2016. Determinación del efecto de la aplicación de nueve materiales de encalado en muestras de cinco suelos ecuatorianos de diferente material parental. (en línea) Tesis Ing. Agr. Universidad Central del Ecuador. Quito, EC. 71p. Consultado el 15 ago. 2018. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8225/1/T-UCE-0004-51.pdf>

- Dubey, R. C., & Kumar, P. (2022). *Rhizosphere Engineering*. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/C2020-0-03385-2>
- Fageria, N. K., & Nascente, A. S. (2014). Management of soil acidity of south American soils for sustainable crop production. En *Advances in Agronomy* (pp. 221–275). Elsevier.
- García, J. (2020, enero 23). Efecto de la materia orgánica, yeso y dolomita en la concentración de aluminio (al+3) en suelos con cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris l.*) – Tingo María. [Tesis de pregrado] Universidad Agraria de la selva, Perú.
https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1697/TS_JJGR_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Haynes, R. J., & Naidu, R. (1998). *Nutrient cycling in agroecosystems*, 51(2), 123–137.
<https://doi.org/10.1023/a:1009738307837>
- Hernández, T., García, C., & Ayuso, M. (2010). Influence of lime and organic matter on soil microbial activity and chemical properties. *Biology and Fertility of Soils*, 23(1), 158-164.
- Hu, H.-W., Xu, Z.-H. y He, J.-Z. (2014). Las arqueas oxidantes de amoníaco desempeñan un papel predominante en la nitrificación ácida del suelo. En *Avances en Agronomía* (págs. 26, 1–302). Elsevier.
- Jiménez, f., Molina, M., Carriazo, J. (2015, junio 02). Investigación de las Concepciones Alternativas sobre Ácidos y Bases. *Scientia et Technica Año XX*, volumen (20), pp. 3.
- Kamprath, E. J. (1984). Crop response to lime on soils in the tropics. In *Soil Acidity and Liming* (pp. 349-368). ASA-CSSA-SSSA. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr12.2ed.c9>

- Kemmitt, S., Wright, D., Goulding, K., & Jones, D. (2006). pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 38(5), 898–911. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.08.006>
- Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Bolan, NS, Xu, Y., Mandal, S., Gleeson, DB, Seshadri, B., Zaman, M., Barton, L., Tang, C., Luo, J., Dalal, R., Ding, W., Kirkham, MB y Naidu, R. (2016). Relaciones funcionales de acidificación del suelo, encalado y flujo de gases de efecto invernadero. En DL Sparks (Ed.), *Avances en Agronomía* (Vol. 139, págs. 1–71). Elsevier.
- Lim, S. L., & Hughes, R. J. (2000). Phosphorus availability in soils treated with lime and phosphorus fertilizer. *Australian Journal of Soil Research*, 38(2), 371-383.
- López, W. (2018). Efectos del encalado en suelo ácido cultivado con café (*Coffea arabica* L.) en la reserva de la biósfera el triunfo, Chiapas, México. *Agro Productividad*, 11(4). <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/270>
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.
- McKenzie, R. H., Middleton, A. B., Bremer, E., & Dowbenko, R. E. (2004). Nitrogen fertilization and liming effects on canola yield, seed quality, and nitrogen use. *Agronomy Journal*, 96(3), 722-729.
- Miransari, M. (2016). Environmental stresses in Soybean Production. *Soybean Production volume 2*. Academic Press.

- Molina A, Alfredo E. (2014). 7. *MANEJO DE LA ACIDEZ Y EL ENCALADO DEL SUELO*.
Ucr.ac.cr. Recuperado el 8 de septiembre de 2024, de
<https://agro.ucr.ac.cr/cabalceta/af0208/Encalado2.pdf>
- Nastacuas, C. (2022). Estrategia ambiental para la recuperación de los suelos ácidos en la comunidad Chimbuza, Ricaurte, Nariño. *Revista multidisciplinar ciencia latina*, volumen (6), pp. 10.
- Navarro, G. (2003). Química Agrícola; El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal, 2. ed. Ediciones Mundi prensa. España. 486 pág.
- Nazar, J. (2015). *Efecto del encalado en el crecimiento de la Valeriana Pilosa r&p en Huanico, Cajamarca*. [Tesis de post grado] Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Neina, D. (2019). El papel del pH del suelo en la nutrición de las plantas y la remediación del suelo . *Ciencia ambiental del suelo*, 2019, 5794869. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
- Nduwumuremyi, A., Ruganzu, V., Mugwe, JN y Rusanganwa, AC (2013). Efectos de la cal no quemada en el pH del suelo y los cationes básicos en suelos ácidos. *International Scholarly Research Notices*, 2013, 707569.
- Osorio, N. (2012, abril 30). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo integral del suelo y nutrición vegetal*, Volumen (1), pp. 2-3.
- Sánchez, J. (2012, marzo). Acidez de los suelos y su manejo. *Augura*, volumen (3), pp. 4-5.
- Sumner, M. E., & Yamada, T. (2002). Farming with acidity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(15-18), 2467-2496.
- Tang, C., & Yu, Q. (2006). The effect of liming on phosphorus availability in acidic soils. *Plant and Soil*, 284(1), 349-362.

Tang, C., Rengel, Z., Diatloff, E., & Gazey, C. (2020). Liming and its effects on microbial biomass and community structure in acidic soils: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 148, 107872.

Tasilla, L. (2021, agosto 23). *Variación de la reacción del suelo a la aplicación de cal de diferente granulometría en la Encañada – Cajamarca*. [Tesis de pregrado] Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4482/TESIS-LUCIO%20TASILLA%20SALAZAR%202021.PDF?sequence=1&isAllowed=y>

Toledo, M. 2016. Manejo de suelos ácidos en las zonas altas de Honduras: conceptos y Métodos. Tegucigalpa, Honduras.
<http://repositorio.ica.int/bitstream/11324/3108/1/BVE17069071e.pdf>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Imágenes mostrando el proceso de las actividades que se realizó durante la investigación.

Anexo 1. Área de estudio



Anexo 2. Labores agrotécnicas de las repeticiones con sus respectivos tratamientos



Anexo 3. Pesado de la cal



Anexo 4. Tratamiento con su respectiva dosis de cal, antes del encalado



Anexo 4. Encalado de tratamientos



Anexo 5. Muestra de suelo representativa (T2)



Anexo 6. Toma de muestra de suelo



Anexo 7

Resultados del análisis (muestra inicial del suelo)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA				Laboratorio de Análisis de suelos, Agua y Ecotoxicología									
				Análisis de suelo									
SOLICITANTE: Yonil Terrones Cotrina													
PROCEDENCIA: CAJAMARCA													
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO				ANÁLISIS QUÍMICO									
N°	DATOS			pH	CE dS/m	Materia Orgánica M.O. %	N total %	P disponible ppm	K ₂ O ppm	Al Aluminio Cmol(+)/kg	H Hidrógeno Cmol(+)/kg	CICe	Bases Cambiables %
	CODIGO DEL LAB.	ETIQUETA	ESTREDO PC										
24	S24-0005	MS001	YONIL TERRONES	4,08	0,34	5,13	0,2920	22,0130	133,17	2,950	3,640	6,500	44,410

Los datos presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Teléfono: 84,96+38306006951



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Anexo 8.

Resultados de los análisis de suelo realizado por la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA			Laboratorio de Análisis de suelos, Agua y Ecotoxicología										
			Análisis de suelo										
SOLICITANTE: Yonil Terrones Cotrina			PROCEDENCIA: CAJAMARCA										
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO													
N°	DATOS			ANÁLISIS QUÍMICO									
				pH		CE	Materia Orgánica	N	P	K ₂ O	Al	H	CICe
	CODIGO DEL LAB.	ETIQUETA	ESTREADO PC	1:1	1:1	dS/m	M.O.	total	disponible		Aluminio	Hidrógeno	
24	S24-0105	B1 - T0	YONIL TERRONES	4,38	0,49	5,14	0,3419	22,0130	133,17	2,245	2,960	6,345	47,447
25	S24-0106	B1 - T1	YONIL TERRONES	4,39	0,47	6,47	0,3237	16,9218	133,41	1,537	2,645	4,182	51,745
26	S24-0107	B1 - T2	YONIL TERRONES	4,79	0,39	6,23	0,3116	29,6498	127,50	0,412	1,749	2,161	68,621
27	S24-0108	B1 - T3	YONIL TERRONES	5,28	0,53	6,17	0,3086	11,6480	136,90	0,224	0,100	0,324	95,121
28	S24-0109	B1 - T4	YONIL TERRONES	4,45	0,43	6,11	0,3056	22,8615	120,39	1,604	2,760	4,364	46,129
29	S24-0110	B1 - T5	YONIL TERRONES	4,47	0,38	5,75	0,2874	17,7703	130,88	1,387	2,543	3,930	53,794
30	S24-0111	B1 - T6	YONIL TERRONES	5,03	0,49	5,87	0,2935	46,6205	128,47	0,562	0,437	0,999	84,984
31	S24-0112	B2 - T0	YONIL TERRONES	4,36	0,48	5,13	0,3418	22,0129	133,17	2,238	2,969	6,678	47,444
32	S24-0113	B2 - T1	YONIL TERRONES	4,40	0,46	6,48	0,3236	16,9217	133,41	1,539	2,650	8,678	51,741
33	S24-0114	B2 - T2	YONIL TERRONES	4,78	0,39	6,24	0,3115	29,6497	127,50	0,414	1,750	4,189	68,623
34	S24-0115	B2 - T3	YONIL TERRONES	5,30	0,52	6,18	0,3085	11,6481	136,90	0,226	0,100	0,326	95,123
35	S24-0116	B2 - T4	YONIL TERRONES	4,45	0,44	6,12	0,3055	22,8614	120,39	1,606	2,756	8,469	46,130
36	S24-0117	B2 - T5	YONIL TERRONES	4,49	0,37	5,76	0,2873	17,7702	130,88	1,389	2,550	3,939	53,809
37	S24-0118	B2 - T6	YONIL TERRONES	5,05	0,48	5,88	0,2934	46,6204	128,47	0,564	0,450	1,014	84,884
38	S24-0119	B3 - T0	YONIL TERRONES	4,38	0,50	5,13	0,3420	22,0128	133,17	2,241	2,948	6,495	47,446
39	S24-0120	B3 - T1	YONIL TERRONES	4,41	0,47	6,46	0,3238	16,9216	133,41	1,538	2,639	4,177	51,744
40	S24-0121	B3 - T2	YONIL TERRONES	4,80	0,38	6,22	0,3117	29,6496	127,50	0,413	1,765	2,178	68,620
41	S24-0122	B3 - T3	YONIL TERRONES	5,32	0,54	6,16	0,3087	11,6480	136,90	0,225	0,104	0,329	95,121
42	S24-0123	B3 - T4	YONIL TERRONES	4,47	0,44	6,10	0,3057	22,8613	120,39	1,605	2,746	4,351	46,127
43	S24-0124	B3 - T5	YONIL TERRONES	4,48	0,39	5,74	0,2875	17,7702	130,88	1,388	2,558	3,946	53,804
44	S24-0125	B3 - T6	YONIL TERRONES	5,02	0,48	5,86	0,2936	46,6203	128,47	0,563	0,453	1,016	84,981

datos presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de 84,96+38306006951



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

