UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAÑETE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

“Uso de enmiendas cálcicas para mejorar las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos en laboratorio de Cañete”

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR:

Hider Hurtado Sante

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7824-3112

ASESOR:

Dr. Mario Humberto Taipe Cancho

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3612-9730

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Investigación Aplicada

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Suelos y Nutrición Vegetal

CAÑETE - PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAÑETE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

“Uso de enmiendas cálcicas para mejorar las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos en laboratorio de Cañete”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:

Hurtado Sante Hider

APROBADA POR:

REPÚBLICA DEL PERÚ Firma Digital
Firmado digitalmente por: ÑIQUE ALVAREZ MANUEL ALFREDO FIR 23013382 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 06/01/2025 14:58:08-0500

.....

Dr. Manuel Alfredo Ñique Álvarez

Presidente

.....

Dr. Santiago Alejandro Ortega Gomero

Secretario

FIRMA DIGITAL
Firmado digitalmente por: COAQUIRA INCACARI Roberto FAU 20491363402 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 06/01/2025 11:20:30-0500

.....

PhD. Roberto Coaquira Incacari

Vocal

FIRMA DIGITAL
Firmado digitalmente por: ORTEGA GOMERO Santiago Alejandro FAU 20491363402 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 07/01/2025 11:26:36-0500

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAÑETE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Firmado digitalmente por: TAIPE CANCHO MARIO HUMBERTO FIR 31188486 hard
Motivo: En señal de conformidad
Fecha: 03/01/2025 19:16:39-0500

.....

Dr. Mario Humberto Taipe Cancho

Asesor

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO

En la ciudad de San Luis, en el Auditorio del Pabellón de Usos Múltiples, siendo las 09:30 horas, del día 05 de diciembre del 2024, se reunió el Jurado Evaluador y el asesor, designados por DECRETO N.°022-2023-UI/FCA/UNDC.

Presidente : Dr. Manuel Alfredo Ñique Álvarez
Secretario : Dr. Santiago Alejandro Ortega Gomero
Vocal : PhD. Roberto Coaquira Incacari
Asesor : Dr. Mario Humberto Taipe Cancho

Para el acto de sustentación de la tesis titulada: "Uso de enmiendas cálcicas para mejorar las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos en laboratorio de Cañete", presentado por el Bachiller Hider Hurtado Sante, para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo.

Después de concluido el acto de sustentación y luego de que el sustentante dio respuesta a las preguntas respectivas, el Jurado Evaluador calificó la sustentación o defensa de la investigación según los siguientes criterios, y promediando las notas del jurado se obtuvo:

Criterio	Desaprobado (menor de 14)	Regular (14 -15)	Bueno (16-17)	Muy bueno (18-19)	Excelente (20)	Puntaje
Claridad de la exposición				18		
Dominio del tema				18		
Visión holística del trabajo			17			
Promedio						18

**** Para el caso de sustentación de dos personas se debe incorporar dos cuadros, uno para cada uno.**

Para obtener la nota final de todo el proceso de investigación, conforme al artículo 100° y 101° del Reglamento General de Investigación de la Universidad Nacional de Cañete aprobado mediante Resolución N° 180-2023-UNDC/CO, se procedió a calcular la nota final:

Nota del Informe (valor 40%)	Nota de Sustentación (valor 60%)	Nota Final
17	18	18

(*) Cálculo: (Nota Informe * 0.40) + (Nota de Defensa * 0.60) = Nota final
Para el caso de dos sustentantes, se debe incluir una columna adicional a la izquierda y poner los nombres de cada uno de ellos, y calificar en forma individual.

Toda copia de este documento, sea del entorno virtual o del documento original en físico es considerada "copia no controlada"

Y, establece como calificación FINAL: ..18.. (..Dieciocho.....)

- Aprobado, con nota Regular (...), Bueno (...), Muy Bueno (X), Excelente (...)
- Desaprobado (...)

Por tanto, el graduado se encuentra expedito(s) ( ), impedido(s) ( ) para realizar los trámites que corresponden a la obtención del Título Profesional de Ingeniero Agrónomo.

****Si fuera el caso, que de los dos sustentantes uno fuera aprobado y otro desaprobado, se tendrá que diferenciar quien queda expedito y quien impedido de seguir los trámites.**

Siendo las... :..... Horas se dio por terminado el acto de sustentación.

Dr. Santiago Alejandro Ortega Gomero **Secretario**	Dr. Manuel Alfredo Ñique Álvarez **Presidente**	PhD. Roberto Coaquira Incacari **Vocal**	Dr. Mario Humberto Taipe Cancho **Asesor**

Toda copia de este documento, sea del entorno virtual o del documento original en físico es considerada "copia no controlada"

VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Código N°006-2024

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE SIMILITUD

Yo, **Betsabé León Ttacca**, Directora (e) de la Unidad de Investigación del informe titulado: **"Uso de enmiendas cálcicas para mejorar las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos en laboratorio de Cañete",** cuyo autor es Hider Hurtado Sante, identificado con DNI N°70060675, declaro que la evaluación realizada por el programa informático, ha constatado un **porcentaje de similitud del 4%**, verificable en el resumen de reporte automatizado de similitudes que se adjunta.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud no constituye plagio, y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar, además, el recibo digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Cañete, 03 octubre del 2024

Se adjunta:

- Resumen del reporte automatizado de similitudes
- Recibo Digital

VALIDADO POR:

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: LEON TTACCA BETSABE FIR 41288646 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03/10/2024 15:52:34-0500

Dra. BETSABÉ LEÓN TTACCA
Directora (e) de la Unidad de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias

Toda copia de este documento, sea del entorno virtual o del documento original en físico es considerada "copia no controlada"

DEDICATORIA

A Dios que siempre me guía y ayuda todos los días para poder salir adelante y principalmente a mis padres, hermanos y familiares que incansablemente me han ayudado en mis estudios.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por haber permitido lograr mi meta y por guiar mi camino para seguir adelante. A mis padres y familiares que me apoyaron en este arduo camino de preparación y esfuerzo.

Un eterno agradecimiento a mi asesor Dr. Mario Humberto Taipe Cancho, por su dedicación y paciencia en guiarme en este proceso tan importante de mi vida académica que siempre estuvo dispuesto a ayudarme en cada paso del camino. Asimismo, agradezco profundamente a mis coasesores, MSc. Julio Castro Lazo y MSc. Alexis Saucedo Chacón, que siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente en el proceso del proyecto de tesis.

También agradezco a la Universidad Nacional de Cañete por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de avanzar en mi carrera profesional, asimismo agradezco al Instituto Valle Grande y al Laboratorio Química Agrícola (LQA), por su constante apoyo y por permitirme el uso de sus instalaciones para realizar todo proceso del trabajo de investigación.

A todos los docentes de la Universidad Nacional de Cañete que me brindaron sus conocimientos teóricos y prácticos.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....VI

AGRADECIMIENTO VII

ÍNDICE DE FIGURAS.....XI

ÍNDICE DE TABLAS.....XIII

RESUMEN XVI

ASTRACT XVII

Capítulo I. Introducción 1

Problema general..... 2

Objetivo general..... 2

Hipótesis general 3

Capítulo II. Marco Teórico 4

2.1. Antecedentes 4

2.2. Bases Teóricas..... 7

2.2.1. Origen de la acidez del suelo 7

2.2.2. Acidez del suelo 7

2.2.3. Fuentes de la acidez del suelo 8

2.2.4. Causas de la acidificación de los suelos..... 8

2.2.5. Clasificación de la acidez..... 9

2.2.6. pH 9

2.2.7. Aluminio intercambiable..... 10

2.2.8. Toxicidad de aluminio 11

2.2.9. Efectos del aluminio en el suelo..... 11

2.2.10. Encalado…….. .11

2.2.11. Efectos del encalado 12

2.2.12. Dolomita…… 12

2.2.13. Silicato…… 13

2.2.14. Calidad de los materiales de encalado 13

2.2.15. Sobreencalamiento..... 13

2.2.16. Pureza química 14

INDICE GENERAL

2.2.17. Tamaño de la partícula *15*
2.2.18. Poder relativo de neutralización total *15*
2.2.19. Problema de fósforo en suelos ácidos *15*
2.2.20. Capacidad de intercambio catiónico *16*
2.2.21. Importancia de la capacidad de cambio *16*
2.3. Marco Conceptual *16*
Capítulo III. Materiales y Métodos **18**
3.1. *Definición de variables* *18*
3.1.1. *Variables independientes* *18*
3.1.2. *Variables dependientes* *18*
3.2. *Operacionalización de variables* *18*
3.3. *Tipo de investigación* *19*
3.4. *Diseño de investigación* *19*
3.5. *Lugar y ubicación geográfica del experimento* *22*
3.6. *Población y muestra* *23*
3.6.1. *Población* *23*
3.6.2. *Muestra* *23*
3.7. *Procedimiento de la investigación* *23*
3.7.1. *Técnicas de recolección de datos* *23*
3.7.2. *Materiales y equipos de investigación* *23*
3.7.3. *Procedimiento* *25*
3.8. *Plan de Tratamiento de Datos* *42*
3.8.1. *Técnicas estadísticas* *42*
3.8.2. *Hipótesis estadística de comparación de promedios múltiples* *44*
Capítulo IV. Resultados y Discusiones **47**
4.1 RESULTADOS **47**
4.1.1 *Propiedades químicas de suelos ácidos de Maynas, Iquitos* *47*
A) *pH (1/1)* *47*
B) *Acidez intercambiable* *53*
C) *Capacidad Intercambio Catiónico Efectiva (C.I.C.E.)* *61*
4.1.2. *Disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos* *68*

INDICE GENERAL

A) *Fósforo disponible (P)* *69*
B) *Potasio disponible (K)* *75*
C) *Calcio disponible (Ca)* *81*
D) *Magnesio disponible (Mg)* *88*
4.2. *DISCUSIÓN* **95**
V. CONCLUSIONES **98**
VI. RECOMENDACIONES **99**
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **100**
ANEXOS **107**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Ubicación del muestreo del suelo en la provincia de Maynas, Iquitos 26*

Figura 2 *Proceso de recepción, secado y tamizaje de muestras del proyecto de investigación 29*

Figura 3 *Análisis de suelo homogenizado, antes y después del proceso de incubación, según tratamientos.....40*

Figura 4 *Efecto principales del silicato y dolomita en el pH (1/1) de suelos ácidos de Maynas a los 3 meses después de ser incubado 47*

Figura 5 *Media de pH (1/1) de suelo ácido de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado, con enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato 52*

Figura 6 *Efectos principales de la dolomita y silicato en la acidez intercambiable en mEq-g/100 g de suelo ácido de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado 54*

Figura 7 *Media de la acidez intercambiable (mEq-g/100 g) de suelo ácido de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado, con enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato 60*

Figura 8 *Efectos principales de la dolomita y silicato en la capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E.) mEq-g/100g, de suelo ácido de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado.....62*

Figura 9 *Media de la capacidad de intercambio catiónico efectivo - C.I.C.E. en (mEq-g/100g) de suelos ácidos de Maynas, 3 meses después de la incubación con dolomita y silicato 67*

Figura 10 *Efectos principales de la dolomita y silicato sobre el fósforo disponible (ppm) en suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado 69*

Figura 11 *Promedio de la disponibilidad de fósforo en ppm en suelos ácidos de Maynas, 3 meses después de la incubación con dolomita y silicato 74*

Figura 12 *Efectos principales de la dolomita y silicato sobre el potasio disponible (ppm) en suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado 76*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 13 *Efectos principales de la dolomita y silicato sobre el calcio disponible (ppm) en suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado*.....*81*

Figura 14 *Promedio de la disponibilidad de calcio en ppm en suelos ácidos de Maynas, 3 meses después de la incubación con dolomita y silicato* *87*

Figura 15 *Efectos principales de la dolomita y silicato sobre el magnesio disponible (ppm) en suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado*.....*89*

Figura 16 *Ubicación del proyecto experimental* *108*

Figura 17 *Método de muestreo*..... 109

Figura 18 *Informe de turnitin*..... *110*

Figura 19 *Entrevista al director de laboratorio de Valle Grande* *111*

Figura 20 *Resultado de laboratorio, parámetros de caracterización del suelo ácido* . *112*

Figura 21 *Resultado de laboratorio, de análisis de la enmienda dolomita*..... *113*

Figura 22 *Resultado de laboratorio, de análisis de la enmienda silicato* *114*

Figura 23 *Secado de muestras de suelo para su incubación y análisis pre-test* *115*

Figura 24 *Pesado de fuentes cálcicas para la incubación del suelo* *115*

Figura 25 *Pesado de muestras de suelo* *115*

Figura 26 *Monitoreo de suelos incubados a capacidad de campo* *116*

Figura 27 *Análisis final del proyecto de investigación*..... *117*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Equivalentes químicos de diferentes enmiendas cálcicas para el suelo* *14*

Tabla 2 *Reacción de enmiendas cálcicas según su tamaño de partícula* *15*

Tabla 3 *Operacionalización de variables* *18*

Tabla 4 *Identificación de tratamientos según las fuentes cálcicas, dosis y número de repeticiones en estudio* *20*

Tabla 5 *Notación y arreglo de los datos* *21*

Tabla 6 *Análisis físico-químico del suelo (pre test)*..... *27*

Tabla 7 *Cálculo de enmiendas inorgánicas para la incubación de muestras*..... *30*

Tabla 8 *Análisis de suelo homogenizado, antes y después del proceso de incubación, según tratamientos*.....*38*

Tabla 9 *Tabla de normalidad y homogeneidad de varianza de las propiedades químicas y disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de la provincia de Maynas, Iquitos* *43*

Tabla 10 *Análisis de varianza para prueba de comparación de promedios en el diseño completamente aleatorizado*.....*45*

Tabla 11 *Estadísticos descriptivos del pH (1/1) de suelo ácido de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas*..... *48*

Tabla 12 *Análisis de varianza (ANOVA) para el pH (1/1), de suelo ácido de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas* *50*

Tabla 13 *Prueba de comparación de promedios múltiple por el método de Tukey del pH (1/1), de suelo ácido de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas*..... *51*

Tabla 14 *Estadísticos descriptivos de la acidez intercambiable (mEq-g/100g) de suelos ácidos de Maynas, 3 meses después de la incubación con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato* *55*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 15 *Análisis de varianza (ANOVA) para la acidez intercambiable del suelo en mEq-g/100g, a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas 57*

Tabla 16 *Prueba de comparación de promedios múltiple por el método de Tukey de la acidez intercambiable (mEq-g/100g), de suelo ácido de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas.....58*

Tabla 17 *Estadísticos descriptivos de la capacidad de intercambio catiónico efectivo - C.I.C.E. (mEq-g/100g), 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato 63*

Tabla 18 *Análisis de varianza (ANOVA) de la C.I.C.E. en mEq-g/100g, a los 3 meses después de ser incubado, con dolomita y silicato.....65*

Tabla 19 *Prueba de comparación de promedios múltiple por el método de Tukey de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (mEq-g/100g), de suelo ácido de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas de dolomita y silicato 66*

Tabla 20 *Estadísticos descriptivos del fósforo disponible (ppm), 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato.....70*

Tabla 21 *Análisis de varianza (ANOVA) de fósforo disponible, a los 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas dolomita y silicato 72*

Tabla 22 *Prueba de comparación de promedios múltiples por el método de Tukey de la disponibilidad de fósforo (ppm) de suelo ácido de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas de dolomita y silicato 73*

Tabla 23 *Estadísticos descriptivos del potasio disponible (ppm), 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato 77*

Tabla 24 *Análisis de varianza (ANOVA) de potasio disponible (ppm), a los 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas dolomita y silicato..... 80*

Tabla 25 *Estadísticos descriptivos de calcio disponible (ppm), a los 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato.....82*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 26 *Análisis de varianza (ANOVA) del calcio disponible en suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato* *84*

Tabla 27 *Prueba de comparación de promedios múltiples por el método de Tukey de la disponibilidad de calcio (ppm) de suelo ácido de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas de dolomita y silicato* *86*

Tabla 28 *Estadísticos descriptivos de magnesio disponible (ppm) en suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato* *90*

Tabla 29 *Prueba de Kruskal- Wallis del magnesio disponible en suelos ácidos, a los 3 meses después de ser incubado, con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato 92*

Tabla 30 *Prueba de comparación de promedios por pares mediante el método de U Mann- Whitney de la disponibilidad de magnesio (ppm) de suelo ácido de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas de dolomita y silicato* *93*

Tabla 31 *Análisis de suelo ácido pretest*..... *118*

Tabla 32 *Resultados de suelos incubados de 2.5 t/ha* *118*

Tabla 33 *Resultados de suelos incubados de 5 t/ha* *119*

Tabla 34 *Resultados de suelos incubados de 10 t/ha* *119*

RESUMEN

En este estudio, se llevó a cabo un experimento con el objetivo de evaluar el efecto de la dolomita y el silicato sobre las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes en suelos ácidos de Maynas, Iquitos. El experimento se desarrolló mediante una metodología de incubación en el laboratorio de Cañete. Se aplicaron diferentes dosis de enmiendas: 2.5 t/ha, 5 t/ha y 10 t/ha tanto de dolomita como silicato, además de incluir un tratamiento testigo, representado por suelo ácido sin enmiendas. Los tratamientos se organizaron en un Diseño Completo al Azar (DCA) con tres repeticiones, dando lugar a 21 unidades experimentales. Las variables evaluadas incluyeron las propiedades químicas del suelo (pH, acidez intercambiable y capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E.)) y la disponibilidad de nutrientes (fósforo, calcio, potasio y magnesio). Tras tres meses de incubación, los resultados mostraron que tanto la dolomita como el silicato presentaron un comportamiento estadísticamente similar en cuanto a la mejora de las propiedades químicas. Se observó un aumento del pH y de la C.I.C.E. con el incremento de la dosis, alcanzando valores de hasta 6.47 en pH y 7.76 mEq-g/100 g en C.I.C.E. con la aplicación de 10 t/ha de enmienda. En contraste, la acidez intercambiable del suelo disminuyó significativamente, reduciéndose a 0.11 mEq-g/100 g con 10 t/ha. En cuanto a la disponibilidad de nutrientes, se evidenció que con el incremento de la dosis de enmiendas hasta 10 t/ha de dolomita y silicato, se produjo un aumento en la concentración de cationes, como el calcio (hasta 1056.10 ppm) y el magnesio (hasta 254.60 ppm), así como en el fósforo, que alcanzó 6.40 ppm. Por otro lado, el potasio no mostró variación significativa con las diferentes dosis, manteniendo un promedio de 40.15 ppm en todos los tratamientos.

Palabras clave: Acidez, cationes, incubación, disponibilidad, intercambio catiónico.

ASTRACT

In this study, an experiment was conducted with the objective of evaluating the effect of dolomite and silicate on the chemical properties and nutrient availability in acid soils of Maynas, Iquitos. The experiment was developed using an incubation methodology in the Cañete laboratory. Different doses of amendments were applied: 2.5 t/ha, 5 t/ha and 10 t/ha of both dolomite and silicate, in addition to including a control treatment, represented by acid soil without amendments. The treatments were organized in a Complete Randomized Design (CRD) with three replications, resulting in 21 experimental units. Variables evaluated included soil chemical properties (pH, exchangeable acidity and effective cation exchange capacity (E.C.E.C.)) and nutrient availability (phosphorus, calcium, potassium and magnesium). After three months of incubation, the results showed that both dolomite and silicate presented statistically similar behavior in terms of improvement of chemical properties. An increase in pH and C.I.C.E. was observed with increasing dosage, reaching values of up to 6.47 in pH and 7.76 mEq-g/100 g in C.I.C.E. with the application of 10 t/ha of amendment. In contrast, the exchangeable acidity of the soil decreased significantly, being reduced to 0.11 mEq-g/100 g with 10 t/ha. Regarding nutrient availability, it was evidenced that with the increase of the amendment dose up to 10 t/ha of dolomite and silicate, there was an increase in the concentration of cations, such as calcium (up to 1056.10 ppm) and magnesium (up to 254.60 ppm), as well as phosphorus, which reached 6.40 ppm. On the other hand, potassium did not show significant variation with the different doses, maintaining an average of 40.15 ppm in all treatments.

Key words: Acidity, cations, incubation, availability, cation exchange.

Capítulo I
Introducción

Según Kauffman et al. (1998) en la provincia de Maynas hay un constante crecimiento en la agricultura y los planificadores están interesados en conocer las mejores opciones para el uso de la tierra. Las diversas investigaciones en los últimos 20 años en la zona de Iquitos han limitadas o restringidas a campos relativamente pequeños, siendo en la actualidad un conocimiento insuficiente de los suelos de la zona.

El encalado es la forma más eficaz de corregir los problemas de suelos con bajo pH, la base de esta práctica agronómica es el uso de sales básicas que neutralizan la acidez del suelo causada por el aluminio y el hidrógeno (Espinosa y Molina, 1999).

Castro (2024) menciona que los suelos de la provincia de Maynas, Iquitos poseen características muy particulares, debido al clima ecuatorial predominante, las precipitaciones alcanzan en promedio 2616 mm y la temperatura promedio anual es de 26.7 °C. Los suelos ácidos presentan niveles muy altos de aluminio y niveles muy bajos de fósforo, calcio, magnesio y potasio.

En la provincia de Maynas existen enormes proporciones de tierra para uso agrícola, en la actualidad estos suelos contienen gran variedad de cultivos anuales y perennes, es el caso del café y cacao, cuya producción es limitada por el aumento de la acidez del suelo (disminución del pH), que, a su vez, está relacionada con la toxicidad del aluminio (Al^{+3}), ya que se manifiesta en la disminución de la fertilidad del suelo. La aplicación de dolomita es una práctica común en el sector, sin embargo, no se tiene información rigurosa sobre las cantidades requeridas para neutralizar el aluminio y solucionar los inconvenientes de acidez. La aplicación de dicha enmienda es ancestral y se transmite por los agricultores. Por otro lado, son conocidas las propiedades del silicato para corregir el pH de los suelos ácidos, por tanto, constituye una alternativa para la recuperación de suelos ácidos para uso en la agricultura.

Para poder tener información válida sobre la dosis de aplicación recomendable de fuentes cálcicas, se llevó a cabo este trabajo de investigación en un laboratorio de la provincia de Cañete, con la finalidad de evaluar el uso de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato que mejoran las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes de los suelos ácidos de Maynas, Iquitos.

En ese sentido, se plantearon los siguientes problemas, objetivos e hipótesis:

Problema general:

¿Cuál es el efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete?

Problemas específicos:

- ¿Cuál es el efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora las propiedades químicas de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete?
- ¿Cuál es el efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete?

Objetivo general:

- Evaluar el efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete.

Objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora las propiedades químicas de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete.
- Evaluar el efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete.

Hipótesis general:

Existe al menos una enmienda cálcica entre dolomita y silicato, que tiene efecto en la mejora de las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete.

Hipótesis específicas:

- Existe al menos una enmienda cálcica entre dolomita y silicato, que tiene efecto significativo en la mejora de las propiedades químicas de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete.
- Existe al menos una enmienda cálcica entre dolomita y silicato, que tiene efecto significativo en la mejora de la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes

Calva y Espinosa (2017) desarrollaron un, artículo sobre "El impacto de la aplicación de 4 materiales de encalado en el control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana - Universidad Central del Ecuador", con el objetivo de evaluar el efecto de la incorporación de 4 enmiendas para el control de acidez en un suelo representativo del grupo de suelos rojos "Oxic Dystrudepts". Las enmiendas aplicadas fueron "Carbonato de calcio, dolomita, óxido de calcio y carbonato de magnesio". La metodología utilizada fue de Kamprath en un diseño completamente al azar (DCA); la variable de interés fue el pH del suelo. Los resultados del análisis de laboratorio demostraron que el pH se incrementó a medida que se aumentaban las dosis de las enmiendas mencionadas. Los autores concluyen que la aplicación de las enmiendas tiene un efecto sobre el pH del suelo, siendo las mejores dosis entre 1.0 y 1.5 t/ha de dolomita.

Cabezas (2016), en su tesis "Efecto de fuentes de encalado en las propiedades químicas de suelos ecuatorianos de diferente material parental", determinó el efecto de la incorporación de 5 enmiendas para el control de acidez de 5 suelos ácidos de diferente material parental. La evaluación se llevó en un laboratorio de suelos agrícolas de la Universidad Central del Ecuador - Quito, utilizando dos variables: carga permanente, suelos de San Lorenzo y Paute (grupo 1) y carga variable, suelos de Pangui, Saraguro y el Guabo (grupo 2). El diseño experimental fue de bloques completamente al azar (DBCA). Los resultados muestran que las dosis de las enmiendas probadas incrementan progresivamente el pH en los 5 suelos, a su vez que la acidez intercambiable y el aluminio se reducen conforme aumentan las dosis de las enmiendas. Como conclusión del experimento, se tiene que la respuesta del pH del primer grupo, es un suelo de carga variable ya que las reacciones de las enmiendas no incrementan el pH, mientras que en el segundo grupo son de carga permanente, la aplicación de enmiendas incrementa el pH a valores superiores a seis.

Chico (2019), en su tesis "Evaluación del cambio en la capacidad de intercambio iónico de suelos ácidos por efecto del encalado", evaluó el efecto del encalado sobre la capacidad de intercambio iónico de cinco suelos ácidos ecuatorianos (Inceptisol, Mollisol, Entisol, Inceptisol y Andisol). Las variables estudiadas fueron: pH, acidez intercambiable,

carga en la superficie y la C.I.C., para ello utilizó el diseño completamente al azar (DCA), con 8 tratamientos y 3 observaciones para cada suelo. Los resultados muestran que los suelos tienen una predominancia de coloides con alta densidad de carga superficial. El ensayo de la incubación indicó que existe una relación directa entre las dosis de enmienda y el aumento de pH y CIC, con una disminución de acidez intercambiable. Se concluye que el encalado permite el incremento del pH y la capacidad de intercambio catiónico, mientras que la acidez intercambiable disminuyó en los cinco suelos evaluados.

Arista (2017) en su investigación "Niveles de dolomita y de microorganismos eficientes en pastos cultivados asociados, en suelos ácidos de Ayacucho", en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, evaluó la influencia de la dolomita, más una solución de microorganismos eficientes, en el rendimiento de pastos cultivados asociados. Los tratamientos estuvieron constituidos por 3 niveles de dolomita y dos niveles de microorganismos eficientes dispuestos en un diseño de parcelas divididas en arreglo de bloques completos al azar. Como resultado, reporta que un incremento de pH con el uso de la dolomita y microorganismos eficientes, incrementa de manera significativa la producción del pasto cultivado.

Fernando (2019) en su investigación "Fuentes encalantes y fosfatadas en la recuperación de un suelo ácido de Tingo María, en maíz *(Zea mays L.)* en invernadero", de la Universidad Nacional Agraria la Molina, evaluó la factibilidad de la aplicación de silicato de magnesio como enmienda encalante para la corrección de un suelo ácido de Tingo María y para la absorción de fósforo en el cultivo de maíz. La dolomita y el silicato de magnesio, se emplearon como tratamientos en un diseño factorial de 2x4x2 con tres repeticiones dispuestos en bloques completos al azar. Los resultados muestran que la aplicación de dolomita a diferentes dosis aumenta el pH, siendo diferente estadísticamente a los niveles de pH obtenidos con el silicato de Mg. Se concluye, que las extracciones de N, P, K, Mg y Ca aumentan a medida que las dosis de silicato de Mg aumentan. Así mismo, el uso de la FDA como fuente de fósforo permitió un mejor desarrollo de la planta.

Mariliz (2019) en su tesis titulada "Optimización del encalado sobre el control de acidez del suelo arrocero en Bellavista - provincia de Jaén, 2019", de la Universidad Nacional de Jaén, determinó la concentración óptima de encalado para el control de acidez del suelo arrocero. Para ello utilizó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 18 bloques. La aplicación de la dolomita como enmienda ha sido en cantidades adecuadas de 149.7 g en

1 m^2, los variables estudiadas fueron; humedad del suelo, pH, acidez intercambiable, textura, materia orgánica y C.E. Los resultados que se mostraron fueron que, a partir de la concentración óptima del encalado el pH tuvo efecto llegando a un promedio de 5.40 y la acidez reducida a 0.04 mEq-g/100 de suelo. De esta manera se concluyó que la dosis óptima del encalado de dolomita para suelo arrocero es de 1.49 t/$CaCO_3$.$MgCO_3$/ha.

Deygar (2017), en su investigación desarrollada "Efecto de la aplicación de enmiendas de origen mineral en el pH del suelo en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), distrito de Pólvora, San Martín", de la Universidad Nacional de San Martín, determinó la enmienda agrícola con mejores resultados en el aumento de pH, para la disponibilidad de nutrientes en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*). Dentro de su variable de experimento ha sido la incorporación de fuentes, cuyos parámetros valorados son el grado del pH en el suelo, el análisis químico y físico. Utilizando el método de diseño en Bloques Completamente al Azar con 5 tratamientos, 1 testigo y 4 repeticiones. Las cuales utilizaron cal agrícola, dolomita y magnecal. Se encontraron los siguientes resultados: que la composición de la dolomita ha tenido mayores efectos, reemplazando la eficacia del hierro y aluminio, liberando la fijación de nutrientes como calcio, magnesio y fósforo, la prueba Duncan muestra que el T2 (dolomita) tuvo mayor promedio de pH con 5.15 al igual que el T1 (Magnocal) con 5.13 de pH, teniendo como conclusión que la aplicación de magnecal de 95.83 kg tuvo mejores resultados agronómicos en la producción de mazorcas de maíz y pH del suelo incrementándose a 0.24 de potencial hidrógeno.

Ricse (2018) en su tesis denominada "Efecto de enmiendas en un suelo ácido con cultivo de *Phaseolus vulgaris L*., Satipo", de la Universidad Nacional del Centro del Perú, determinó el efecto de la dolomita en las propiedades físicas, químicas de un suelo ácido y en la producción del cultivo de *Phaseolus vulgaris L*. El método incorporado fue el diseño completamente al azar con 4 tratamientos (enmiendas), un testigo y tres repeticiones. Se utilizó el análisis de varianza del DCA, los tratamientos a utilizar fueron; dolomita, magnocal, cal y yeso agrícola. Las variables a evaluar en el suelo fueron; pH, materia orgánica, Mg, P, K, Ca, acidez cambiable y la C.I.C.E. Los resultados indican que la aplicación de dolomita disminuye la materia orgánica (1.90 a un 1.64%), la acidez cambiable (0.48 a 0.34 mEq/100 g) y el aluminio (13.12 a un 7.93%), mejora la disponibilidad de cationes cambiables (Ca, Mg, P, K). Concluyendo que al aplicar la dolomita ayuda en el incremento de la producción del cultivo de frijol (mayor número de vainas de 27.33 a 50 unidades y flores de 15.67 a 23.11 unidades). El magnocal solo ayuda en la producción de flores mas no de vainas (de 15.67 a 21.22).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Origen de la acidez del suelo

El origen de los suelos ácidos encierra grandes elementos tanto climáticos como edáficos a la vez por acciones del hombre (antrópicas). Y los componentes naturales, siendo estos las elevadas precipitaciones que ocasionan la lixiviación de los nutrientes en el inferior del suelo, la gran cantidad de materia orgánica acumulada que libera el hidrógeno y las acciones del hombre suelen promover la lixiviación de los elementos nutricionales como: Ca, P, Mg y K. La utilización de los fertilizantes verifica el tamaño y la intensidad del acidificante del suelo (Campillo y Sadzawka, 1993).

Zapata (2004) menciona que la acidificación del suelo es un proceso originario y espontáneo, que se crea a lo largo de la formación, teniendo como inicio en la meteorización del suelo por parte de los minerales y las rocas que se convierten en compuestos estrechos, sin embargo, en el proceso de transformación se lixivian los metales alcalinos y se proporciona una acumulación de elementos de aluminio y manganeso, que tienen la posibilidad de padecer hidrólisis y generar acidez.

2.2.2. Acidez del suelo

La acidez perjudica las características físicas y químicas del suelo, disminuyendo su alta productividad como un suelo rico en elementos nutricionales. En suelos con alto contenido de aluminio, los microorganismos no son capaces de desarrollarse lo cual genera poca actividad en el proceso de descomposición y un descenso en la fijación del nitrógeno atmosférico y la nitrificación, generando poca producción, de esta manera contribuye negativamente a los cultivos. El desarrollo correcto por parte de las lombrices también se ve perjudica en condiciones ácidas (Alvarado, 1999). Según Zapata (2004), a partir de su criterio químico, fundamenta que la acidez del suelo es interpretada como el crecimiento porcentaje del neutralizante, poseyendo resultados de la transformación irreversible de los protones desde la fase líquida hasta la fase sólida de un suelo. La acidez se determina por la cantidad de iones de hidrógeno que se encuentran adheridos en el suelo, que serán expresados en el pH e informados únicamente sobre las características que posee, en funcionalidad a la existencia de una cierta cantidad de protones que son cedidos en diferentes formas como se observa en los siguientes puntos:

- **Ácidos fuertes:** son los suelos que se encuentran con pH ≤ 4.2, y el H_2SO_4 y los ácidos libres se acumulan en grandes cantidades.
- **Ácidos débiles:** son suelos que oscilan entre 4.2 y 5.2 de pH, que corresponde a un rango de pH donde el aluminio intercambiable se encuentra presente, y al aproximarse a un pH de 5.3, el aluminio se pierde o se precipita.
- **Ácidos muy débiles:** son suelos con pH que oscilan de 5.3 y 6.5 o ≤ 7, que pertenecen al grupo de los carboxílicos, y los protones de grupos hidroxilos se encuentran unidos a los octaedros de aluminio, H_2CO_3 reacciona y sales básicas.
- **Ácidos altamente débiles:** estos suelos se encuentran con un potencial hidrógeno de 6.5 a 7, poseen alta presencia de géneros fenólicos, protones de géneros hidroxilo (OH) adaptados a los tetraedros de aluminio.

2.2.3. Fuentes de la acidez del suelo

Fassbender (1980) señala que las fuentes de la acidez provienen de distintos suelos que son capaces de dar protones. El método de determinación más utilizado es la titulación, donde la cantidad de acidez encontrada es cuantitativa: cuanto mayor es el pH en el nivel de neutralización, más débil el grupo ácido.

Muchos factores de la naturaleza y la transformación del suelo son capaces de perjudicar el pH. Los iones hidrógenos pueden eliminarse de un ecosistema. La principal causa de la acidez del suelo es la liberación de protones, esto en el transcurso de la formación del nitrógeno, azufre y el ciclo del carbono. La acidificación de un suelo puede ser causada por diversos factores en los que el suelo no puede amortiguarse contra la disminución del pH del suelo (Alvarado Ochoa, 1999).

2.2.4. Causas de la acidificación de los suelos

Khalajabadi (2016) indica que la acidez del suelo es causada por varios factores como; lavado de bases intercambiables, oxidación de azufre, putrefacción de la materia orgánica, la nitrificación de amonio y la liberación del hidrógeno en las raíces de los cultivos en el momento de la absorción tales como; calcio, magnesio y potasio.

Dos de los tipos más influyentes del suelo que están relacionados con la acidez son:

- **Resiliencia:** hace referencia a la capacidad de recuperar su estado inicial luego de haberse sometido a la acción de un agente.
- **Poder tampón (búfer):** se refiere a la resistencia del suelo que posee para no dejarse modificar su estructura.

Bernier y Alfaro (2006) opinan que la acidificación en los suelos se debe a las diferentes causas que pueden ser de origen natural y otras son provocadas por la acción del hombre en la vida cotidiana a través del tiempo. Dentro de estas acciones se relacionan las siguientes causas:

- Alta caída pluviométrica.
- Altos contenidos de materia orgánica y laboreo del suelo.
- Uso de fertilizantes nitrogenados de reacción ácida.

2.2.5. Clasificación de la acidez

Para Espinoza y Molina (1999) la acidez del suelo se clasifica de la siguiente manera:

- **Acidez activa:** está representada por el hidrógeno que se encuentra asociado en la solución de un suelo que es transformado de distintas fuentes.
- **Acidez intercambiable:** producida por el hidrógeno que está retenido en los enlaces iónicos que aportan la acidez; esta acidez intercambiable está determinada por la extracción de aluminio y el hidrógeno del suelo.
- **Acidez no intercambiable:** es el hidrógeno que pertenece a los enlaces covalentes que se encuentran en los suelos minerales con cargas variables.
- **Acidez potencial:** esta clasificación de acidez es la suma total de la acidez no intercambiable más la acidez intercambiable.

2.2.6. pH

Osorno (2012) indica que el potencial hidrógeno del suelo es un indicador de mucha utilidad para observar la cantidad de microorganismos y microfaunas que se pueden encontrar en el suelo. En los pH bajos, los materiales orgánicos de los suelos generan un cambio en su contenido, como es el caso de las actividades que ejercen los actinomicetos y los hongos. A medida que el pH va en aumento, los hongos que se encuentran en el suelo empiezan a disminuir y las bacterias tienden a desarrollarse mejor, esto debido a que estos microorganismos se adaptan con mayor facilidad a pH próximos a 7.0 (neutro) para su buen desempeño fisiológico dentro de la actividad.

El pH es un parámetro muy importante de la acidez, pero este no es capaz de indicar la cantidad exacta de fuentes cálcicas que requiere el suelo para restablecer el rango de pH deseado para un cultivo. Al determinar el potencial hidrógeno solo se determina la acidez activa que se encuentra en la solución del suelo. A la vez, es importante observar que la acidez potencial se encuentra adherida en las arcillas del suelo y en la materia orgánica del suelo (Casanova, 2005).

2.2.7. Aluminio intercambiable

Bernier y Alfaro (2006) mencionan que uno de los factores más importantes en el incremento de la acidez del suelo, es la acumulación de aluminio que se encuentra en la solución de un suelo. El aluminio es desplazado por la arcilla mediante otros cationes que se hidrolizan, es decir, reacciona al entrar en contacto con la molécula del agua, transformándose en complejos poliméricos y monómeros.

Para Espinoza y Molina (1999) las reacciones del aluminio hidrolizado son muy parecidas a la reacción de un suelo ácido que libera los iones hidrógeno. Las continuas disociaciones son de 5.0 que son similares al reactivo de un ácido acético. Una de las reacciones es capaz de liberar hidrógeno que aumenta la acidez. Este aumento de acidez hace la presencia de mayor influencia del aluminio se encuentre en condiciones de reaccionar nuevamente. En pH menores a 5.5, comienza a aumentar la solubilidad de aluminio, mientras más bajo sea el pH la disponibilidad será de mayor cantidad exponencial, que se describe a continuación.

$$Al^{3+} + H_2O \longrightarrow AL\,(OH)^{2+} + H^+$$
$$Al\,(OH)^{2+} + H_2O \longrightarrow AL\,(OH)^{2+} + H^+$$
$$Al\,(OH)^{2+} + H_2O \longrightarrow AL\,(OH)^{3}\,H^+$$

Para Zapata (2004) el aluminio que se encuentra en el suelo proviene de aluminosilicatos que están en cantidades diminutas que influyen en el sistema radicular de la planta. La descomposición del suelo permite la liberación de iones de hidrógeno, teniendo como resultado la sustitución isomórfica. La cuantificación del aluminio que se encuentra en el suelo está relacionada con el pH del suelo, esta concentración se encuentra a pH menores de 5.5, y a medida que disminuye el potencial hidrógeno del suelo la concentración del aluminio se incrementa.

2.2.8. Toxicidad de aluminio

Batista et al. (2012) mencionan que la solución más adecuada para la reducción del aluminio y el manganeso es el encalado, ya que estos dos elementos, aunque se encuentren en concentraciones diminutas, son muy tóxicos para los cultivos. Las cantidades muy altas de aluminio ocasionan la división celular en la parte radicular de la planta, razón por la que la raíz se desarrolla pobremente en los suelos ácidos.

Al incorporar una enmienda cálcica al suelo, se induce al incremento del pH, esto a su vez produce la precipitación del aluminio y manganeso, que de esta manera serán removidos por la solución del suelo como compuestos insolubles. Las grandes cantidades de aluminio inhiben el desarrollo radicular de la planta, razón por la cual estas raíces dañadas por este elemento no son capaces de absorber nutrientes como N, P, K, Ca y Mg.

2.2.9. Efectos del aluminio en el suelo

Para Fassbender (1980) las concentraciones de aluminio del suelo son capaces de ocasionar un problema muy grave en la planta con factores que se encuentran en los suelos como; la materia orgánica, la presencia de cationes y iones, tipos de arcillas y la salinidad, el suelo y el aluminio poseen una relación en la concentración del porcentaje de saturación.

Se realizaron varias investigaciones para mostrar el fuerte incremento del aluminio intercambiable en la solución suelo, en caso de que supere el 40% del intercambio catiónico, lo que se manifiesta como tóxico para la planta. Esto en pH menores de 4.5 y puede llegar a causar grandes pérdidas en las producciones del campo. Por otra parte, la actividad del aluminio se encuentra equilibrada en la fase hidrolítica. "Otro efecto de aluminio en el suelo que es capaz de perjudicar es el fósforo que se encuentra en el suelo de manera $AlPO_4$, de forma insoluble", lo desencadena la disponibilidad del fósforo en el suelo (Casierra y Niño, 2007).

2.2.10. Encalado

Olego et al. (2016) indican que la aplicación de enmiendas cálcicas fue la práctica más usada para mejorar la acidificación de suelos ácidos, la aplicación de enmiendas es uno de los más importantes procedimientos usados para la agricultura con el propósito de mejorar la estructura y la fertilidad del suelo, ya que reduce la cantidad de aluminio intercambiable realizándose un intercambio por calcio y magnesio, produciendo la precipitación de los aniones de hidroxilo que son provocados por la hidrólisis de carbonato en la solución suelo de esta manera se incrementa el pH gracias a esa hidrólisis.

2.2.11. Efectos del encalado

Fassbender (1980) menciona que los efectos de la aplicación de enmiendas cálcicas pueden ser directos o también pueden ser indirectos en suelos ácidos como:

- **Efecto en propiedades físicas:** mejora la estructura y partículas del suelo, la aireación y el movimiento de agua son mejores.
- **Efecto en las propiedades químicas:** eleva los iones hidróxido y reduce los iones hidrógeno en la solución suelo; reducción de la toxicidad del aluminio, manganeso y hierro; un equilibrio en la absorción de los elementos fósforo y molibdeno; aumento de la disponibilidad de calcio y magnesio.
- **Efectos en propiedades biológicas**: crea un ambiente óptimo para el desarrollo de los microorganismos, en especial las bacterias, una mejor mineralización de los restos vegetales en descomposición, aumento de amonificación, nitrificación y fijación de nitrógeno.

2.2.12. Dolomita

La dolomita es una enmienda empleada para la recuperación de suelos ácidos que está compuesta por carbonato doble, magnesio y calcio, teniendo como fórmula química (CaMg $CO_3)_2$. Esta fue desarrollada en el año 1788 - 1789, por el mineralogista y geólogo francés Déodat de Dolomieu, y por respeto a su descubrimiento se le ha denominado con el nombre de dolomita a la enmienda. En la mayoría de los casos este mineral es capaz de reaccionar al aplicar el ácido clorhídrico diluido al 5 %. La dolomita está referenciada como una simple variante caliza, que tiene un 30.41 % de óxido de calcio (CaO), un 21.86 % de óxido de magnesio (MgO) y el 47.73
% de dióxido de carbono (CO_2). En su componente más puro, se observan cristales romboédricos que están deformados y bastante aplastados, curvos a modo de silla de montar, compactos en formas de pequeñas geodas, reportado por (Osorno, 2012).

Magra y Ausilio (2004) y Bernal y Espinosa (2003) coincidieron al mencionar que la dolomita ocupa el 2 % de la corteza terrestre, y se calcula que tiene un 21.7 % de calcio, el 13 % de carbono, 13.18 % de magnesio y un 52.06 % de oxígeno en su totalidad. Mencionan que el nombre se debe al mineralogista francés Dolomieu (1750-1801), quien lo descubrió en los Alpes Franceses donde realizó un pequeño ensayo con el ácido clorhídrico y notó la falta de efervescencia en un gélido de una roca calcárea. La dolomita posee como fórmula CaMg $(CO_3)_2$, que se constituye por el reemplazo de un catión de calcio por otro de magnesio en

los carbonatos de calcio, y frecuenta asociarse con el cuarzo, calcita y minerales de arcilla. En este sentido, es difícil de detectar, aun cuando la dolomita tiene una actitud lenta en el suelo en relación con la calcita.

2.2.13. Silicato

Los silicatos tienen la posibilidad de ejercer una disponibilidad de fósforo para los cultivos, ya que el ácido ortosilícico (H_4SiO_4) es capaz de mover el ion fosfato (H_2PO_4-), que está fijado por los hidróxidos y óxidos de Al y Fe, y también en desplazar los fosfatos ligados en zonas de absorción de las arcillas en el suelo (Álvares y Osorio, 2014).

Para Fassbender (1980) los silicatos por medio de diferentes actitudes tienen la responsabilidad de generar mayor estructura del suelo y mejorar las condiciones del pH, teniendo como formula química $CaMg(SiO_3)_2$, se calcula que tiene un 18.53 % de calcio y 11.09 % de magnesio, estos suelos donde se practica la agricultura se deben a los silicatos que tienen la función de mejorar la acidez y con ello incrementar la absorción de diversos nutrientes, por ello, muchas entidades recomiendan su implementación como fuente cálcica. En los silicatos ocurre un proceso de meteorización por medio de una transformación llamada hidrólisis, donde el mineral posee una reacción lenta al juntarse con el ion hidrógeno e hidroxilo, tales que por medio de diversas actitudes químicas producen su liberación en distintas formas en el suelo (solución suelo).

2.2.14. Calidad de los materiales de encalado

Para Bernier y Alfaro (2006) al elegir una fuente cálcica, se consideran dos factores que determinan el nivel de reacción del suelo, la calidad química y la fineza del material encalante. Esta reactividad tiene relación con la cantidad de la fuente cálcica que se va a neutralizar en un suelo con alto porcentaje de aluminio.

La estructura química establece las proporciones de acidez del suelo que pueden ser solucionadas con la fuente cálcica. A esta neutralización de la enmienda se le denomina con el nombre de "Equivalente Químico". Para decidir el tamaño de neutralización en los suelos se usa un estándar de comparación de carbonato de calcio, que se selecciona para la neutralización del 100 %. También los autores indican que el tamaño de la partícula verifica la rapidez con la cual la enmienda es capaz de controlar un suelo (Espinosa y Molina, 1999).

2.2.15. Sobreencalamiento

Lukin y Epplin (2003) mencionan que la implementación de dosis más grandes de enmiendas cálcicas ocasiona un crecimiento desmesurado de los precios de fabricación sin

gran beneficio que genere en la economía del fabricante, y los encalados desmesurados son capaces de ocasionar los próximos efectos que disminuyan la producción y aceleren la erosión del suelo.

- No controlar el pH en una neutralidad es capaz de ocasionar la infestación de enfermedades en los cultivos.
- Promocionar la deficiencia de nutrientes como el zinc, manganeso, boro, fósforo y potasio es capaz de ocasionar un desbalance de nutrientes como el Ca y Mg.
- La reducción de rendimientos.
- Deteriorar la estructura del suelo, haciendo que se formen agregados pequeños que causen la reducción de tasas de infiltración, puede acelerar la erosión del suelo.

2.2.16. Pureza química

Espinoza y Molina (1999) mencionan que la pureza química tiene como una de sus características a los materiales encalantes que seleccionan su estructura química, y los contaminantes que se encuentran presentes, como los minerales, la materia orgánica y las arcillas. El parámetro que se utiliza para establecer la pureza de la fuente es el "equivalente químico" (EQ), que es una de las formas que se emplean para neutralizar la enmienda aplicada, en especial comparando la capacidad de neutralización de carbonato de calcio refiriéndose químicamente puro.

Tabla 1

Equivalentes químicos de diferentes enmiendas cálcicas para el suelo

Material	Equivalente químico (EQ) (%)	Fórmula química	Contenido de Ca (%)	Contenido de Mg (%)
Carbonato de calcio	100	$CaCO_3$	40	
Dolomita	109	$CaCO_3$+$MgCO_3$	21,6	13,1
Óxido de calcio	179	CaO	71	
Hidróxido de calcio	138	$Ca(OH)_2$	54	
Hidróxido de magnesio	172	$Mg(OH)_2$		41
Carbonato de magnesio	119	$Mg CO_3$		28,5
Óxido de magnesio	248	MgO		60
Silicato de calcio	86		34,4	
Silicato de magnesio	100		24	

Nota: Esta tabla muestra el contenido de Ca y Mg en las enmiendas cálcicas. Adaptado de (Campillo y Sadwarka, 1993; Espinoza y Molina, 1999).

2.2.17. Tamaño de la partícula

Según Usón et al. (2010) la forma más ideal es que la fuente encalante pase el 100 % por la malla mesh número 8 (2.38 mm) y de 70 a 80 % pase por la malla número 60 (0.250 mm). El tamaño de las partículas de los requerimientos mínimos en la calidad estándar, según la información de Brasil son:

- 95 % debería pasar por la malla N° 10 (2 mm).
- 70 % del material debe pasar por la malla N.° 20 (0.841 mm).
- Por lo menos el 50 % debería pasar por la malla N° 60.

Tabla 2

Reacción de enmiendas cálcicas según su tamaño de partícula

Tamaño de partícula del material (mm)	Efectividad	Reacción
>2.38	No efectivo	No hay rección aparente
2.38 - 0.841	20 % efectivo	Reaccionan muy poco
0.841 - 0.25	60 % efectivo	Reaccionan en 10 a 18 meses
0.25 - 0.177	100 % efectivo	Reaccionan en 3 a 6 meses
<0.177	100 % efectivo	Reaccionan en 1 a 3 meses

Nota: Bernier y Alfaro, (2006)

2.2.18. Poder relativo de neutralización total

Para Bernier y Alfaro (2006) el factor relevante de la neutralización sugiere que los porcentajes de enmienda cálcica, que se expresan en "equivalente químico", serán capaces de reaccionar en un tiempo definido. El factor relevante de la neutralización representa el índice de eficiencia en la incorporación de la enmienda cálcica debido a que se considera la calidad química y la finura que recibe, multiplicando la "eficiencia granulométrica por el equivalente químico".

2.2.19. Problema de fósforo en suelos ácidos

Intagri (2019) en las zonas tropicales los suelos Ultisoles y Oxisoles son de características de bajo contenido de fósforo, el cual varía de 1 a 5 ppm (Bray II), por lo que constituyen las principales limitantes de la productividad de los cultivos perennes y anuales. Mientras más alto es el contenido de aluminio y hierro en el suelo, mayor es la retención de fósforo.

2.2.20. Capacidad de intercambio catiónico efectiva

En la FAO (s.f.) se menciona que la capacidad de intercambio catiónico es una medida de las cargas negativas del mineral y componentes orgánicos del suelo (materia orgánica, arcilla) y representa la cantidad de cationes que puede retener como el Ca, Mg, Na y K; estos serán intercambiados por iones de hidrógeno. La C.I.C.E., indica la capacidad del suelo para retener cationes.

2.2.21. Importancia de la capacidad de cambio

Abrego (2012) interviene en el proceso de la dispersión de la arcilla que permite la retención de elementos, es decir, controla la disponibilidad de los elementos nutricionales para las plantas: Ca, Mg, K, entre otros.

2.3. Marco Conceptual

Suelos ácidos: corresponden a aquellos suelos que presentan concentraciones de pH menores a 6.5. tienden a entregar protones, lo cual se realiza calculando la concentración de hidrógeno que se encuentra en la solución suelo, donde está expresado como potencial hidrógeno o llamado pH del suelo (Jaramillo, 2002).

Suelo: es esencial para la vida y es uno de los componentes de la tierra y el ecosistema, donde la necesidad de mantener su productividad es frecuente, ya que a través de la incorporación de prácticas agrícolas se restablece un equilibrio. Cuando el suelo es utilizado de manera idónea y respetuosa puede ser un recurso renovable, motivo por el cual se deben comprender las características químicas y físicas del suelo para mejorar la productividad y llevar un ambiente equilibrado (FAO, 2016).

Encalado: es la incorporación a un suelo compuesto de calcio o magnesio, que consiste en la aplicación de enmiendas, que poseen la efectividad de reducir el aluminio (acidez) del suelo y elevar el pH. Dentro del encalado existen varios materiales que se utilizan para aumentar el potencial hidrógeno del suelo, entre los más destacados están la calcita, dolomita, hidróxido de calcio y óxido de calcio (Espinosa y Molina, 1999).

Aluminio intercambiable: es el principal factor de la acidez del suelo, reconocido como una de las causas de la formación de acidez en el suelo. Los iones de acidez (aluminio) son desplazados hacia las partículas arcillosas y de la misma manera son hidrolizados por otros cationes (reacción con una molécula de agua), de esta manera se forman los complejos monómeros y poliméricos. El incremento de acidez facilita la presencia de aluminio que se encuentra listo para reaccionar de nuevo (Espinosa y Molina, 1999).

Valor de neutralización: es la capacidad de neutralizar ácidos utilizando un producto como encalante agrícola; estas enmiendas dependerán de su composición y del grado de pureza que posea. A este valor de neutralización de un carbonato de calcio original siempre se le asigna el grado de 100 % que realiza su componente de referencia para poder calcular la neutralización de una enmienda cálcica (Bernier y Alfaro, 2006).

Dolomita: es denominada así, debido a que contiene carbonato doble de calcio y magnesio. Es uno de los elementos que se encuentran con mayor deficiencia en suelos ácidos. Existen materiales con el mismo fin, a pesar de que la dolomita como fuente cálcica posee una reacción lenta en el suelo, pero también tiene la ventaja que contiene Mg, a pesar de que utilizan otros materiales para el encalado de los suelos. La dolomita como material puro contiene un 13.1% de magnesio y un 21.6% de calcio (Espinosa y Molina, 1999).

Silicato de magnesio: también llamada serpentina, es una roca compleja y metamórfica que se utiliza a partir de la dunita. Estas rocas están formadas por láminas unidas de silicatos de magnesio, es muy compleja su composición química y mineralógica, que sirven para mejorar los suelos ácidos presentando una corrección de pH y disminución del aluminio (Osorno, 2012).

pH del suelo: en la química de un suelo el pH es considerado como la variable que es capaz de controlar las diferentes reacciones y mecanismos como la solubilidad, el intercambio iónico y la precipitación. El pH de los suelos es la variable más utilizada en gráficos para la comparación con otras variables físicas, químicas, etc. (Zapata, 2004).

Capítulo III

Materiales y Métodos

3.1. Definición de variables

3.1.1. Variables independientes

Dosis de aplicación de enmiendas cálcicas:

- 2.5 t/ha de dolomita.
- 5 t/ha de dolomita.
- 10 t/ha de dolomita.
- 2.5 t/ha de silicato.
- 5 t/ha de silicato.
- 10 t/ha de silicato.
- Testigo absoluto constituido por suelo ácido de Maynas.

3.1.2. Variables dependientes

Propiedades químicas en suelos ácidos.

Disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos.

3.2. Operacionalización de variables

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variable	Indicador	Índice
Variable independiente	Dosis de aplicación de dolomita	T1. 0 t/ha (testigo) T2. 2.5 t/ha dolomita T3. 5 t/ha dolomita T4. 10 t/ha dolomita
Dosis de aplicación de enmiendas cálcicas	Dosis de aplicación de silicato	T5. 2.5 t/ha silicato T6. 5 t/ha silicato T7. 10 t/ha silicato
Propiedades químicas de suelos ácidos	pH de suelo	Incremento de OH
	Acidez intercambiable	Descenso de iones hidrógeno y aluminio mEq-g/100 g de suelo
	Capacidad intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E.)	mEq-g/100 g de suelo
Disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos	Niveles de nutrientes disponibles	fósforo disponible (ppm), potasio disponible (ppm), calcio disponible (ppm) y magnesio disponible (ppm)

3.3. Tipo de investigación

Según Hernández et al. (2014), el tipo de investigación del proyecto es:

- **Experimental puro** porque se explica el efecto de la aplicación de los tratamientos (diferentes dosis de enmiendas cálcicas) sobre las variables dependientes propiedades químicas y disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos.
- Según su propósito, es **aplicada** porque busca una solución a la problemática que ocasionan los suelos ácidos en la producción de cultivos en Maynas. Para la solución de dicho problema, se aportan teorías, antecedentes, técnicas, métodos y el conocimiento práctico sobre el uso de dos enmiendas cálcicas (dolomita y silicato) en un suelo ácido.
- Según el enfoque, es de tipo **cuantitativo** porque las variables dependientes son numéricas y se plantean hipótesis para la comparación de los promedios entre los tratamientos. Los resultados se muestran en tablas y gráficos de la estadística descriptiva.

3.4. Diseño de investigación

El experimento estuvo conformado por 7 tratamientos incluido el testigo absoluto. El diseño de investigación responde al tipo pre prueba y post prueba con grupo control.

Diseño de investigación:

RUE1	O1	X1	O4
RUE2	O2	X2	O5
RUE3	O3	----	O6

Donde:

R: asignación aleatoria, es decir, que los tratamientos han sido asignados de manera aleatoria a las unidades experimentales.

UEi: unidades experimentales.

Xi: tratamiento, estímulo o condición experimental.

Oi: una medición de las variables dependientes antes y después de la aplicación del tratamiento o estímulo.

---- Ausencia de estímulo, tratamiento

testigo. Tratamientos:

Los tratamientos estuvieron constituidos por las dosis de aplicación de dos enmiendas (dolomita y silicato) y un tratamiento testigo constituido solo por suelo ácido proveniente de Maynas, al cual no se aplicó ninguna dosis de enmiendas.

La tabla 4 muestra la conformación de los 7 tratamientos incluido el testigo. Dichos tratamientos fueron dispuestos en un diseño completamente aleatorizado (DCA) con tres repeticiones cada uno.

Tabla 4

Identificación de tratamientos según las fuentes cálcicas, dosis y número de repeticiones en estudio

Tratamientos	Tipos de enmienda cálcica	Dosis de enmienda	Repeticiones por tratamiento
T1	Suelo ácido	0 t/ha	3
T2	Dolomita	2.5 t/ha	3
T3	Dolomita	5 t/ha	3
T4	Dolomita	10 t/ha	3
T5	Silicato	2.5 t/ha	3
T6	Silicato	5 t/ha	3
T7	Silicato	10 t/ha	3

El modelo lineal del diseño experimental fue el siguiente:

$Yij= \mu + \alpha i + eij.$

Donde:

i = Tratamientos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

j = Repetición 1, 2 y 3.

Yij = Observación realizada a la variable dependiente en el tratamiento i y repetición j. αi = Efecto atribuible al tratamiento i.

eijk = Efecto aleatorio del error, asociado a los tratamientos y repeticiones. El arreglo de datos para el procesamiento fue como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5

Notación y arreglo de los datos

Repeticiones	**Tratamientos**						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	Y_{41}	Y_{51}	Y_{61}	Y_{71}
2	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	Y_{42}	Y_{52}	Y_{62}	Y_{72}
3	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	Y_{43}	Y_{53}	Y_{63}	Y_{73}
Media	$\hat{\mathbf{Y}}_{1.}$	$\hat{\mathbf{Y}}_{2.}$	$\hat{\mathbf{Y}}_{3.}$	$\hat{\mathbf{Y}}_{4.}$	$\hat{\mathbf{Y}}_{5.}$	$\hat{\mathbf{Y}}_{6.}$	$\hat{\mathbf{Y}}_{7.}$ $\hat{\mathbf{Y}}_{..}$

3.4.1. Unidad experimental

La unidad experimental estuvo compuesta por 21 muestras de suelos que han sido incubados de manera homogénea en recipientes de 250 g.

3.4.1.1. Dimensiones del área experimental

Fueron las siguientes:

- Largo: 1.40 metros
- Ancho: 0.60 metros
- Número de tratamientos: 7
- Número de repeticiones: 3
- Área total del experimento: 0.84 m^2

3.5. Lugar y ubicación geográfica del experimento

La ejecución de la investigación se realizó en el Laboratorio de Química Agrícola Valle Grande, antigua Panamericana Sur Km 144, **Anexo 2.**

Ubicación política

- País: Perú
- Región: Lima
- Provincia: Cañete
- Distrito: San Vicente

Ubicación geográfica

- Altitud: 30 msnm.
- Latitud: 13°04'53.7"S
- Longitud: 76°23'17.1"W

3.6. Población y muestra

3.6.1. Población

La población de estudio se obtuvo a partir de 2 hectáreas de terreno localizadas en la provincia de Maynas, Iquitos. A partir de ello, se extrajeron muestras representativas en 30 hoyos aleatorios de tipo "V" a una profundidad de 20 cm. Este muestreo se realizó de acuerdo al método sistemático aleatorio, estandarizado por el laboratorio de Valle Grande. De tipo de muestreo cuadrícula, donde en cada punto de muestreo se obtuvo 1 kg de suelo que al final del recorrido constituyó 30 kg por unidad experimental que fueron etiquetados y trasladados a la provincia de Cañete. El recorrido que se realizó en el campo en la toma de submuestras, fue en forma de cuadrícula y de tipo de muestreo de detalle. **Anexo 3.**

3.6.2. Muestra

El tamaño de la muestra representativa se determinó en 21 muestras de 0.150 kg para cada una.

3.7. Procedimiento de la investigación

3.7.1. Técnicas de recolección de datos

3.7.1.1. Recolección y análisis de información. Esta información consistió en la búsqueda y selección de las distintas fuentes documentarias, de manera que se pudo ayudar a profundizar en el tema que se requirió. Con el fin de obtener la información para la redacción del marco y sustento teórico del proyecto de investigación, se acudió a los libros, internet, informes, etc. **Anexo 5.**

3.7.1.2. Entrevista. Se realizó una reunión con el director del laboratorio de química agrícola Valle Grande, La utilización de esta técnica es importante para la recopilación de datos, con la utilización de instrumentos como: **Anexo 6.**

- Guía de libretas de notas.
- Grabador.

3.7.2. Materiales y equipos de investigación

3.7.2.1. Materiales y equipos de campo. Se utilizaron los siguientes materiales.

- Bolsas.
- Libreta de campo.
- Hilo pabilo o rafia.
- Costal.
- Etiquetas.
- Balde transparente de 20 L.

- Lápiz y borrador.
- Cámara.

3.7.2.2. Herramientas de campo

- Lampa.
- Machete.
- Cuchillo.

3.7.2.3. Equipos de laboratorio

- Balanza digital.
- Calculadora.
- Cámara.
- Laptop.

3.7.2.4. Materiales de laboratorio

- Guantes.
- Papel higiénico.
- Bolsas.
- Cuaderno.
- Lápiz y borrador.
- Plumón indeleble.
- Hojas bond.
- Bandejas azules.
- Tamiz de 2 mm.
- USB de 32 GB.

3.7.2.5. Insumos y reactivos

- Dolomita.
- Silicato.
- Alcohol al 96 %.

3.7.2.6. Servicios

- Internet.
- Imprenta.

3.7.3. Procedimiento

El procedimiento de la recolección y análisis del suelo se realizó de acuerdo al método estandarizado por ministerio de agricultura y riego (Tapia, 2017). De la misma manera por el método estandarizado por el laboratorio Valle Grande. Teniendo en cuenta el manual (Sadzawka et al., 2006).

Se decidió dividirlo en 5 etapas:

Etapa I: recolección y envío de la muestra a investigar.

A) Sectorización del lote. Este punto constituyó la partida inicial de esta investigación donde se realizó el croquis del predio correspondiente, para poder muestrear las submuestras de los 30 puntos.

B) *Cartaboneo.* Se procedió al cartaboneo para delimitar el efecto borde, a una distancia de 3 metros alrededor de toda el área a muestrear.

C) *Apertura del muestreo.* Se utilizó la técnica del muestreo sistemático aleatorio, donde se pudieron extraer un total de 30 submuestras de suelo.

D) Extracción de muestra representativa. Se realizó en los siguientes puntos:

- Una vez ubicados los 30 puntos de muestreo, se empezó con la apertura del muestreo de suelo a una profundidad de 20 cm. La proyección de estos puntos ha sido marcada para futuras muestras.
- Cada submuestra tuvo el mismo volumen de suelo y todas fueron vaciadas en un balde limpio (muestra compuesta).
- Una vez culminado, se pasó a una bolsa limpia para homogenizar y ser llenada en un recipiente limpio procediendo a su traslado correspondiente.
- La muestra compuesta (30 kg) fue etiquetada con los datos correspondientes al momento de enviar al laboratorio.

E) *Traslado de la muestra.* La muestra fue trasladada a la agencia de envíos de encomiendas y después a la provincia de Cañete.

Ubicación del muestreo de suelo ácido

Ubicación política

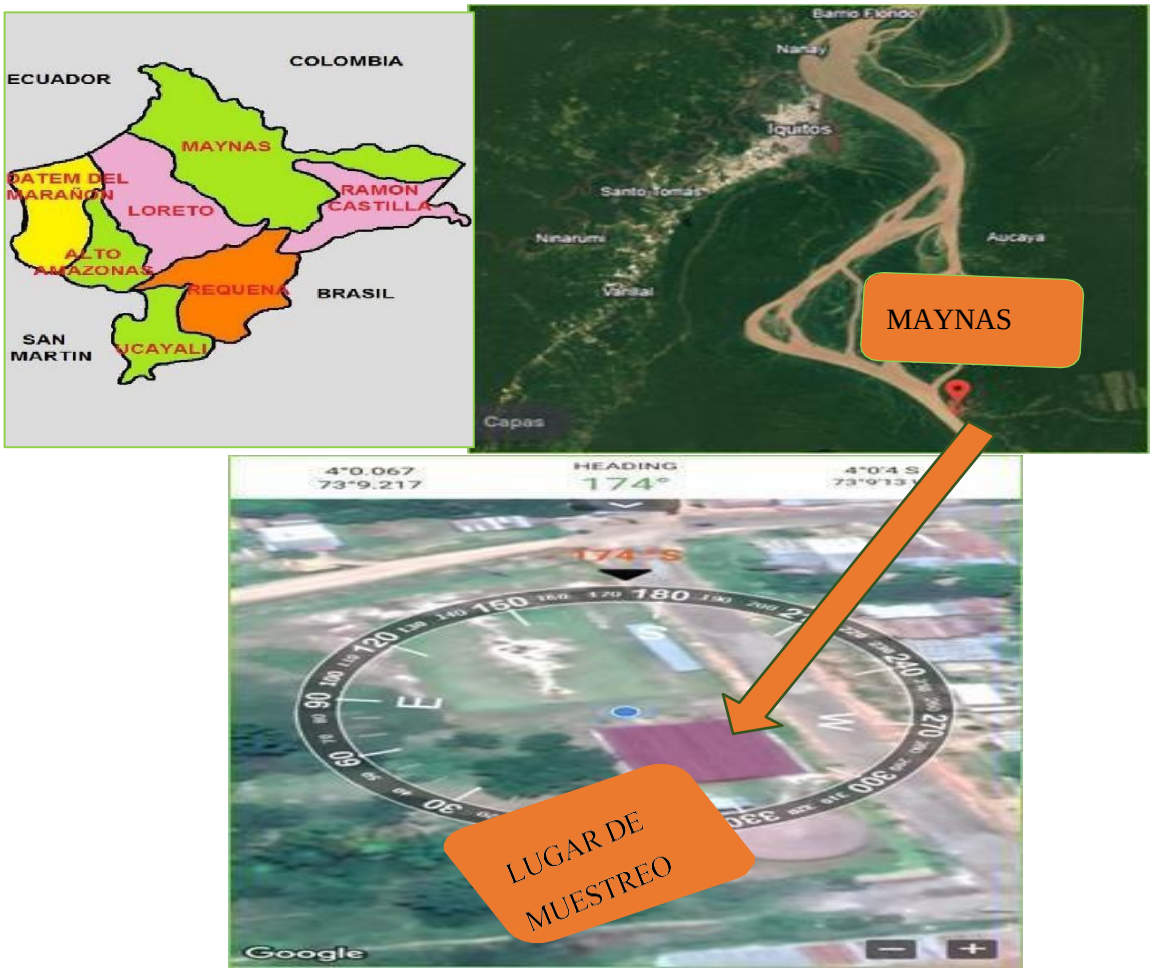
- Región: Iquitos
- Provincia: Maynas
- Localidad: Tamshiyacu

Ubicación geográfica

- Altitud: 106 msnm.
- Latitud: 4°00'04.1"S
- Longitud: 73°09'13.7"W

Figura 1

Ubicación del muestreo del suelo en la provincia de Maynas, Iquitos



Fuente: Google maps (2023)

Etapa II: preparación del suelo y análisis de caracterización. Una vez que llegó la muestra al laboratorio de Valle Grande se realizaron los siguientes procesos:

A) ***Puesta en recepción del laboratorio.*** La agencia de envíos se encargó de traer la muestra hasta la recepción del laboratorio de Valle Grande. **Figura 3 (a).**

B) ***Secado de muestra.*** El suelo fue secado en una estufa a una temperatura no mayor a 40 ± 2 °C, hasta que la pérdida de masa no superara un 5 % en un tiempo de 24 horas aproximadamente. **Figura 3 (b).**

C) ***Tamizado de muestra.*** El tamizado se realizó a través de un tamiz de 2 mm (fracciones finas); aquellos terrones que no pasaron por el tamiz fueron disgregados en un mortero y luego se volvió a tamizar, una vez tamizada la muestra del suelo se extrajo 1 kg para ser usado en el análisis pre test. **Figura 3 (c).**

D) ***Resultados de análisis de caracterización pre test.*** Los parámetros que se determinaron fueron un paquete completo, incluidos dentro de ellos los elementos que fueron monitoreados en la investigación, como es el caso de fósforo disponible, calcio disponible, magnesio disponible, potasio disponible, pH (1/1), aluminio + hidrógeno. **Anexo 7.**

Tabla 6

Análisis físico-químico del suelo (pre test)

Parámetros	Resultado	Unidad	Método	Técnica	Interpretación
pH (1/1)	4.28	-	MES – 005	Electrométrico	Ácido
ACIDEZ	1.72	mEq-g/100g	MES – 014	KCL/Volumétrico	Medio-alto
C.I.C.E.	2.97	mEq-g/100g	MES – 017	Cálculo Matemático	Bajo
P – DISPONIBLE	3.20	Ppm	MES – 006	Bray l	Bajo
K - DISPONIBLE	36.8	Ppm	MES – 009	Acetato de Amonio	Bajo
Ca - DISPONIBLE	134.27	Ppm	MES – 010	FAAS	Bajo
Mg - DISPONIBLE	35.26	Ppm	MES – 011	FAAS	Bajo

Etapa III: método de incubación

Alvarado (1999) menciona que el método de incubación consiste en agregar dosis crecientes de enmiendas cálcicas a la muestra del suelo, incubar por un tiempo determinado y medir el pH. A partir de la investigación realizada durante el periodo de noviembre 1997 a abril de 1999, de los datos obtenidos de la gráfica, se verificó la cantidad necesaria de enmienda a incorporar al suelo para poder alcanzar el nivel de pH deseado. Los datos se registraron durante el mes de abril de 1999.

La dolomita y el silicato fueron adquiridos de una empresa privada, y se realizaron los análisis correspondientes antes de utilizarlos en las muestras de incubación. **Anexos 8 y 9.**

Se procedió con los siguientes pasos:

A) ***Pesado de muestra.*** Los suelos fueron pesados en recipientes de 250 g, el volumen de muestra a pesar fue de 0.150 kg, y en total se pesaron 21 muestras para el método de incubación. **Anexo 12.**

B) ***Pesado de fuentes cálcicas.*** Se pesaron dolomita y silicato, utilizando la balanza de cuatro dígitos, y después se agregaron a las muestras de 0.150 kg, de suelo para su procedimiento de homogeneización. **Anexo 11.**

C) ***Homogeneización.*** Las muestras que se pesaron y agregaron con las fuentes cálcicas dentro de los recipientes adecuados, fueron homogeneizadas de manera ordenada.

D) ***Capacidad de campo*****.** Después de homogeneizarse las muestras fueron agregadas con agua desionizada hasta llegar a capacidad de campo. Seguidamente, se instalaron en un espacio de incubación en condiciones de laboratorio, donde se desarrolló un monitoreo constante.

Monitoreo. El monitoreo de las muestras se llevó a cabo por parte del tesista, calculando el peso de las muestras incubadas que fueron mantenidas a capacidad de campo. Las pérdidas de agua que se dan durante el día se compensan con agua desionizada todos los días con el fin de mantener a capacidad de campo las muestras incubadas. **Anexo 13.**

Durante todo el tiempo fue monitoreado por el tesista en el laboratorio LQA-Valle Grande.

E) ***Periodo de tiempo de incubación.*** El periodo de tiempo de incubación fue de 3 meses.

F) ***Condiciones de la muestra.*** Los recipientes, ya homogeneizados y mezclados con agua desionizada hasta el punto de capacidad de campo, fueron puestos en condiciones de laboratorio (30 °C ±2) y monitoreados por el tesista. **Anexo 10.**

Figura 2

Proceso de recepción, secado y tamizaje de muestras del proyecto de investigación



Nota: A) Recepción de Laboratorio, B) Secado de muestras y C) Tamizado.

A) ***Recepción de muestras en laboratorio*****:** la muestra traída de la provincia de Maynas-Iquitos, es recibida por el tesista en el Laboratorio de Valle Grande, para su proceso de incubación.

B) ***Secado de muestras*****:** en la figura 3.B, se observa el suelo secando en la estufa a una temperatura de 40 ±2 °C.

C) ***Tamizado*****:** en la figura 3.C, se observa el tamizado (tamiz de 2 mm) del suelo por el tesista.

Tabla 7

Cálculo de enmiendas inorgánicas para la incubación de muestras

VOLUMEN DEL SUELO

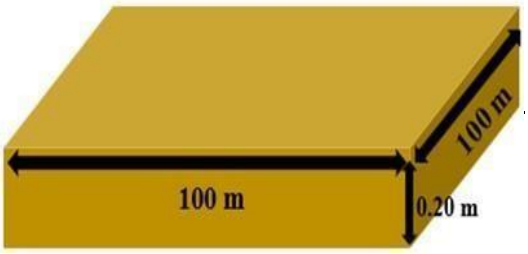
V= 10,000*0.20
2000 M3

DENSIDAD APARENTE =(M/V)

Da = 43.73/37.01
= 1.18g/cm^3
= 1180 kg/m^3

Masa de incubación del suelo

Suelo de 150 g.
⇩
0.150 kg.



MASA DEL SUELO M=Dxs

2360000 kg
= 2360 t/ha

APLICACIÓN DE DOLOMITA EN CAMPO

2.5 t/dolomita

2500 kg Dolomita 2360000 kg suelo

X……. 0.150 kg suelo
X……. 0.000159 kg de dolomita

X.....**0.159 gr. de dolomita en 0.150 kg. Suelo.**

APLICACIÓN DE SILICATO EN CAMPO

2.5 t/silicato

2500 kg Silicato 2360000 kg suelo

X……... 0.150 kg suelo
X…….. 0.000159 kg silicato

X.....**0.159 gr. de silicato en 0.150 kg. Suelo.**

5 t/dolomita

5000 kg Dolomita 2360000 kg suelo

X……. 0.150 kg suelo
X……. 0.000318 kg de dolomita

X.....**0.318 gr. de dolomita en 0.150 kg. suelo.**

5 t/silicato

5000 kg Silicato 2360000 kg suelo

X……... 0.150 kg suelo
X…… 0.000318 kg silicato

X.....**0.318 gr. de silicato en 0.150 kg. Suelo.**

Etapa IV: Análisis de muestras de incubación

A) ***Análisis del suelo ácido incubado.*** Los análisis del suelo se realizaron teniendo en cuenta la tabla de operacionalización de variables, donde se obtuvieron los resultados como se observa en el **anexo 14.**

Parámetros de Evaluación:

1. ***Determinación de pH mediante el potenciómetro***

Aragon (2023), menciona que el potenciómetro fue creado por Arnold Orville Beckman en 1934. Es un sensor que se utiliza para medir electroquímicamente el valor de pH de una solución, mide la actividad de los iones de hidrógeno en una solución acuosa y expresa su acidez o alcalinidad en términos de pH.

El pH es uno de los parámetros que mejor reflejan las propiedades químicas que posee el suelo. Consiste en introducir el electrodo a una solución suelo de pH-suelo y se determinará el valor de la proporción 1:1 de la solución.

Desarrollo del método análisis. Se realizó en los siguientes pasos:

Primero: pH metro limpio.

Segundo: calibrar adecuadamente.

Tercero: poner el suelo y leer la lectura correspondiente.

Cuarto: reporte de resultado.

Quinto: limpieza y orden del pH metro.

Procedimiento:

- Una vez tamizada la muestra, ordenada, etiquetada con los niveles de tratamiento.
- Se procedió a pesar la muestra (40 g) en una balanza analítica OAUS MODELO SCOUT PROSP 401.
- Se utilizó vaso descartable de 3 onzas enumerado de forma consecutiva.
- Al momento del pesado se colocó el vaso de 3 onzas encima de la balanza, se tara y se pesa 40 g.

  Importante: Para no contaminar la muestra se debe limpiar la espátula al pasar de una muestra a otra.
- Una vez pesada la muestra se le agregó 40 ml de agua desionizada con el dispensador digital y homogeneizar con una bagueta por 10 segundos.

- Se reposó por 30 minutos.
- Para poder leer el pH, se calibró el potenciómetro (Thermo Scientific - Modelo Orion 3 Star) con 3 patrones de referencia que tienen el pH fijo (buffer) de 4.01, - 7.00 y 10.00.
- Pasados los 30 minutos se volvió a agitar la muestra y se colocó el electrodo para poder determinar el pH por el método del potenciómetro.
- Una vez terminada la determinación del pH, se registraron los datos para su procesamiento e interpretación.

2. Determinación de acidez intercambiable

Kamprath (1970), menciona que la acidez intercambiable consiste en estimar por titulación con hidróxido de sodio, después de una extracción con una solución de cloruro de potasio 1 N, y se vuelve a titular con ácido clorhídrico con la diferencia entre los dos nos indicará la intercambiable en el suelo.

Para determinar la acidez intercambiable en suelos con pH <5.5 este método consiste en estimar la cantidad de hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{3+}) intercambiables que se encuentran en el suelo, esto se realiza por medio de una titulación con hidróxido de sodio a 1 N.

A) Equipos y materiales

- Agitador recíproco.
- Embudos de PBC.
- Papel filtro.
- Matraz de 50 ml.
- Bureta de 10 ml.
- Tubos de 20 ml.
- Pipeta automática de 5 ml.
- Fiola de 1000 ml.
- Fiola de 100 ml.
- Bombilla o chupón.
- Espátula.
- Papel higiénico (para limpieza).
- Soporte.

B) Reactivos

1. Pesar cloruro de potasio (KCl) 74.56 g y llevar a volumen 1000 ml en una fiola con agua desionizada.
2. **Fenolftaleína:** disolver 1 g de fenolftaleína en 100 ml de alcohol etanol al 95 %, en una fiola de 100 ml.
3. **Hidróxido de sodio (NaOH 0.01 N)**: pesar 0.400 g de NaOH y llevar a volumen de 1000 ml.

C) Procedimiento

- Se pesaron 2.00 g de muestra en un matraz de 50 ml.
- Se adicionaron 20 ml de cloruro de potasio a 1 N.
- Se agitó por 30 minutos en un agitador recíproco.
- Se filtró la muestra agitada en tubos de 20 ml por 5 minutos.
- Se extrajo 5 ml de alícuota de la solución obtenida del cloruro de potasio.
- A la solución anterior, se agregaron 2 gotas fenolftaleína.
- Se llenó la bureta de 10 ml (hidróxido de sodio a 0.01 N).
- Se calculó el gasto del hidróxido.
- Reportó el gasto del blanco y muestras.

3. Determinación de cationes intercambiables

Según Fuentes (1971), los cationes intercambiables en el suelo consisten en determinar las concentraciones de calcio, magnesio y potasio. Esta determinación se realiza mediante el método de espectrofotometría de absorción y emisión atómica con llama de aire-acetileno. Las concentraciones de cada catión en el análisis nos indican qué tan fértil es el suelo para la nutrición de las plantas, para determinar los cationes intercambiables se siguen los siguientes procedimientos.

A) Materiales

- Fiola de 100 ml.
- Papel filtro.
- Embudos de plástico.
- Pipeta automática de 1 – 5 ml.

- Pipeta graduada de 20 ml.
- Tubo de ensayo 14.50 x 1.50.
- Rejilla de soporte de tubos.
- Dispensador.

B) Reactivos

- Óxido de lantano (L_2O_3).
- Acetato de amonio ($C_2H_7NO_2$).
- Agua ultrapura.
- Estándar 1000 ppm Na.
- Estándar 1000 ppm Mg.
- Estándar 1000 ppm K.
- Estándar 1000 ppm Ca.
- Gas acetileno (C_2H_2).
- Oxígeno (O_2).

C) Equipos

- Perkin Elmer Analyst 100.
- Balanza de precisión.
- Agitador vortex.

Procedimientos.

Lavado:

- Se colocon los embudos en la fiola y después en los filtros.
- Se pesaron 5 g de muestra de suelo tamizado y adicionarlo al filtro.
- Se lavó el suelo pesado, con acetato de amonio 1 mol/L a pH 7.0, hasta la medida de la fiola de 100 ml.
- Luego se enrazó y se agitó.

Dilución:

- Una vez agitada la fiola se retiró 1 ml de muestra hacia el tubo de ensayo.
- Se adicionó 1 ml de reactivo óxido de lantano y 8 ml de agua ultrapura.
- Se obtuvo 10 ml de muestra.

Lectura: se prendió y se calibró el equipo según los amperios de cada elemento para trabajar las cuales son:

- Mg 6 A.
- K 12 A.
- Ca 10 A.
- Se agitó la muestra y leer.
- Las lecturas de Ca van a depender de acuerdo al pH, es decir, las muestras con pH mayor a 7 no se realiza la lectura de calcio, y las muestras con pH menores a 7 sí se cuantifican.

Nota: Las diluciones comprenden solo 1/10; las diluciones pueden ser excepcionalmente mayores a la muestra. A más concentración, diluciones más altas 1/20, 1/30, 1/50, etc.

D) Preparación de reactivo Acetato de amonio:

- Pesar 77.6234 g., de acetato de amonio en un vaso precipitado.
- Luego vaciar el contenido añadiendo agua desionizada a una fiola de 1000 ml.
- Enrasar y agitar.

Óxido lantano:

- Pesar 20 g en papel de aluminio.
- Vaciar el contenido a una fiola de 1000 ml.
- Luego adicionar 50 ml de ácido clorhídrico puro.
- Como último paso, enrasar con agua desionizada y agitar.

4. Determinación de fósforo por el Método de Bray II

Mendoza y Marbán (1990), mencionan que la solución de Bray II (HCl 0.1 N y NH_4F 0.03 N) disuelve algunos fosfitos fácilmente solubles en ácido como los fosfatos de calcio y una parte de los fosfatos de hierro y aluminio. En la solución ácida, el NH_4F disuelve los fosfatos de hierro y aluminio por medio de la formación de complejos con el ion fluoruro.

A) Equipos y materiales

- Agitador recíproco.
- Espectrofotómetro.
- Balanza analítica.
- Embudos de PBC.
- Papel filtro.
- Matraz de 50 ml.
- Tubos de 20 ml.
- Pipeta automática de 5 ml.
- Bombilla de succión.
- Espátula.
- Papel bond para el pesado.
- Papel higiénico (para limpieza).

Reactivos:

- Fluoruro de amonio = 1.11 g.
- Ácido clorhídrico = 2.16 ml.
- Disolver en 1000 ml de agua desionizada y el pH se ajustará en 2.6 – 2.7.
- Carbón activo: debe estar libre de fósforo.

Preparación de molibdato de amonio

- Pesar molibdato de amonio 2.40 g en 1000 ml de agua destilada.
- Agregar tartrato de potasio y anti amonio 0.06 g.
- Agregar ácido sulfúrico (puro) 34 ml.

B) Procedimiento:

- Se pesó 1 g de suelo en un matraz de 50 ml.
- Se agregó carbón activo 0.5 g.
- Se adicionaron 20 ml de Bray II.
- Se agitó por 30 minutos.
- Se filtró en tubos de ensayo en un promedio de 5 minutos.
- Una vez filtrado se tomaron 2 ml de la muestra con una pipeta automática.
- Se agregó 8 ml de molibdato de amonio.

- Se agitó la muestra + reactivo.
- Se esperó 40 minutos para la reacción del fósforo.
- Se procedió a leer en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 890 nm.

5. Determinación de capacidad intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E.)

Según Fuentes (1971), se han usado numerosos procedimientos para determinar la C.I.C.E. Conocer la capacidad intercambio catiónico de un suelo es fundamental porque nos indica el potencial de un suelo para poder retener e intercambiar nutrientes.

A) Reactivos

- Acetato de amonio 1N.
- Alcohol 95%.
- Cloruro de potasio.
- Hidróxido de sodio.
- Formaldehído.
- Fenolftaleína.

B) Equipos

- Balanza (Ohaus Discovery).
- Bureta.
- Soporte.

C) Materiales

- Fiola de 100 ml.
- Filtro.
- Embudos.
- Pipeta manual.

D) Desarrollo del método analítico

- Se pesó 5 g de suelo en una fiola de 100 ml.
- Se lavó con acetato de amonio 1N.
- Luego se procedió a lavar con alcohol 95% en la misma fiola.
- Una vez terminado se lavó la fiola y se vuelve a lavar el mismo suelo con cloruro de potasio a una capacidad de 100 ml.
- Se agitó la fiola.
- Se sacaron 5 ml de la solución en un matraz de 50 ml.

- Agregar 2 ml de formaldehído y dos gotas de fenolftaleína.
- Titular con hidróxido de sodio.
- Reporte de resultados.

En la tabla 8 se presentan los resultados de un análisis de suelo homogéneo, comparando los valores de varias propiedades químicas del suelo antes (pre test) y después (post test) del proceso de incubación, de acuerdo con los tratamientos aplicados.

Tabla 8

Análisis de suelo homogenizado, antes y después del proceso de incubación, según tratamientos

Análisis (1/1)	Tratamientos	pH	Acidez Intercambiable (mEq-g/100g)	P-Disponible (ppm)	C.I.C.E. (mEq-g/100g)	K - Disponible (ppm)	Ca - Disponible (ppm)	Mg - Disponible (ppm)
Resultados pre test	Suelo ácido	4.28	1.72	3.20	2.97	36.80	134.27	35.26
Resultados post test	T1. S. ácido – Testigo	4.60	1.61	3.31	2.91	38.98	146.82	35.30
	T2. 2.5 t/ha Dolomita	5.16	0.57	3.40	3.64	40.27	392.07	95.60
	T3. 2.5 t/ha Silicato	5.07	0.58	3.53	3.69	41.13	396.20	94.67
	T4. 5 t/ha dolomita	5.48	0.23	4.07	4.89	39.27	619.20	149.00
	T5. 5 t/ha Silicato	5.52	0.22	4.07	4.95	40.80	620.47	150.33
	T6. 10 t/ha Dolomita	6.47	0.11	6.40	7.54	39.40	1027.27	243.60
	T7. 10 t/ha Silicato	6.47	0.11	6.33	7.77	40.53	1056.07	248.80
Método		MES-MES-005	MES-006	001	MES - 017	MES - 009	MES - 010	MES – 011
	Técnica	Electrométrico	KCL/Volumétrico	Bray I	Cálculo Matemático	Acetato de Amonio	FAAS	FAAS

En la tabla 8, se observa la aplicación de las enmiendas cálcicas frente al suelo ácido, las cuales son el resultado de los análisis pre-test y post-test, teniendo como parámetros el análisis químico y la disponibilidad de nutrientes. En esta tabla se pueden observar los análisis luego de 3 meses (post-test). Los resultados que arroja nos indican cómo las enmiendas

cálcicas, de dolomita y silicato, mejoran significativamente las propiedades químicas del suelo ácido, permitiendo aumentar el pH y la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes como fósforo, calcio y magnesio, aunque el potasio muestra un efecto menos significativo. Por otro lado, la aplicación de las enmiendas reduce la acidez intercambiable del suelo. A continuación, se describe el comportamiento de las variables estudiadas:

- pH: inicialmente, antes de la aplicación de los tratamientos (pre-test), fue de 4.28, lo que indica que el suelo tiene una acidez elevada. Después de la aplicación de enmiendas entre silicato y dolomita (post-test), el pH aumenta significativamente en todos los tratamientos. Los tratamientos con las mayores dosis de enmiendas (T6: 10 t/ha dolomita y T7: 10 t/ha silicato) muestran el mayor aumento en pH, alcanzando un valor de 6.47, lo que indica un aumento considerable en el pH del suelo, acercándolo a un pH más neutro.
- Acidez intercambiable (mEq-g/100g): en el pre-test fue de 1.72 mEq-g/100g. Después de la aplicación de las enmiendas, la acidez intercambiable disminuye notablemente en todos los tratamientos. La mayor reducción se observa en T6 y T7, donde la acidez llega a 0.11 mEq-g/100g, lo que demuestra la efectividad de las dosis más altas de dolomita y silicato para neutralizar la acidez intercambiable del suelo.
- Fósforo disponible (ppm): antes de la aplicación de los tratamientos el contenido de fósforo disponible fue de 3.20 ppm. Después de la aplicación de las enmiendas, se observa un aumento en todos los tratamientos. En T6 (10 t/ha de dolomita), el fósforo disponible alcanza su mayor valor (6.40 ppm), seguido de T7 (6.33 ppm), lo que sugiere que las enmiendas cálcicas también mejoran la disponibilidad de fósforo en el suelo.
- Capacidad de intercambio catiónico efectiva (mEq-g/100 g): antes de la aplicación de los tratamientos, la C.I.C.E. es de 2.97 mEq-g/100 g. Después de la incubación, la

  C.I.C.E. aumenta en todos los tratamientos, especialmente en T6 y T7, donde se alcanzan valores de 7.54 y 7.77 mEq-g/100 g, respectivamente. Esto indica que las dosis más altas de dolomita y silicato incrementan la capacidad del suelo para retener y suministrar cationes esenciales.
- Potasio disponible (ppm): en el pre test el potasio es de 36.80 ppm. Tras la incubación, se observan incrementos ligeros en todos los tratamientos, alcanzando

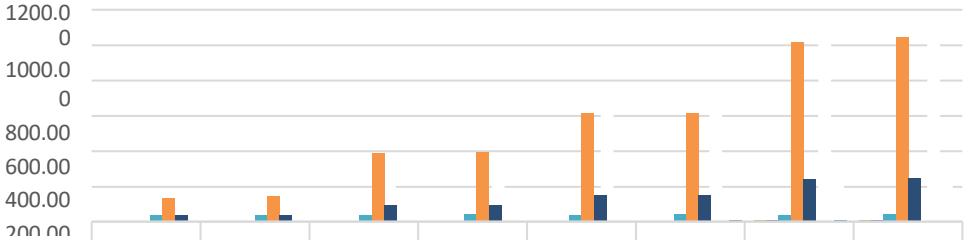
un máximo de 41.13 ppm en T3 (2.5 t/ha de silicato). Sin embargo, el potasio no muestra grandes variaciones en comparación con otras variables, sugiriendo que la aplicación de enmiendas tiene un efecto limitado en este nutriente.

- Calcio disponible (ppm): en el pre-test, el calcio disponible en el suelo ácido fue de 134.27 ppm. Tras la incubación, se observa un aumento significativo en el calcio disponible, particularmente en T6 y T7, donde se alcanzan valores de 1027.27 y 1056.07 ppm, respectivamente. Esto indica que las enmiendas cálcicas, especialmente a dosis más altas, mejoran considerablemente la disponibilidad de calcio en el suelo.
- Magnesio disponible (ppm): en el pre-test, el magnesio disponible fue de 35.26 ppm. Después de la incubación, el magnesio disponible también aumenta en todos los tratamientos. Al igual que con el calcio, los mayores aumentos se observan en T6 y T7, donde se alcanzan 243.60 y 248.80 ppm, respectivamente. Esto resalta el efecto positivo de las enmiendas cálcicas, especialmente del silicato, sobre la disponibilidad de magnesio en el suelo.

La figura 3 presenta los resultados de pH, acidez intercambiable, capacidad de intercambio catiónico efectivo y la disponibilidad de nutrientes (fósforo, potasio, calcio y magnesio) para los diferentes tratamientos aplicados con dolomita y silicato en dosis de 2.5 t/ha, 5 t/ha y 10 t/ha, incluyendo un testigo sin enmienda.

Figura 3

Análisis de suelo homogenizado, antes y después del proceso de incubación, según tratamientos



	Suelo ácido	T1. Testigo	T2. 2.5 t/ha dolomita	T3. 2.5 t/ha silicato	T4. 5 t/ha dolomita	T5. 5 t/ha silicato	T6. 10 t/ha dolomita	T7. 10 t/ha silicato
pH (1/1)	4.28	4.60	5.16	5.07	5.48	5.52	6.47	6.47
Acidez (mEq-g/100g)	1.72	1.61	0.57	0.58	0.23	0.22	0.11	0.11
P - Disponible (ppm)	3.20	3.31	3.40	3.53	4.07	4.07	6.40	6.33
C.I.C. (mEq-g/100g)	2.97	2.91	3.64	3.69	4.89	4.95	7.54	7.77
K - Disponible (ppm)	36.80	38.98	40.27	41.13	39.27	40.80	39.40	40.53
Ca - Disponible (ppm)	134.27	146.82	392.07	396.20	619.20	620.47	1027.27	1056.07
Mg - Disponible (ppm)	35.26	35.30	95.60	94.67	149.00	150.33	243.60	248.80

Los resultados de la figura 3 muestran un aumento significativo en el pH del suelo a medida que se incrementan las dosis de enmiendas cálcicas (dolomita y silicato). El pH del suelo ácido inicial (4.28) sube hasta 6.47 con la aplicación de 10 t/ha de dolomita (T6) y silicato (T7), lo que indica un notable aumento de pH del suelo. Este aumento en el pH está acompañado por una disminución significativa de la acidez intercambiable, que se reduce desde 1.72 mEq- g/100 g en el suelo ácido a solo 0.11 mEq-g/100 g en los tratamientos con las dosis más altas (T6 y T7).

En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico efectivo (C.I.C.E.), se observa un aumento progresivo a medida que se incrementan las dosis de enmienda. La C.I.C.E., inicial del suelo ácido es de 2.97 mEq-g/100 g, y con la aplicación de 10 t/ha de dolomita o silicato, aumenta hasta 7.54 y 7.77 mEq-g/100 g, respectivamente. Esto sugiere una mejora en la capacidad del suelo para retener cationes, mejorando la fertilidad y la estructura del suelo.

En cuanto a la disponibilidad de nutrientes, se observa que la disponibilidad de calcio muestra un incremento sustancial con el aumento de las dosis de enmiendas. En el suelo ácido, el calcio disponible es de 134.27 ppm, y alcanza 1027.27 ppm con 10 t/ha de dolomita (T6) y 1056.07 ppm con silicato (T7). Este resultado confirma el efecto directo de las enmiendas cálcicas en la provisión de este nutriente.

El magnesio disponible también aumenta notablemente con el incremento en las dosis de dolomita y silicato. El contenido de magnesio en el suelo inicial es de 35.26 ppm, y llega a 243.60 ppm con 10 t/ha de dolomita (T6) y 248.80 ppm con 10 t/ha de silicato (T7), mostrando una mejora en la disponibilidad de este nutriente esencial.

En cuanto al fósforo disponible, también se registra un aumento con la aplicación de enmiendas, aunque el incremento es más moderado en comparación con calcio y magnesio. El fósforo disponible en el suelo ácido es de 3.20 ppm, llegando a 6.40 ppm en T6 y 6.33 ppm en T7, lo cual sugiere una mejora en la disponibilidad de este nutriente clave para el desarrollo de las plantas.

Por otro lado, el potasio disponible no presenta variaciones significativas entre los tratamientos, manteniéndose alrededor de 40.53 ppm en todas las dosis aplicadas. Esto indica que las enmiendas cálcicas no tienen un impacto directo sobre la disponibilidad de potasio.

3.8. Plan de Tratamiento de Datos

Los tratamientos en estudio están conformados por 7 tratamientos, los cuales incluyen el testigo absoluto, que se dispuso en un DCA con 3 repeticiones, formando 21 unidades experimentales.

Se realizó una única incubación de enmiendas cálcicas (dolomita y silicato) durante todo el periodo experimental (3 meses).

3.8.1. Técnicas estadísticas

Una vez concluido el trabajo experimental, se procedió a la uniformización de datos, luego al análisis exploratorio de estadísticos descriptivos y al cumplimiento de las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas. Para ello se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis para la normalidad

Para la prueba se utilizó los residuos estandarizados de cada variable según los tratamientos, el estadístico de prueba fue Ryan Joiner equivalente a la prueba de Shapiro Wilk, para ello se plantearon las siguientes hipótesis:

Ho: Los residuos se distribuyen normalmente. H1: Los residuos no se distribuyen normalmente. Nivel de significancia: a = 0.05.

El criterio para rechazar la hipótesis nula (Ho) fue si el Valor-p < 0.05.

Hipótesis de homogeneidad de varianzas

Para la prueba de homogeneidad de varianzas se acudió a dos estadísticos: Bartlett, cuando los datos provienen de una distribución normal y Levene cuando los datos no cumplen el supuesto de normalidad. Para ello se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: Todas las varianzas son iguales.
H1: Por lo menos una varianza es diferente. Nivel de significancia: a = 0.05.

El criterio para rechazar la hipótesis nula (Ho) fue si el Valor-p < 0.05.

La tabla 9 muestra los resultados de la prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para cada variable de estudio, lo que permitió seleccionar el estadístico de prueba de comparación de promedios múltiples.

Tabla 9

Tabla de normalidad y homogeneidad de varianza de las propiedades químicas y disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de la provincia de Maynas, Iquitos

Variables	Normalidad de los residuos			Homogeneidad de varianzas		Resultados del análisis	Selección de la prueba de Hipótesis
	N	Ryan Joiner (RJ)	Valor-p	Bartlett Levene *	Valor-p		
Propiedades químicas del suelo							
pH (1/1)	21	0.974	>0.100	2.93	0.88	Datos normales y varianzas homogéneas	ANOVA de un factor
Acidez intercambiable (mEq-g/100 g)	21	0.918	<0.010	0.81*	0.522	Datos no normales y varianzas homogéneas	ANOVA de un factor
C.I.C.E. (mE-g/100 g)	21	0.973	>0.100	11.65	0.07	Datos normales y varianzas homogéneas	ANOVA de un factor
Disponibilidad de nutrientes							
Fósforo disponible (ppm)	21	0.988	>0.100	9.74	0.083	Datos normales y varianzas homogéneas	ANOVA de un factor
Potasio disponible (ppm)	21	0.979	>0.100	10.83	0.094	Datos normales y varianzas homogéneas	ANOVA de un factor
Calcio disponible (ppm)	21	0.915	<0.010	1.93*	0.146	Datos no normales y varianzas homogéneas	ANOVA de un factor
Magnesio disponible (ppm)	21	0.971	>0.100	14.55	0.024	Datos normales y varianzas heterogéneas	Kruskall Wallis

Nota: * Se utiliza el estadístico de Levene debido a que el conjunto de datos proviene de una distribución libre (no normal).

Según la tabla 9, las propiedades químicas del suelo están constituidas por el pH, acidez, C.I.C.E. En relación al pH (1/1), la prueba de Ryan-Joiner arroja un valor-p mayor a 0.100, indicando que no se puede rechazar la hipótesis de normalidad. Por tanto, se acepta que los residuos siguen una distribución normal. Del mismo modo, la prueba de Bartlett para la homogeneidad de varianzas también da un valor-p de 0.880, lo que sugiere que no se puede rechazar la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas, es decir que las varianzas son homogéneas.

Por lo tanto, se selecciona el ANOVA de un factor como estadístico para la prueba de hipótesis. En cuanto a la acidez intercambiable, la prueba de normalidad muestra un valor-p < 0.010, lo que indica que los datos no siguen una distribución normal. Sin embargo, la prueba de Levene para la homogeneidad de varianzas arroja un valor-p de 0.522, lo que sugiere que las varianzas son homogéneas. Aunque los datos no son normales, se selecciona igualmente el ANOVA de un factor para esta variable, ya que las varianzas son homogéneas.

La Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.), tanto la prueba de normalidad (valor- p > 0.100) como la prueba de homogeneidad de varianzas (valor-p = 0.070), indican que los datos son normales y las varianzas son homogéneas. Por lo tanto, se selecciona el ANOVA de un factor para la prueba de hipótesis de esta variable.

El componente disponibilidad de nutrientes está conformado por el fósforo, potasio, calcio y magnesio disponibles. Por ejemplo, para el fósforo disponible, la prueba de normalidad da un valor-p > 0.100, lo que indica que los datos son normales. La prueba de Bartlett para la homogeneidad de varianzas da un valor-p de 0.083, lo que indica homogeneidad de varianzas. Dado que ambas pruebas son satisfactorias, se selecciona el ANOVA de un factor.

Para el potasio disponible, la normalidad de los residuos es aceptable (valor-p > 0.100) y las varianzas son homogéneas (valor-p = 0.094). Por tanto, el estadístico seleccionado es también el ANOVA de un factor.

Para el calcio disponible, aunque la prueba de Ryan-Joiner indica que los datos no son normales (valor-p < 0.010), la prueba de Levene muestra homogeneidad de varianzas (valor-p = 0.146). Esto lleva a la selección del ANOVA de un factor.

Para el magnesio disponible, los datos de normalidad son aceptable (valor-p > 0.100) y las varianzas no son homogéneas, como lo indica la prueba de Bartlett (valor-p = 0.024). Por lo tanto, para esta variable, se selecciona la prueba de Kruskal-Wallis, que es adecuada para varianzas heterogéneas.

3.8.2. Hipótesis estadística de comparación de promedios múltiples

De acuerdo con los resultados de la tabla 9, se elige el análisis de varianza para más de dos muestras independientes (ANOVA). A su vez, considerando el diseño completamente aleatorizado (DCA), que entre sus fuentes de variabilidad tiene al tratamiento, error y total y permitió validar las hipótesis de la presente investigación.

En la tabla 10 se muestra los componentes del análisis de varianza considerando el diseño completamente aleatorizado (DCA). Donde:

SCTr: Suma de cuadrados de tratamientos. SCE: Suma de cuadrados del error.

SCT: Suma de cuadrados del total. n: Número de tratamientos.

MCTr: Media cuadrática de tratamientos. MCE:

Media cuadrática del error experimental. Fc:

Estadístico F de Fisher calculado.

Tabla 10

Análisis de varianza para prueba de comparación de promedios en el diseño completamente aleatorizado

Modelo	**Suma de cuadrados**	**Grados de Libertad**	**Media Cuadrática**	**Fc**
Tratamiento	SCTr.	t-1	MCTr=SCTr/(t-1)	
Error	SCE	n-t	MCE=SCE/(n-t)	MCTr/MCE
Total	SCT	n-1	MCT=SCT/(n-1)	

La tabla 10, permite comparar la variabilidad explicada por los tratamientos con la variabilidad atribuida al error, lo que ayuda a determinar si las diferencias entre los tratamientos son estadísticamente significativas. Si el valor de Fc es mayor que el valor crítico de la distribución F para los grados de libertad correspondientes, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Para la prueba estadística se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Formulación de hipótesis nulas y alternas: se han planteado las hipótesis estadísticas nula (Ho) y alterna (H1), para la hipótesis de investigación general y específica, a partir de la obtención de los promedios del conjunto de datos (μi) de acuerdo al siguiente detalle:

H_1: $\mu 1 \neq \mu 2 \neq$, …., $\neq \mu 7$ (Existe un efecto atribuible a los tratamientos en la variable (Xi).

H_0: $\mu 1 = \mu 2 =$, …. , $= \mu 7$ (No existe efecto atribuible a los tratamientos en la variable Xi).

b) Estadístico: La selección del estadístico para las variables cuyos datos cumplieron con la prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas se seleccionó la prueba F de Fisher de la tabla ANOVA de un diseño completamente aleatorizado, para las variables cuyos datos no cumplieron la prueba de homogeneidad de varianzas se realizó mediante el estadístico de Kruskall Wallis, del diseño completamente aleatorizado.

c) Nivel de significancia. El nivel de significancia para la prueba de hipótesis y para la comparación de promedios entre los tratamientos mediante el método de Tukey fue de 0.05

d) Región crítica o regla de decisión. Se rechazó la hipótesis nula (Ho) cuando el valor - $p < 0.05$.

Capítulo IV

Resultados y Discusiones

4.1 Resultados

4.1.1 Propiedades químicas de suelos ácidos de Maynas, Iquitos

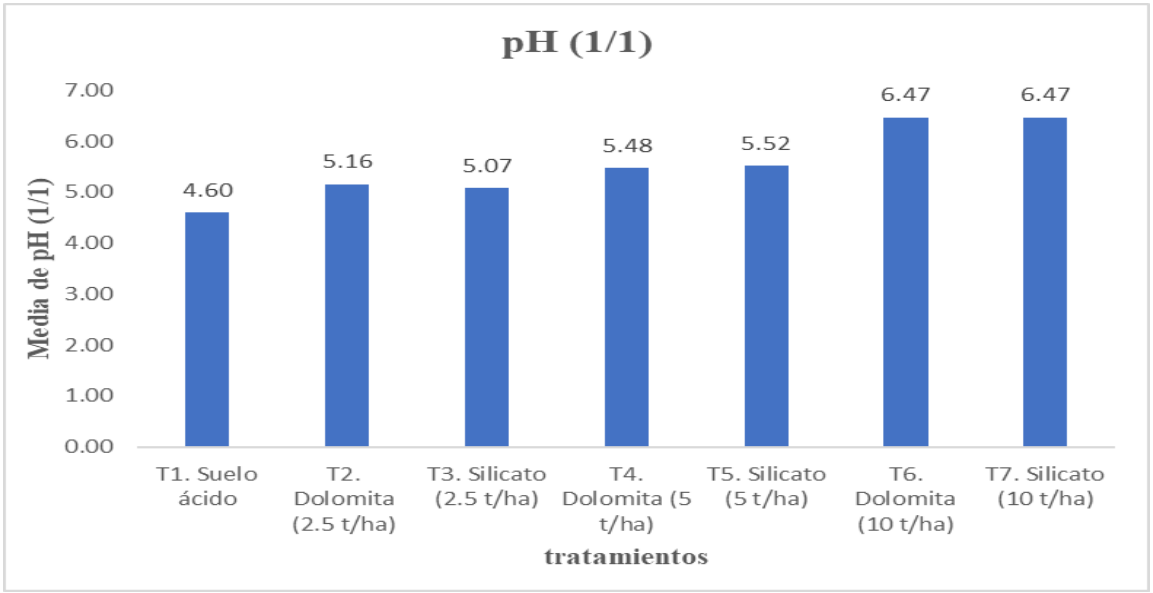
Las propiedades químicas de suelos ácidos están caracterizadas por el contenido de hidrogeniones (pH), corrección de la acidez intercambiable (descenso de iones hidrógeno y aluminio intercambiable) y la capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E.). Luego de haber probado las hipótesis de normalidad y homogeneidad de varianzas en la tabla 9, se procedió a mostrar los hallazgos que a continuación se presentan.

A) pH (1/1)

En la figura 4, se muestra cómo varía el pH del suelo bajo diferentes tratamientos de enmiendas cálcicas, con valores de pH en un rango de aproximadamente 4.6 a 6.5. Un aumento en el pH indica una disminución en la acidez del suelo. Los tratamientos corresponden a distintas combinaciones de tipos de enmiendas y dosis, el tratamiento T1 corresponde al suelo ácido (testigo), los tratamientos T2 y T4 corresponden a la aplicación de dolomita a dosis de 2.5 t/ha y 5 t/ha, los tratamientos T3 y T5 corresponden a la aplicación de silicato a dosis de 2.5 t/ha y 5 t/ha y los tratamientos T6 y T7 corresponden a la aplicación de dolomita y silicato a dosis de 10 t/ha.

Figura 4

Efectos principales del silicato y dolomita en el pH (1/1) de suelos ácidos de Maynas a los 3 meses después de ser incubado



La figura 4 muestra el efecto de las enmiendas cálcicas en el pH de suelos ácidos provenientes de Maynas Iquitos, después de tres meses de incubación tras la aplicación de enmiendas cálcicas en laboratorio. El tratamiento T1, que corresponde al suelo ácido sin ninguna enmienda, corresponde a la evaluación pre-test, y representa la condición inicial del suelo antes de la aplicación de los tratamientos, el cual tiene pH cercano a 4.6 lo que indica una acidez significativa.

Al aplicar los tratamientos T2 y T3 (con dolomita y silicato con dosis de 2.5 t/ha, respectivamente), se muestra un ligero incremento en el pH, alcanzando valores cercanos a 5.0, es decir, aunque las dosis son moderadas, ambas enmiendas tienen un efecto corrector sobre el pH del suelo. Al aumentar la dosis a 5 t/ha, se puede observar que el pH del suelo se aproxima a 5.5, y al aumentar la dosis a 10 t/ha de dolomita y silicato (tratamientos T6 y T7) el pH, alcanza valores cercanos a 6.5. Cabe mencionar que a medida que aumenta las dosis de las enmiendas también aumenta el pH del suelo, sin embargo, no se aprecia diferencia significativa entre dolomita y silicato, por tanto, se puede afirmar que ambas fuentes cálcicas tienen efectos similares en el aumento del pH.

La tabla 11, presenta el pH de suelos ácidos de Maynas departamento de Iquitos cuya información corresponde al promedio, desviación estándar y su intervalo de confianza para la media al 95% para cada tratamiento aplicado.

Tabla 11

Estadísticos descriptivos del pH (1/1) de suelos ácidos de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas

Tratamiento	**N**	**Media**	**Desv. Est.**	**IC de 95%**
T1. Suelo ácido (testigo)	3	4.60	0.01202	(4.56951; 4.63049)
T2. Dolomita (2.5 t/ha)	3	5.15	0.01528	(5.12617; 5.18716)
T3. Silicato (2.5 t/ha)	3	5.07	0.0231	(5.0428; 5.1038)
T4. Dolomita (5 t/ha)	3	5.47	0.0252	(5.4462; 5.5072)
T5. Silicato (5 t/ha)	3	5.52	0.0265	(5.4895; 5.5505)
T6. Dolomita (10 t/ha)	3	6.47	0.0361	(6.4395; 6.5005)
T7. Silicato (10 t/ha)	3	6.47	0.0265	(6.4395; 6.5005)

Desv.Est. agrupada = 0.0246242

Según la tabla 11 el tratamiento testigo, T1 (suelo ácido sin enmiendas), presenta un pH promedio de 4.60 y una desviación estándar muy baja de 0.01202, es decir, los valores de pH obtenidos en dicho tratamiento fueron muy consistentes entre las repeticiones evaluadas. El intervalo de confianza del 95% para este tratamiento está comprendido entre 4.56951 y 4.63049, lo que confirma la alta precisión en la estimación del pH. Este pH corresponde a un suelo ácido típico de Maynas departamento de Iquitos, que tiene efectos limitantes para el crecimiento de los cultivos debido a la baja disponibilidad de nutrientes y posibles toxicidades por elementos como el aluminio y el hidrógeno.

Con la aplicación de enmiendas cálcicas a dosis crecientes, se observa un incremento en el pH del suelo. Para las dosis más bajas de dolomita (T2) y silicato (T3) aplicadas a 2.5 t/ha, los valores promedio de pH son 5.15 y 5.07, respectivamente. Este incremento del pH se puede notar una mejora en relación con el testigo. Las desviaciones estándar para ambos tratamientos son pequeñas (0.01528 para dolomita y 0.0231 para silicato), lo que indica la consistencia en los datos. Los intervalos de confianza para ambos tratamientos (T2 y T3) se superponen parcialmente, lo que indica que no existe diferencia apreciable entre el efecto de la dolomita y el silicato a la dosis de 2.5 t/ha.

Al aumentar la dosis a 5 t/ha, los tratamientos T4 (dolomita) y T5 (silicato) continúan mostrando un incremento en el pH, alcanzando valores promedio de 5.47 y 5.52, respectivamente. A estas dosis, la diferencia en el pH entre dolomita y silicato es mínima, y nuevamente, los intervalos de confianza de ambos tratamientos se superponen, es decir, ambos tipos de enmienda son igualmente efectivos en elevar el pH.

Al aumentar la dosis a 10 t/ha, tanto la dolomita (T6) como el silicato (T7) logran un aumento apreciable del pH, alcanzando un valor promedio de 6.47 en ambos casos. Las desviaciones estándar son algo más elevadas en el caso de la dolomita (0.0361), pero siguen siendo bajas para el silicato (0.0265). Los intervalos de confianza para ambos tratamientos son casi similares, es decir al aumentar la dosis a 10 t/ha, es probable al 95%, que el pH de suelos ácidos sea corregido hacia la neutralidad.

Para validar si existen diferencias entre los promedios de pH según los tratamientos aplicados se realizó el análisis de varianza (ANOVA) considerando las siguientes hipótesis:

Ho: $\mu 1 = \mu 2 = \mu 3 = \mu 4 = \mu 5 = \mu 6 = \mu 7$

H1: $\mu 1 \neq \mu 2 \neq \mu 3 \neq \mu 4 \neq \mu 5 \neq \mu 6 \neq \mu 7$

El nivel alfa asumido fue de 0.05 para la prueba. Los resultados del análisis se muestran en la tabla 12, donde las fuentes de variación son por efecto de los tratamientos y por efecto del error experimental.

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA) para el pH (1/1), de suelos ácidos de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas

Fuente	**GL**	**SC Ajust.**	**MC Ajust.**	**Valor F**	**Valor p**
Tratamiento	6	894.752	149.125	2459.40	0.000
Error	14	0.00849	0.00061		
Total	20	895.601			

Los resultados de la tabla 12, muestran la prueba F de 2459.40, que es considerablemente alta, indicando una gran diferencia en el efecto de los tratamientos sobre el pH del suelo. Además, el valor p asociado es 0.000, lo que significa que las diferencias entre los tratamientos son altamente significativas y no pueden ser atribuidas al azar.

Dado que el valor p, es mucho menor que el nivel de significancia asumido de 0.05, se rechaza la hipótesis nula (Ho), que planteaba la igualdad entre los promedios de los tratamientos. Por tanto, se acepta la hipótesis alterna (H1), donde se establece que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Los grados de libertad de los tratamientos son 6, significa que se evaluaron 7 grupos en total (6 tratamientos de enmiendas más el testigo de suelo ácido). La suma de cuadrados ajustada de 894.752 para los tratamientos indica que la mayor parte de la variación observada en el pH del suelo se debe a las diferencias entre los tratamientos, mientras que la suma de cuadrados del error es muy pequeña (0.00849), lo que quiere decir que existió una variación mínima dentro de cada grupo.

Estos resultados de la tabla 12, confirman que la aplicación de enmiendas cálcicas (dolomita y silicato) a diferentes dosis tiene un efecto significativo en el aumento del pH y la neutralización de la acidez del suelo, elevando el pH de manera significativa.

Para determinar el mejor tratamiento que aumenta el pH de suelos ácidos se ha realizado la prueba de comparación múltiple de promedios por el método de Tukey, los

resultados se muestran en la tabla 13, donde las letras A, B, C y D representan los grupos homogéneos identificados por la prueba de Tukey. Tratamientos con la misma letra pertenecen al mismo grupo, lo que indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre sus medias de pH. Por otro lado, tratamientos con letras diferentes pertenecen a grupos distintos, lo que indica que sus medias de pH son significativamente diferentes entre sí.

Tabla 13

Prueba de comparación de promedios múltiple por el método de Tukey del pH (1/1), de suelos ácidos de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T7. Silicato (10 t/ha)	3	6.4700	A
T6. Dolomita (10 t/ha)	3	6.4700	A
T5. Silicato (5 t/ha)	3	5.5200	B
T4. Dolomita (5 t/ha)	3	5.4767	B
T2. Dolomita (2.5 t/ha)	3	5.1566	C
T3. Silicato (2.5 t/ha)	3	5.0733	C
T1. Suelo ácido (testigo)	3	4.6000	D

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Los resultados de la tabla 13, muestran que la aplicación de enmiendas cálcicas, tanto de dolomita como de silicato, aumenta significativamente el pH del suelo en comparación con el suelo ácido sin tratamiento. Las dosis más altas de 10 t/ha de dolomita y silicato se agrupan con la misma letra “A” y son las más efectivas para elevar el pH del suelo llevando a un valor de 6.47.

Las dosis de 5 t/ha entre silicato (T5) y dolomita (T4) también corrigen el pH del suelo, dichos tratamientos se agrupan con la misma letra “B” y corrigen los valores promedios de pH a 5.52 y 5.4767 respectivamente.

Los tratamientos T2 (dolomita 2.5 t/ha) y T3 (silicato 2.5 t/ha) se agrupan con la misma letra “C”, con promedios de 5.15 y 5.07, respectivamente. Dichos promedios son estadísticamente iguales, por tanto, las enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato a las dosis de 2.5 t/ha tienen el mismo efecto en la corrección del pH de suelos ácidos.

Los resultados de la tabla 13, sugieren que las enmiendas cálcicas de dolomita y silicato son igualmente eficaces para la corrección de la acidez del suelo, siendo las dosis mayores las que tienen mayor efecto correctivo.

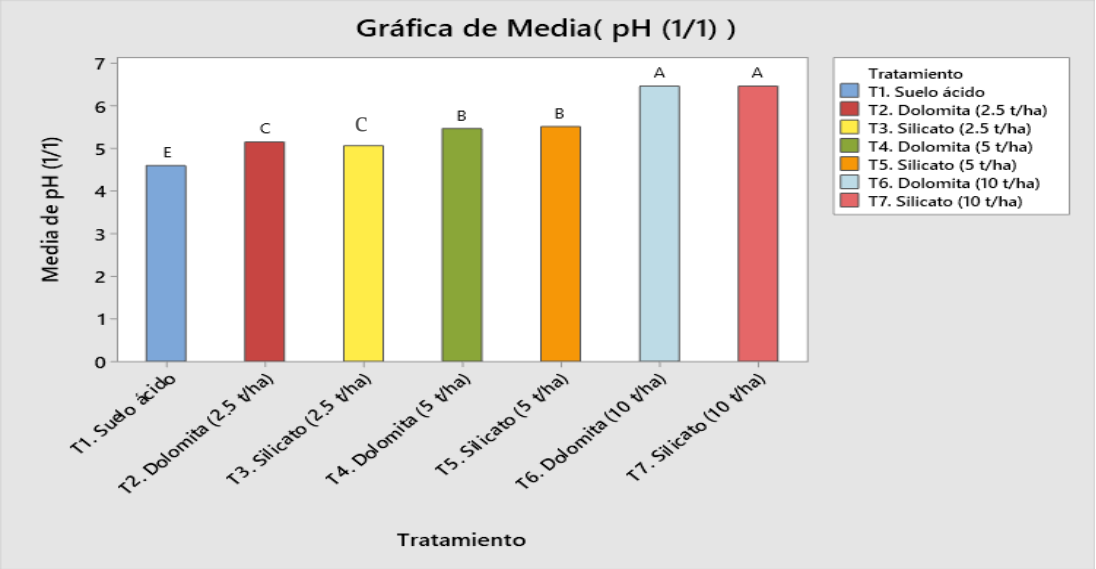
Esta mejora del pH es muy importante para la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la absorción por parte de las plantas.

En la figura 5 se muestran los valores promedio de pH en suelos ácidos de Maynas tras la aplicación de enmiendas cálcicas a base de dolomita y silicato, evaluados a los tres meses de incubación. Los tratamientos fueron aplicados en diferentes dosis: 2.5 t/ha, 5 t/ha y 10 t/ha, lo que permitió observar la variación en el pH del suelo en función de cada tratamiento.

Los resultados, reflejan diferencias significativas en los grupos de tratamientos y evidencian la efectividad de las enmiendas en la corrección del pH del suelo.

Figura 5

Media de pH (1/1) de suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato



Según la figura 5, el tratamiento testigo T1 (suelo ácido sin enmienda), registró el valor promedio de pH más bajo de 4.60, designado con la letra “E”. Esto confirma que el suelo de Maynas, sin tratamiento presenta una elevada acumulación de iones hidrógeno, lo cual es perjudicial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Comparado con los tratamientos con la dosis más baja de enmienda (2.5 t/ha), tanto para dolomita (T2) como para silicato (T3), mostraron un incremento del pH a 5.15 y 5.07, respectivamente. Estos tratamientos se agrupan con la letra “C”, indicando que en la dosis indicada no se diferencian los efectos entre la dolomita y el silicato en la corrección del pH.

Al aumentar la dosis a 5 t/ha, los tratamientos con dolomita (T4) y silicato (T5) lograron aumentar el pH a 5.47 y 5.52, respectivamente, agrupándose con la letra “B”. Estos valores demuestran que al aumentar las dosis de enmiendas cálcicas de 2.5 t/ha a 5 t/ha los efectos sobre el pH del suelo son significativos, aunque todavía no alcanzan el nivel de corrección adecuado para lograr la disponibilidad de nutrientes para la planta.

Los tratamientos con la dosis más alta (10 t/ha) de dolomita (T6) y silicato (T7) lograron los valores más altos de pH, alcanzando 6.47 en ambos casos, agrupándose dichos tratamientos con la letra “A”. Estos resultados indican que ambas enmiendas, a partir de 10 t/ha, son altamente efectivas para corregir el pH del suelo ácido, llevándolo a un valor cercano a la neutralidad. Por tanto, el uso de enmiendas cálcicas como la dolomita y el silicato, especialmente en dosis adecuadas, contribuye significativamente a mejorar las propiedades químicas del suelo, promoviendo la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de los cultivos y, en consecuencia, para mejorar la producción agrícola.

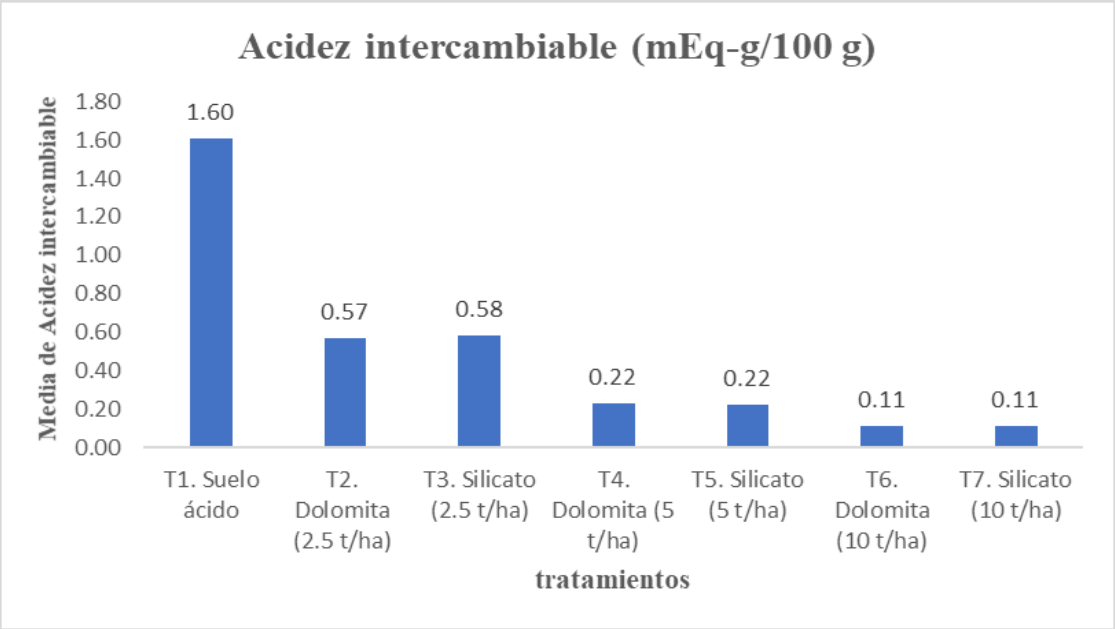
B) Acidez intercambiable

Se refiere a la cantidad de cationes de hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{3+}) presentes en el complejo de intercambio del suelo que pueden ser liberados o intercambiados con otros cationes en la solución del suelo. La acidez intercambiable alta representa una limitación para la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

En la figura 6 se observan los efectos de la aplicación de enmiendas cálcicas de dolomita y silicato sobre la acidez intercambiable en suelos ácidos de Maynas después de tres meses de incubación. La gráfica muestra una disminución significativa de la acidez intercambiable con la aplicación de estas enmiendas.

Figura 6

Efectos principales de la dolomita y silicato en la acidez intercambiable en mEq-g/100 g de suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado



El tratamiento T1 (suelo ácido), que actúa como testigo, muestra el valor más alto de acidez intercambiable (1.60 mEq-g/100 g), lo que refleja una alta saturación de cationes de hidrógeno y aluminio en el suelo, condición que restringe la absorción de nutrientes clave por las plantas. Este valor es esperado en suelos con una alta acidez natural, lo que subraya la necesidad de una corrección química para mejorar las propiedades del suelo.

Con la aplicación de dolomita en dosis de 2.5 t/ha (T2), la acidez intercambiable se reduce a 0.57 mEq-g/100 g, lo que representa una disminución considerable respecto al suelo ácido. La dolomita actúa neutralizando los iones de hidrógeno y aluminio en el complejo de intercambio del suelo, lo que contribuye a una mejora en la fertilidad del suelo.

El tratamiento con silicato a 2.5 t/ha (T3) presenta un efecto similar, con una reducción de la acidez intercambiable a 0.58 mEq-g/100 g, indicando que el silicato también es efectivo en la neutralización de la acidez intercambiable a bajas dosis.

A medida que se incrementa la dosis de las enmiendas, los tratamientos con dolomita a 5 t/ha (T4) y silicato a 5 t/ha (T5) muestran una mayor disminución de la acidez intercambiable, reduciéndose a valores 0.22 mEq-g/100 g.

Este comportamiento es consistente con estudios que señalan que la adición de mayores dosis de enmiendas cálcicas incrementa la capacidad del suelo para neutralizar el aluminio tóxico y el hidrógeno, favoreciendo una mejor estructura química del suelo.

Los tratamientos con la dosis más alta de enmienda, tanto de dolomita (T6) como de silicato (T7) a 10 t/ha, muestran los valores más bajos de acidez intercambiable, con una reducción casi completa a 0.11 mEq-g/100 g. Esto indica que la aplicación de enmiendas cálcicas a partir de 10 t/ha tiene efecto significativo para neutralizar la acidez del suelo; esto es favorable porque se incrementa la capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E.), lo que permite una mayor retención y disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas.

La tabla 14 presenta los resultados de la acidez intercambiable en suelos ácidos de Maynas tras la aplicación de enmiendas cálcicas de dolomita y silicato a diferentes dosis. Se incluyen los valores promedios de acidez intercambiable (mEq-g/100 g), la desviación estándar y el intervalo de confianza al 95% para cada tratamiento.

Tabla 14

Estadísticos descriptivos de la acidez intercambiable (mEq-g/100 g) de suelos ácidos de Maynas, 3 meses después de la incubación con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato

Tratamiento	**N**	**Media**	**Desv.Est.**	**IC de 95%**
T1. Suelo ácido (testigo)	3	1.60	0.00577	(1.58936; 1.62397)
T2. Dolomita (2.5 t/ha)	3	0.57	0.0173	(0.5527; 0.5873)
T3. Silicato (2.5 t/ha)	3	0.58	0.03	(0.5627; 0.5973)
T4. Dolomita (5 t/ha)	3	0.22	0.01155	(0.20936; 0.24397)
T5. Silicato (5 t/ha)	3	0.22	0.000	(0.2027; 0.2373)
T6. Dolomita (10 t/ha)	3	0.11	0.000	(0.0927; 0.1273)
T7. Silicato (10 t/ha)	3	0.11	0.000	(0.0927; 0.1273)

Desv.Est. agrupada = 0.0139728.

Los resultados de la tabla 14 muestran una clara tendencia decreciente en los valores de acidez intercambiable conforme se aplican enmiendas cálcicas a dosis crecientes, tanto de dolomita como de silicato, en comparación con el tratamiento testigo (T1), donde no se aplicaron enmiendas. El tratamiento T1 (testigo), es un suelo ácido al cual no se aplicó ninguna enmienda y presenta el valor más alto de acidez intercambiable con un promedio de 1.60 mEq-g/100 g. Este valor es consistente con lo esperado en suelos ácidos no tratados, donde la saturación de cationes de hidrógeno y aluminio es elevada, restringiendo la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

Por otro lado, la aplicación de dolomita a 2.5 t/ha (T2) reduce significativamente la acidez intercambiable a 0.57 mEq-g/100 g, lo que indica que incluso a bajas dosis, la dolomita tiene efecto para neutralizar parte de la acidez del suelo. Esto se debe a la capacidad de la dolomita para liberar cationes de calcio y magnesio, que reemplazan los cationes de hidrógeno y aluminio en el complejo de intercambio del suelo.

El tratamiento con silicato a 2.5 t/ha (T3) muestra un comportamiento similar al de la dolomita a la misma dosis, con una acidez intercambiable de 0.58 mEq-g/100 g, lo que sugiere que ambos tipos de enmiendas cálcicas son efectivos para reducir la acidez en dosis moderadas.

A medida que aumentan las dosis, los efectos son más pronunciados. En los tratamientos con dolomita a 5 t/ha (T4) y silicato a 5 t/ha (T5), la acidez intercambiable se reduce a 0.22 mEq- g/100 g en ambos casos. Estos resultados muestran que a medida que se aumenta la dosis de enmiendas cálcicas, disminuye la acidez intercambiable, es decir existe una capacidad de neutralización del hidrógeno y aluminio presentes en suelos ácidos.

Los tratamientos con las dosis más altas, tanto de dolomita (T6) como de silicato (T7) a 10 t/ha, muestran los valores más bajos de acidez intercambiable, con un promedio de 0.11 mEq- g/100 g en ambos casos. Esta reducción drástica revela la alta capacidad de estas enmiendas para neutralizar casi por completo los cationes de hidrógeno y aluminio del suelo, lo que resulta en una mejora significativa de las propiedades químicas del suelo.

La desviación estándar para la mayoría de los tratamientos es baja, lo que indica que los resultados son consistentes entre las réplicas. Además, los intervalos de confianza al 95% muestran que las diferencias observadas entre los tratamientos son estadísticamente significativas, particularmente en comparación con el suelo ácido no tratado.

Para validar si existen diferencias entre los promedios de la acidez intercambiable del suelo, según los tratamientos aplicados se realizó el análisis de varianza (ANOVA) considerando las siguientes hipótesis:

Ho: $\mu1 = \mu2 = \mu3 = \mu4 = \mu5 = \mu6 = \mu7$ (los promedios de acidez intercambiable de suelos ácidos de Maynas son iguales).

H1: $\mu1 \neq \mu2 \neq \mu3 \neq \mu4 \neq \mu5 \neq \mu6 \neq \mu7$ (al menos un promedio de la acidez intercambiable de suelos ácidos de Maynas es diferente).

El nivel alfa asumido fue de 0.05 para la prueba. Los resultados del análisis se muestran en la tabla 15, donde las fuentes de variación son por efecto de los tratamientos y por efecto del error experimental.

Tabla 15

Análisis de varianza (ANOVA) para la acidez intercambiable del suelo en mEq- g/100 g, a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	6	5.07745	0.846241	4334.41	0.000
Error	14	0.00273	0.000195		
Total	20	5.08018			

El valor F de la tabla 15 es 4334.41, lo que indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos en cuanto a la acidez intercambiable en el suelo. Este valor F elevado, en conjunto con un valor p de 0.000, señala que las diferencias entre los tratamientos no son producto del azar y, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Es decir, existe evidencia estadísticamente significativa para afirmar que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto relevante en la reducción de la acidez intercambiable del suelo ácido proveniente de Maynas, Iquitos.

El valor p de 0.000, que es menor que cualquier nivel de significancia convencional (como 0.05 o 0.01), indica que existe una diferencia altamente significativa entre los promedios de los diferentes tratamientos. Esto confirma que la aplicación de las enmiendas cálcicas (dolomita y silicato) tiene un efecto directo sobre la disminución de la acidez intercambiable en suelos ácidos. Los tratamientos, al haber sido aplicados en diferentes dosis, presentan variaciones significativas que explican la reducción progresiva de la acidez

intercambiable, lo cual se evidencia en los resultados obtenidos en el análisis de varianza de la tabla 15.

Para determinar el mejor tratamiento que disminuye la acidez intercambiable de suelos ácidos, se ha realizado la prueba de comparación múltiple de promedios por el método de Tukey. Los resultados se muestran en la tabla 16, donde las letras A, B, C y D representan los grupos homogéneos identificados por la prueba de Tukey. Los tratamientos agrupados con la misma letra son homogéneos, es decir, que no hay diferencias estadísticamente significativas entre sus medias de acidez intercambiable. Por otro lado, tratamientos con letras diferentes pertenecen a grupos distintos, lo que indica que sus medias de acidez intercambiable son significativamente diferentes entre sí.

Tabla 16

Prueba de comparación de promedios múltiples por el método de Tukey de la acidez intercambiable (mEq-g/100 g), de suelos ácidos de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas

Tratamiento	**N**	**Media**	**Agrupación**			
T1. Suelo ácido (testigo)	3	1.60	A			
T3. Silicato (2.5 t/ha)	3	0.58		B		
T2. Dolomita (2.5 t/ha)	3	0.57		B		
T4. Dolomita (5 t/ha)	3	0.22			C	
T5. Silicato (5 t/ha)	3	0.22			C	
T7. Silicato (10 t/ha)	3	0.11				D
T6. Dolomita (10 t/ha)	3	0.11				D

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La comparación múltiple de promedios mediante el método de Tukey de la tabla 16, muestra diferencias significativas en la reducción de la acidez intercambiable entre los diferentes tratamientos evaluados a diversas dosis.

En primer lugar, el tratamiento testigo (T1. Suelo ácido) presenta el promedio más alto de acidez intercambiable, con un valor de 1.60 mEq/100 g, el cual se agrupa solo con la letra "A". Esto confirma que, sin la aplicación de enmiendas, el suelo mantiene una alta acidez, lo que es característico de suelos no tratados. Este nivel de acidez puede tener efectos adversos sobre la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, lo que reduce su capacidad de

absorber los elementos necesarios para su crecimiento.

Por otro lado, los tratamientos con aplicaciones de dolomita y silicato a 2.5 t/ha (T2 y T3) presentan promedios de acidez intercambiable de 0.57 y 0.58, respectivamente, lo que los ubica en el mismo grupo B. Esto sugiere que, a dosis más bajas, tanto la dolomita como el silicato tienen un efecto similar en la reducción de la acidez intercambiable. La disminución de la acidez a estos niveles puede explicarse por la capacidad neutralizante de estas enmiendas, las cuales liberan cationes (Ca^{2+} y Mg^{2+}) que desplazan el aluminio y el hidrógeno de los sitios de intercambio, reduciendo la acidez del suelo.

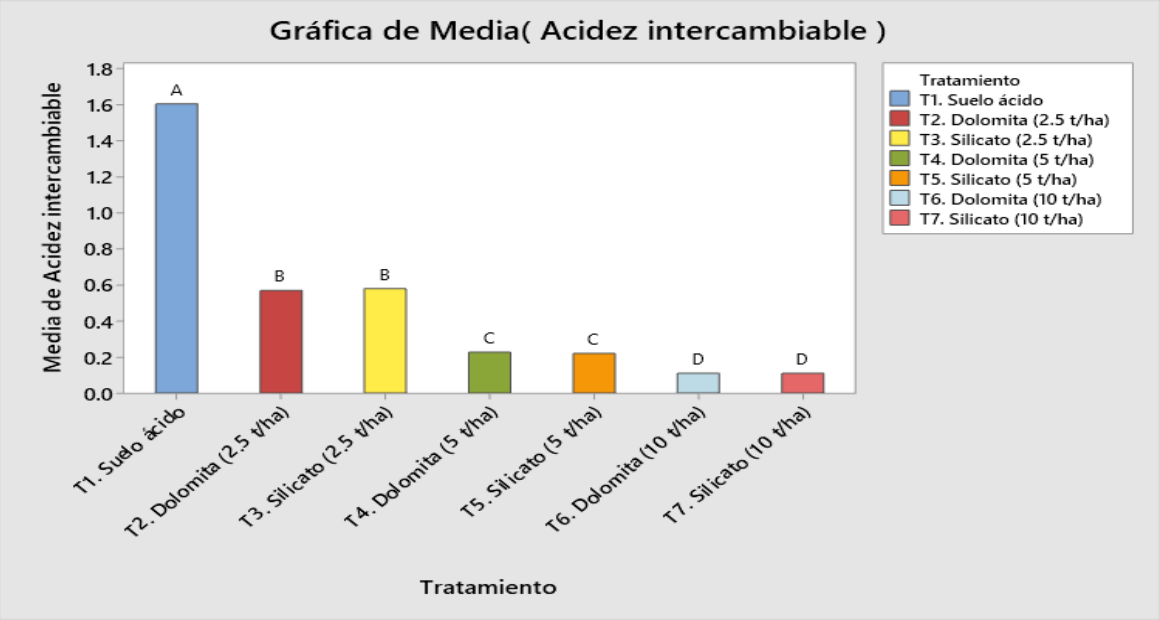
Al aumentar la dosis de dolomita y silicato a 5 t/ha (T4 y T5), los promedios disminuyen aún más, a 0.22, y ambos tratamientos se agrupan en la categoría C. Este resultado indica que una mayor cantidad de enmienda aplicada conduce a una mayor neutralización de la acidez del suelo. Es importante destacar que en esta dosis ya se observa una diferencia significativa respecto a las dosis más bajas, lo que refuerza la efectividad de ambas enmiendas para disminuir la acidez intercambiable del suelo de manera más eficiente.

Los tratamientos con las dosis de 10 t/ha de dolomita y silicato (T6 y T7), presentan los valores más bajos de acidez intercambiable, con un promedio de 0.11 mEq/100 g, agrupados en la categoría D. Estos resultados demuestran que la aplicación de dolomita y silicato a mayores dosis tiene efecto significativo para reducir la acidez del suelo a niveles mínimos. Posiblemente, esto es explicado por la mayor disponibilidad de cationes neutralizantes, lo que resulta en la saturación de los sitios de intercambio con cationes básicos, reduciendo de manera significativa la concentración de iones de hidrógeno (H^{+}) y aluminio (Al^{3+}) en el suelo.

La figura 7 muestra la media de acidez intercambiable (mEq/100 g) de suelos ácidos de Maynas, evaluada a los 3 meses después de la incubación con enmiendas calcáreas de dolomita y silicato a diferentes dosis (2.5 t/ha, 5 t/ha y 10 t/ha). Los promedios de los tratamientos, son agrupados en las letras A, B, C y D donde la agrupación en letras iguales significa que los efectos de los tratamientos son iguales. También se observa una clara reducción de la acidez intercambiable a medida que se incrementa la dosis de las enmiendas aplicadas.

Figura 7

Media de la acidez intercambiable (mEq-g/100 g) de suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado, con enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato



En el tratamiento testigo (T1. Suelo ácido), se registra la mayor media de acidez intercambiable, con un valor de 1.60 mEq/100 g, lo cual está agrupado en la categoría A. Este resultado confirma que, en suelos sin tratamiento, la acidez intercambiable es significativamente alta. La presencia de una elevada acidez en el suelo puede generar efectos adversos en las plantas, tales como la toxicidad por aluminio y la limitada disponibilidad de nutrientes esenciales como el fósforo, calcio, magnesio y potasio.

Los tratamientos con aplicaciones de dolomita y silicato a 2.5 t/ha (T2 y T3) muestran una importante reducción de la acidez intercambiable, con promedios de 0.57 y 0.58 mEq/100 g, respectivamente, ambos ubicados en la categoría B. Esto indica que, aunque hay una disminución significativa en la acidez con estas dosis bajas, el suelo aún mantiene cierto nivel de acidez residual que podría influir en la disponibilidad de algunos nutrientes para las plantas como el fósforo.

Aumentando la dosis de enmiendas a 5 t/ha (T4 y T5), los promedios de acidez intercambiable disminuyen a 0.22 mEq/100 g, agrupados en la categoría C. Este resultado evidencia una mayor capacidad neutralizadora de la acidez por parte de las enmiendas a esta dosis. El incremento en la aplicación de dolomita y silicato a este nivel resulta en una mayor liberación de cationes básicos (Ca^{2+} y Mg^{2+}), los cuales reemplazan los iones de aluminio e

hidrógeno en el complejo de intercambio del suelo, disminuyendo la acidez intercambiable.

Los tratamientos con las dosis más altas, 10 t/ha de dolomita y silicato (T6 y T7), presentan los promedios más bajos, con 0.11 mEq/100 g, agrupados en la categoría D. Esta dosis, logra reducir la acidez del suelo a niveles mínimos, lo que se traduce en un ambiente más favorable para el desarrollo de las plantas. Una acidez intercambiable tan baja permite una mejor disponibilidad de nutrientes esenciales, como el fósforo, potasio, calcio y magnesio, así como la reducción de la toxicidad por aluminio, un factor clave en suelos altamente ácidos.

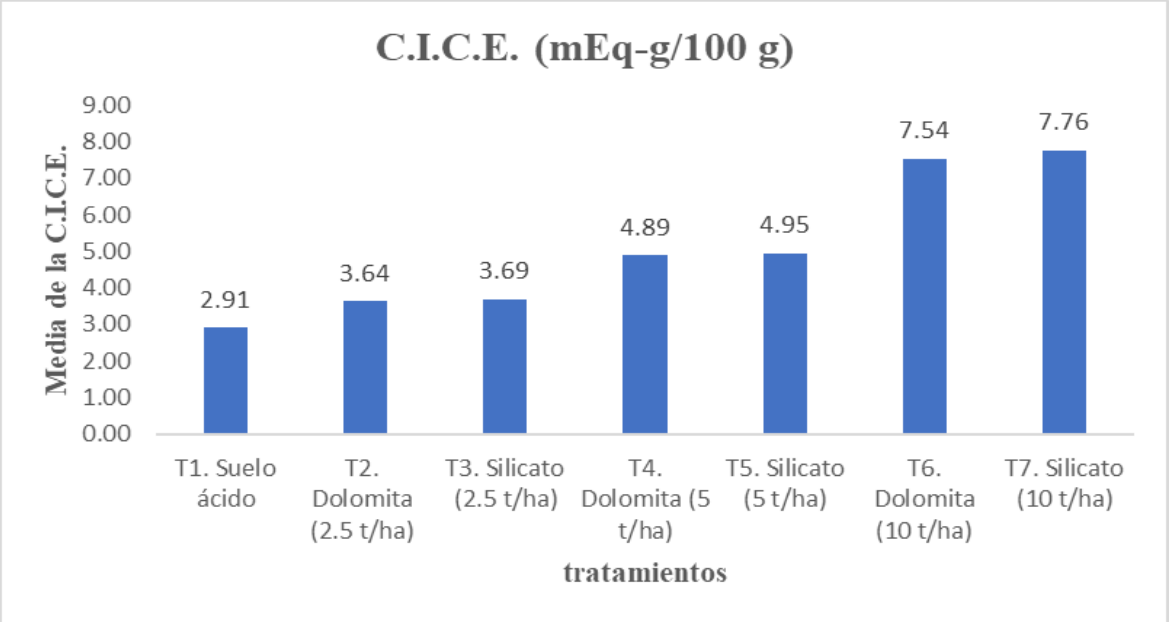
C) Capacidad Intercambio Catiónico Efectiva (C.I.C.E.)

La C.I.C.E. se refiere a la cantidad total de cationes que un suelo puede retener y luego intercambiar con la solución del suelo en condiciones reales de pH. Conocer su valor es importante para entender la fertilidad del suelo, ya que los cationes como el calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y potasio (K^{+}), entre otros, son esenciales para el crecimiento de las plantas y la C.I.C.E. proporciona una medida de cuántos de estos nutrientes pueden estar disponibles para las plantas en condiciones específicas de acidez del suelo.

La figura 8, muestra cómo varía la C.I.C.E. del suelo ácido de Maynas bajo diferentes tratamientos de enmiendas cálcicas, con valores que varían entre 2.91 a 7.76 mEq-g/100 g. Un aumento en la C.I.C.E., indica una disminución en la acidez del suelo, por tanto, un aumento de la disponibilidad de nutrientes en el suelo para las plantas. Los tratamientos corresponden a distintas combinaciones de tipos de enmiendas y dosis, el tratamiento T1 corresponde al suelo ácido (testigo), los tratamientos T2 y T4 corresponden a la aplicación de dolomita a dosis de 2.5 t/ha y 5 t/ha, los tratamientos T3 y T5 corresponden a la aplicación de silicato a dosis de 2.5 t/ha y 5 t/ha y los tratamientos T6 y T7 corresponden a la aplicación de dolomita y silicato a dosis de 10 t/ha.

Figura 8

Efectos principales de la dolomita y silicato en la capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E.) mEq-g/100 g, de suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado



La figura 8 muestra el efecto de las enmiendas cálcicas en la C.I.C.E. de suelos ácidos provenientes de Maynas Iquitos, después de tres meses de incubación tras la aplicación de enmiendas cálcicas en laboratorio. El tratamiento T1, que corresponde al suelo ácido sin ninguna enmienda, se considera la evaluación pre-test, y representa la condición inicial del suelo antes de la aplicación de los tratamientos, el cual tiene una C.I.C.E. cercana a 3 lo que indica una acidez significativa y baja disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Al aplicar los tratamientos T2 y T3 (con dolomita y silicato con dosis de 2.5 t/ha, respectivamente), se muestra un ligero incremento en la C.I.C.E., alcanzando valores cercanos a 4, es decir, aunque las dosis son moderadas, ambas enmiendas tienen un efecto corrector sobre la acidez del suelo. Al aumentar la dosis a 5 t/ha, se puede observar que la C.I.C.E. del suelo se aproxima a 5 mEq-g/100 g, y al aumentar la dosis a 10 t/ha de dolomita y silicato (tratamientos T6 y T7) la C.I.C.E., alcanza valores cercanos a 7.5 mEq-g/100 g, es decir a medida que aumentan las dosis de las enmiendas cálcicas también aumenta la C.I.C.E. del suelo, pero no se observa que haya diferencia significativa entre las fuentes de enmienda dolomita y silicato. Por tanto, se puede afirmar que ambas fuentes cálcicas tienen efectos similares en el aumento de la C.I.C.E., que mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

La tabla 17 presenta los resultados de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E.) en suelos ácidos de Maynas tras la aplicación de enmiendas cálcicas de dolomita y silicato a diferentes dosis. Se incluyen los valores promedios de la C.I.C.E. en mEq-g/100 g, la desviación estándar y el intervalo de confianza al 95% para cada tratamiento.

Tabla 17

Estadísticos descriptivos de la capacidad de intercambio catiónico efectiva - C.I.C.E. (mEq-g/100 g), 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1. Suelo ácido (testigo)	3	2.91	0.00577	(2.75740; 3.07593)
T2. Dolomita (2.5 t/ha)	3	3.64	0.0624	(3.4807; 3.7993)
T3. Silicato (2.5 t/ha)	3	3.69	0.1159	(3.5341; 3.8526)
T4. Dolomita (5 t/ha)	3	4.89	0.1411	(4.7307; 5.0493)
T5. Silicato (5 t/ha)	3	4.95	0.0872	(4.7907; 5.1093)
T6. Dolomita (10 t/ha)	3	7.54	0.181	(7.381; 7.699)
T7. Silicato (10 t/ha)	3	7.76	0.196	(7.607; 7.926)

Desv.Est. agrupada = 0.128619.

Según la tabla 17 el tratamiento testigo, T1 (suelo ácido sin enmiendas), presenta una C.I.C.E. promedio de 2.91 mEq-g/100 g, y una desviación estándar muy baja de 0.00577, es decir, los valores de la C.I.C.E. obtenidos en dicho tratamiento fueron muy consistentes entre las repeticiones evaluadas. El intervalo de confianza del 95% para este tratamiento está comprendido entre 2.75740 y 3.07593, lo que confirma la alta precisión en la estimación de la C.I.C.E. Los valores, corresponden a un suelo ácido típico de Maynas departamento de Iquitos, que tiene efectos limitantes en la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Con la aplicación de enmiendas cálcicas a dosis de 2.5 t/ha de dolomita (T2) y silicato (T3), los valores promedio de la C.I.C.E., son 3.64 y 3.69, respectivamente. Dichos valores muestran un incremento en relación al tratamiento testigo. Las desviaciones estándar para ambos tratamientos también son pequeñas (0.0624 para dolomita y 0.1159 para silicato), lo que indica la consistencia en los datos. Los intervalos de confianza para ambos tratamientos (T2 y T3) se superponen parcialmente, lo que indica que no existen diferencias apreciables entre el efecto de la dolomita y el silicato a la dosis de 2.5 t/ha.

Al aumentar la dosis a 5 t/ha, los tratamientos T4 (dolomita) y T5 (silicato) continúan mostrando un incremento en la C.I.C.E., alcanzando valores promedios de 4.89 y 4.95 respectivamente. A esta dosis, la diferencia en la C.I.C.E., entre dolomita y silicato es mínima, y nuevamente, los intervalos de confianza de ambos tratamientos se superponen, es decir, ambos tipos de enmienda son igualmente efectivos en elevar la C.I.C.E., y consecuentemente la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Al aumentar la dosis a 10 t/ha, tanto la dolomita (T6) como el silicato (T7) logran aún más el aumento de la C.I.C.E., alcanzando valores promedio de 7.54 y 7.76 respectivamente. Las desviaciones estándar son pequeñas, en el caso de la dolomita (0.181) y para el silicato (0.196), lo que indica que los datos en dichos tratamientos fueron homogéneos. Los intervalos de confianza para ambos tratamientos son cercanos, es decir al aumentar la dosis a 10 t/ha, es probable al 95
%, que la C.I.C.E. de suelos ácidos tenga más disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

Para validar si existen diferencias entre los efectos de los tratamientos sobre la capacidad de intercambio catiónico efectiva, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) considerando las siguientes hipótesis:

Ho: $\mu 1 = \mu 2 = \mu 3 = \mu 4 = \mu 5 = \mu 6 = \mu 7$ (No existe efecto atribuible a los tratamientos en la C.I.C.E. de suelos ácidos).

H1: $\mu 1 \neq \mu 2 \neq \mu 3 \neq \mu 4 \neq \mu 5 \neq \mu 6 \neq \mu 7$ (Existe efecto atribuible a los tratamientos en la C.I.C.E. de suelos ácidos).

El nivel alfa asumido fue de 0.05 para la prueba, los resultados del análisis se muestran en la tabla 18, donde las fuentes de variación son por efecto de los tratamientos y por efecto del error experimental.

Tabla 18

Análisis de varianza (ANOVA) de la C.I.C.E. en mEq-g/100 g, a los 3 meses después de ser incubado, con dolomita y silicato

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	6	65.9863	10.9977	664.8	0.000
Error	14	0.2316	0.0165		
Total	20	66.2179			

Según la tabla 18, el valor F es 664.8, lo que indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico en el suelo. Este valor F asociado al valor p de 0.000, señala que los efectos entre los tratamientos son diferentes y no son producto del azar, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Es decir, existe evidencia estadísticamente suficiente para afirmar que existe efecto atribuible a los tratamientos en la C.I.C.E., de suelos ácidos provenientes de Maynas, Iquitos.

El valor p de 0.000, que es menor que cualquier nivel de significancia convencional (como 0.05 o 0.01), indica que existe una diferencia altamente significativa entre los promedios de los diferentes tratamientos. Esto confirma que la aplicación de las enmiendas cálcicas (dolomita y silicato) tiene un efecto directo sobre el aumento de la C.I.C.E. en suelos ácidos y la disponibilidad de nutrientes del suelo para las plantas.

Para determinar el mejor tratamiento que aumenta la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos, se ha realizado la prueba de comparación múltiple de promedios por el método de Tukey. Los resultados se muestran en la tabla 19, donde las letras A, B, C y D representan los grupos de tratamientos homogéneos. Es decir, que no hay diferencias estadísticamente significativas entre sus medias de la C.I.C.E., por otro lado, tratamientos con letras diferentes pertenecen a grupos distintos, lo que indica que sus promedios son significativamente diferentes.

Tabla 19

Prueba de comparación de promedios múltiple por el método de Tukey de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (mEq-g/100 g), de suelos ácidos de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas de dolomita y silicato

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T7. Silicato (10 t/ha)	3	7.76	A
T6. Dolomita (10 t/ha)	3	7.54	A
T5. Silicato (5 t/ha)	3	4.95	B
T4. Dolomita (5 t/ha)	3	4.89	B
T3. Silicato (2.5 t/ha)	3	3.69	C
T2. Dolomita (2.5 t/ha)	3	3.64	C
T1. Suelo ácido	3	2.91	D

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La comparación múltiple de promedios mediante el método de Tukey de la tabla 19, muestra diferencias significativas en los promedios de la capacidad de intercambio catiónico efectiva entre los diferentes tratamientos evaluados a diversas dosis.

En primer lugar, el tratamiento testigo (T1. Suelo ácido) presenta el promedio más bajo de la C.I.C.E., con un valor de 2.91 mEq-g/100 g, el cual se agrupa solo con la letra “D”. Esto confirma que, sin la aplicación de enmiendas, el suelo mantiene baja C.I.C.E., lo cual es característico de suelos no tratados con enmiendas cálcicas.

Por otro lado, los tratamientos con aplicaciones de dolomita y silicato a 2.5 t/ha (T2 y T3) presentan promedios de la C.I.C.E., de 3.64 y 3.69, respectivamente, los que se agrupan con la misma letra “C”. Esto sugiere que, dichos tratamientos, tienen el mismo efecto en la C.I.C.E., pero significativamente superior respecto al tratamiento testigo.

Al aumentar la dosis de dolomita y silicato a 5 t/ha (T4 y T5), los promedios aumentan a valores de 4.89 y 4.95 respectivamente, ambos tratamientos se agrupan en la letra “B”. Lo que indica que dichos tratamientos tienen el mismo efecto sobre la C.I.C.E., de suelos ácidos. Dichos tratamientos tienen efecto significativo en relación a los tratamientos T2, T3 y testigo.

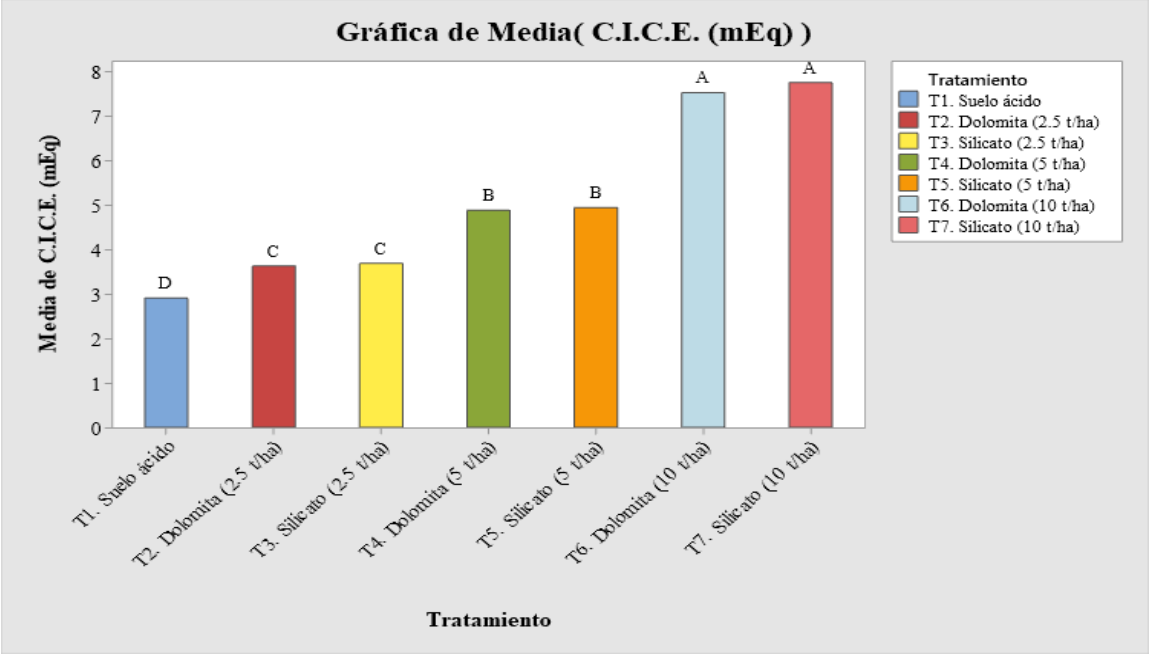
Los tratamientos con las dosis de 10 t/ha de dolomita y silicato (T6 y T7), presentan los valores más altos de C.I.C.E., con un promedio de 7.54 y 7.76 mEq-g/100 g, agrupados en la categoría “A”. Esto sugiere que, dichos tratamientos tienen el mismo efecto en la C.I.C.E., pero significativamente superior respecto a los T2, T3, T4, T5 y al testigo.

Los resultados demuestran que la aplicación de dolomita y silicato a mayores dosis tiene efecto significativo para aumentar la C.I.C.E. de suelos ácidos. El aumento de la C.I.C.E., puede explicarse por los compuestos de carbonato de calcio y magnesio de la dolomita, y el silicato de calcio y magnesio que neutralizan los altos niveles de acidez presentes en suelos ácidos. La adición de estos compuestos provoca una reacción donde el calcio (Ca^{2+}) y el magnesio (Mg^{2+}) son liberados y reemplazan los cationes de H^{+} y Al^{3+}, reduciendo de esta manera la acidez intercambiable del suelo y consecuentemente mejorando la disponibilidad de nutrientes y la retención de agua al aumentar la aireación del suelo.

La figura 9 muestra la media de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (mEq-g/100 g) de suelos ácidos de Maynas, evaluada a los 3 meses después de la incubación con enmiendas calcáreas de dolomita y silicato a diferentes dosis (2.5 t/ha, 5 t/ha y 10 t/ha). Los promedios de los tratamientos, son agrupados en las letras A, B, C y D donde la agrupación en letras iguales significa que los efectos de los tratamientos son iguales.

Figura 9

Media de la capacidad de intercambio catiónico efectiva - C.I.C.E. en (mEq-g/100 g) de suelos ácidos de Maynas, 3 meses después de la incubación con dolomita y silicato



En el tratamiento testigo (T1. Suelo ácido), se registra la menor media de capacidad de intercambio catiónico efectiva – C.I.C.E., con un valor de 2.91 mEq-g/100 g, lo cual está agrupado en la categoría D. Este resultado confirma que, en suelos sin tratamiento, la C.I.C.E., es significativamente baja. El valor en el suelo puede generar efectos adversos en las plantas, debido a la alta acidez del suelo y la baja disponibilidad de nutrientes esenciales como el fósforo, calcio y magnesio.

Los tratamientos con aplicaciones de dolomita y silicato a 2.5 t/ha (T2 y T3) muestran un aumento significativo en la C.I.C.E., con promedios cercanos a 4 mEq-g/100 g. Dichos tratamientos están agrupados con la misma letra "C", es decir que los efectos entre dolomita y silicato a 2.5 t/ha sobre la C.I.C.E., son iguales, pero superiores con relación al tratamiento testigo.

Aumentando la dosis de enmiendas a 5 t/ha (T4 y T5), los promedios de acidez intercambiable aumentan a valores cercanos a 5 mEq-g/100 g, agrupados con la letra "B". Este resultado evidencia que no hay diferencia significativa entre dolomita y silicato sobre la C.I.C.E., de suelos ácidos. Sin embargo, al aumentar la dosis de 2.5 t/ha a 5 t/ha si se aprecian diferencias significativas, lo que es favorable para mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Los tratamientos con las dosis de 10 t/ha de dolomita y silicato (T6 y T7), presentan los promedios más altos, llegando alrededor de 8 mEq-g/100 g, que, a su vez se agrupan en la letra "A", lo que demuestra nuevamente que no existen diferencias significativas entre las fuentes cálcicas de dolomita y silicato, los suelos ácidos, sin embargo, al aumentar las dosis también aumenta la C.I.C.E., lo que representa beneficios para la planta al tener mayor disponibilidad de nutrientes.

4.1.2. Disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos

La disponibilidad de nutrientes en suelos ácidos es un factor crítico que influye directamente en el desarrollo y la productividad de los cultivos. En suelos con pH bajo, muchos nutrientes esenciales, como el fósforo, el calcio y el magnesio, se vuelven menos accesibles para las plantas, mientras que otros elementos, como el aluminio y el manganeso, pueden alcanzar concentraciones tóxicas, afectando negativamente el crecimiento vegetal. La aplicación de enmiendas cálcicas con dolomita y silicato, son prácticas utilizadas para corregir la acidez del suelo, neutralizando los iones hidrógeno y aluminio.

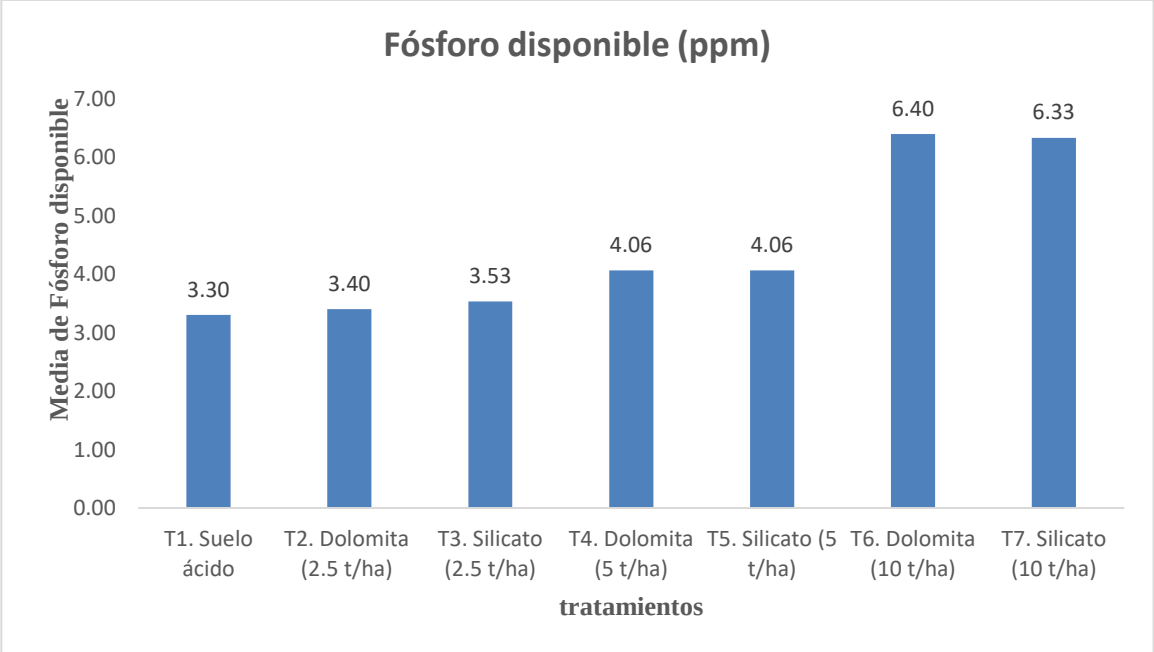
A continuación, se presentan los resultados de la disponibilidad de nutrientes en suelos ácidos de Maynas departamento de Iquitos, después de 3 meses de incubar fuentes cálcicas dolomita y silicato.

A) Fósforo disponible (P)

La figura 10 muestra los efectos principales de la aplicación de dolomita y silicato sobre la disponibilidad de fósforo (ppm) en suelos ácidos de Maynas, departamento de Iquitos. Los datos se obtuvieron a los 3 meses después de haber incubado diferentes dosis de dolomita y silicato. Los tratamientos fueron T1 (Suelo ácido - testigo), T2 (Dolomita 2.5 t/ha), T3 (Silicato 2.5 t/ha), T4 (Dolomita 5 t/ha), T5 (Silicato 5 t/ha), T6 (Dolomita 10 t/ha) y T7 (Silicato 10 t/ha).

Figura 10

Efectos principales de la dolomita y silicato sobre el fósforo disponible (ppm) en suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubados



En la figura 10, se puede apreciar una clara tendencia de incremento en la disponibilidad de fósforo a medida que se incrementan las dosis de dolomita y silicato incubados en suelo. El tratamiento testigo (suelo ácido - T1) presenta la menor disponibilidad de fósforo, con un promedio cercano a 3.3 ppm. A partir de la adición de dolomita y silicato, tanto en dosis bajas (2.5 t/ha) como en dosis más altas (5 y 10 t/ha), se observa un aumento progresivo en los niveles de fósforo disponible en el suelo.

El tratamiento con dolomita a 10 t/ha (T6) y silicato a 10 t/ha (T7) registran las mayores concentraciones de fósforo, alcanzando valores cercanos a 6.5 ppm. Este incremento es notorio cuando se comparan con los tratamientos con menores dosis, como T2 (dolomita 2.5 t/ha) y T3 (silicato 2.5 t/ha), que apenas superan las 3 ppm.

La aplicación de enmiendas de dolomita y silicato mejora la disponibilidad de fósforo en suelos ácidos debido a que el encalado aumenta el pH del suelo, lo cual reduce la fijación de fósforo por compuestos de aluminio y hierro, que tienden a inmovilizar el fósforo en suelos ácidos. Al elevar el pH, el fósforo se vuelve más soluble y, por lo tanto, más disponible para las plantas.

La tabla 20 presenta los estadísticos descriptivos sobre la disponibilidad de fósforo (en ppm) en suelos ácidos de Maynas, departamento de Iquitos, tratados con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato, después de 3 meses de incubación. Se muestran las medias, las desviaciones estándar (Desv. Est.) y los intervalos de confianza al 95% (IC del 95%) para cada tratamiento, lo que permite una evaluación estadística de la variabilidad y el efecto de las enmiendas sobre la disponibilidad de fósforo. Los tratamientos incluyen distintas dosis de dolomita y silicato (2.5, 5 y 10 t/ha), comparados con un suelo ácido no tratado (testigo).

Tabla 20

Estadísticos descriptivos del fósforo disponible (ppm), 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato

Tratamiento	**N**	**Media**	**Desv.Est.**	**IC de 95%**
T1. Suelo ácido (testigo)	3	3.30	0.00577	(3.16032; 3.44634)
T2. Dolomita (2.5 t/ha)	3	3.40	0.2	(3.257; 3.543)
T3. Silicato (2.5 t/ha)	3	3.53	0.1155	(3.3903; 3.6763)
T4. Dolomita (5 t/ha)	3	4.06	0.1155	(3.9237; 4.2097)
T5. Silicato (5 t/ha)	3	4.06	0.1155	(3.9237; 4.2097)
T6. Dolomita (10 t/ha)	3	6.40	0	(6.257; 6.543)
T7. Silicato (10 t/ha)	3	6.33	0.1155	(6.1903; 6.4763)

Nota: Desv.Est. agrupada = 0.115491.

Al analizar los resultados, se observa que el tratamiento testigo (T1) tiene el nivel más bajo de fósforo disponible con una media de 3.30 ppm, lo cual es consistente con su condición de suelo ácido sin enmiendas. La aplicación de dolomita y silicato genera un aumento en la disponibilidad de fósforo en todos los tratamientos, con un efecto creciente a medida que se incrementa la dosis de enmiendas.

Por ejemplo, la dolomita aplicada a 2.5 t/ha (T2) y el silicato en la misma dosis (T3) muestran un ligero aumento en la disponibilidad de fósforo, con medias de 3.40 y 3.53 ppm respectivamente. Aunque el incremento es moderado, demuestra que incluso en dosis pequeñas, las enmiendas comienzan a liberar fósforo previamente inmovilizado en el suelo.

Los tratamientos con dosis más altas (5 t/ha) de dolomita (T4) y silicato (T5) presentan un aumento significativo, alcanzando una media de 4.06 ppm en ambos casos. Este notable incremento puede atribuirse a la mayor capacidad de las enmiendas para neutralizar la acidez del suelo, favoreciendo así la solubilización del fósforo. Además, las desviaciones estándar en estos tratamientos son bajas (0.1155), lo que indica que los resultados son consistentes.

Los tratamientos con 10 t/ha de dolomita (T6) y silicato (T7) muestran los valores más altos de fósforo disponible, con medias de 6.40 y 6.33 ppm, respectivamente. Estos resultados reflejan la mayor eficacia de estas dosis para liberar fósforo, debido a una mayor neutralización de la acidez del suelo y la reducción de la fijación de fósforo por parte de compuestos de aluminio y hierro. Cabe destacar que el tratamiento con dolomita a 10 t/ha (T6) tiene una desviación estándar de 0, lo que sugiere una uniformidad absoluta en la respuesta del suelo a este tratamiento.

Para validar si existen diferencias entre los efectos de los tratamientos sobre la disponibilidad de fósforo, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) considerando las siguientes hipótesis:

Ho: $\mu1 = \mu2 = \mu3 = \mu4 = \mu5 = \mu6 = \mu7$ (No existe efecto atribuible a los tratamientos en la disponibilidad de fósforo de suelos ácidos).

H1: $\mu1 \neq \mu2 \neq \mu3 \neq \mu4 \neq \mu5 \neq \mu6 \neq \mu7$ (Existe efecto atribuible a los tratamientos en la disponibilidad de fósforo de suelos ácidos).

El nivel alfa asumido fue de 0.05 para la prueba, los resultados del análisis se muestran en la tabla 21, donde las fuentes de variación son por efecto de los tratamientos y por efecto del error experimental.

Tabla 21

Análisis de varianza (ANOVA) de fósforo disponible, a los 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas dolomita y silicato

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	6	32.7019	5.45032	408.63	0.000
Error	14	0.1867	0.01334		
Total	20	32.8887			

Según la tabla 21, el valor F es 408.63 lo que indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos en cuanto a la disponibilidad de fósforo en el suelo. Este valor F asociado al valor p de 0.000, señala que los efectos entre los tratamientos son diferentes y no son producto del azar, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Es decir, hay un efecto atribuible a los tratamientos en la disponibilidad de fósforo de suelos ácidos proveniente de Maynas, Iquitos.

El valor p de 0.000, que es menor que cualquier nivel de significancia convencional (como 0.05 o 0.01), indica que existe una diferencia altamente significativa entre los promedios de los diferentes tratamientos. Esto confirma que la aplicación de las enmiendas cálcicas (dolomita y silicato) tiene un efecto directo sobre la disponibilidad de fósforo en suelos ácidos.

Para determinar el mejor tratamiento que aumenta la disponibilidad de fósforo en suelos ácidos, se ha realizado la prueba de comparación múltiple de promedios por el método de Tukey. Los resultados se muestran en la tabla 22, donde las letras A, B y C representan los grupos de tratamientos homogéneos. Es decir, que no hay diferencias estadísticamente significativas entre sus promedios en comparación. Por otro lado, los tratamientos agrupados con letras diferentes pertenecen a grupos distintos, lo que indica que sus promedios en comparación son significativamente diferentes.

Tabla 22

Prueba de comparación de promedios múltiple por el método de Tukey de la disponibilidad de fósforo (ppm) de suelos ácidos de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas de dolomita y silicato

Tratamiento	N	Media	Agrupación		
T6. Dolomita (10 t/ha)	3	6.40	A		
T7. Silicato (10 t/ha)	3	6.33	A		
T5. Silicato (5 t/ha)	3	4.06		B	
T4. Dolomita (5 t/ha)	3	4.06		B	
T3. Silicato (2.5 t/ha)	3	3.53			C
T2. Dolomita (2.5 t/ha)	3	3.40			C
T1. Suelo ácido	3	3.30			C

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La comparación múltiple de promedios mediante el método de Tukey de la tabla 22, muestra diferencias significativas en los promedios de la disponibilidad de fósforo entre los diferentes tratamientos evaluados a diversas dosis.

En primer lugar, el tratamiento testigo (T1. Suelo ácido) presenta el promedio más bajo de 3.30 ppm, el cual se agrupa con los tratamientos cuyas aplicaciones de dolomita y silicato son a 2.5 t/ha (T2 y T3) y presentan promedios de disponibilidad de fósforo de 3.40 y 3.53 respectivamente. Dichos tratamientos están agrupados con la letra “C”. Esto significa que, a pesar de incorporar 2.5 t/ha de dolomita y silicato, la disponibilidad de fósforo es igual que el tratamiento testigo.

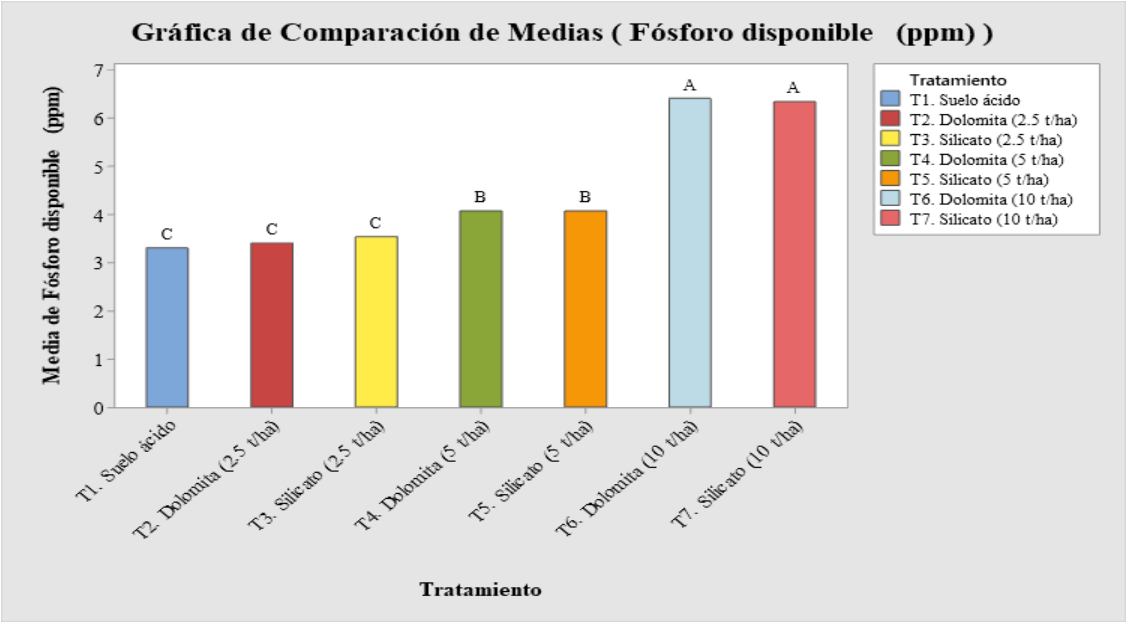
Al aumentar la dosis de dolomita y silicato a 5 t/ha (T4 y T5), los promedios aumentan a valores de 4.06, ambos tratamientos se agrupan en la letra “B”. Esto indica que dichos tratamientos tienen el mismo efecto sobre la disponibilidad de fósforo en suelos ácidos, pero tienen efecto significativo en comparación con los tratamientos T2, T3 y testigo.

Los tratamientos con las dosis de 10 t/ha de dolomita y silicato (T6 y T7), presentan los valores más altos de disponibilidad de fósforo con un promedio de 6.33 y 6.40 ppm y están agrupados en la categoría “A”. Esto sugiere que, en la dosis de 10 t/ha tanto la dolomita como el silicato tienen el mismo efecto en la disponibilidad de fósforo, pero significativamente superior a los efectos de los tratamientos T2, T3, T4, T5 y testigo.

La figura 11 muestra la media de la disponibilidad de fósforo (ppm) de suelos ácidos de Maynas, evaluada a los 3 meses después de la incubación con enmiendas calcáreas de dolomita y silicato a diferentes dosis (2.5 t/ha, 5 t/ha y 10 t/ha). Los promedios de los tratamientos, son agrupados en las letras A, B y C donde la agrupación en letras iguales significa que los efectos de los tratamientos son iguales.

Figura 11

Promedio de la disponibilidad de fósforo en ppm en suelos ácidos de Maynas, 3 meses después de la incubación con dolomita y silicato



La figura 11 muestra los efectos promedios de los tratamientos y da a conocer una clara tendencia de incremento en la disponibilidad de fósforo conforme se aumentan las dosis de dolomita y silicato. En el tratamiento sin enmiendas (T1, suelo ácido testigo), el fósforo disponible es de 3.30 ppm, lo que representa una cantidad limitada para el desarrollo adecuado de las plantas. Este resultado es consistente con la condición típica de suelos ácidos, donde la acidez provoca la inmovilización del fósforo al formar complejos insolubles con el hierro y el aluminio.

Al aplicar dolomita y silicato en dosis bajas (2.5 t/ha), se observó una ligera mejora en la disponibilidad de fósforo (T2 y T3), con valores de 3.40 ppm y 3.53 ppm, respectivamente. Aunque estas dosis iniciales generaron un efecto positivo, no lograron una diferencia significativa en comparación con el testigo, como lo indica el agrupamiento estadístico con la misma letra “C”. Esto sugiere que las dosis bajas de enmiendas no son suficientes para superar los efectos de la acidez y liberar cantidades importantes de fósforo para las plantas.

Por otro lado, las dosis de 5 t/ha de dolomita y silicato mostraron una mejora considerable, con promedios de fósforo disponible de 4.06 ppm para ambos tratamientos (T4 y T5). Estos tratamientos se agruparon en una categoría distinta (grupo B), lo que indica un aumento significativo en la disponibilidad de fósforo en comparación con las dosis de 2.5 t/ha y el testigo. Este incremento se debe posiblemente a una mayor neutralización de la acidez, lo que permite la solubilización del fósforo previamente fijado.

El mayor efecto se observó en las dosis de 10 t/ha de dolomita y silicato, donde los tratamientos T6 y T7 alcanzaron medias de 6.40 ppm y 6.33 ppm, respectivamente, formando el grupo estadísticamente más alto (A). Estos valores representan más del doble del fósforo disponible en comparación con el suelo ácido no tratado, lo que refleja la capacidad de las dosis altas de enmiendas para modificar significativamente las condiciones químicas del suelo. En este caso, el aumento del pH debido a las enmiendas no solo reduce la toxicidad del aluminio y el hierro, sino que también incrementa la disponibilidad de fósforo, un nutriente esencial para el desarrollo de las plantas.

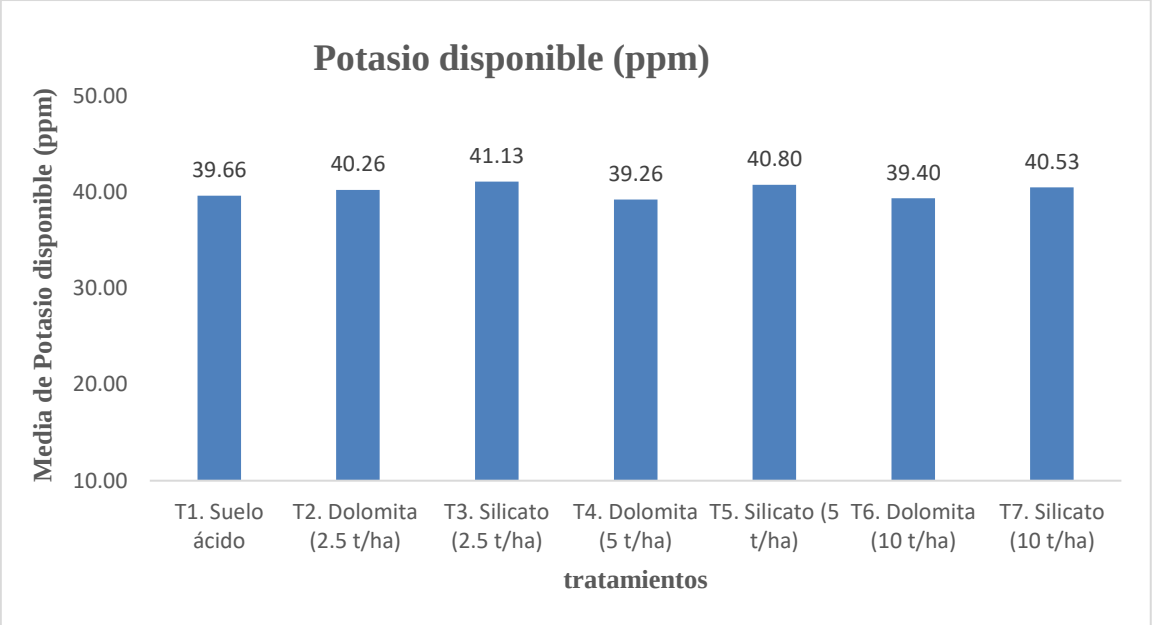
B) Potasio disponible (K)

El potasio disponible en suelos ácidos es escaso, por ello, es necesario corregir la acidez del suelo mediante la aplicación de enmiendas como la dolomita o el silicato, que mejoran la disponibilidad del potasio al neutralizar los iones de hidrógeno y aluminio, permitiendo que el potasio quede accesible para ser absorbido por las plantas.

La figura 12 muestra los efectos principales de las enmiendas de dolomita y silicato sobre el potasio disponible (en ppm) en suelos ácidos de Maynas, después de tres meses de incubación. Los tratamientos evaluados incluyen diferentes dosis de dolomita y silicato (2.5 t/ha, 5 t/ha y 10 t/ha) comparados con un suelo ácido sin enmienda, utilizado como testigo.

Figura 12

Efectos principales de la dolomita y silicato sobre el potasio disponible (ppm) en suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado



Al observar los resultados de la figura 12, el tratamiento T1 (suelo ácido sin enmienda) muestra una media de potasio disponible cercana a 39.5 ppm, que es el valor más bajo entre todos los tratamientos. Esto es consistente con la naturaleza de los suelos ácidos, donde la alta acidez suele reducir la disponibilidad de nutrientes esenciales como el potasio.

Con la aplicación de dolomita a dosis de 2.5 t/ha (T2), se observa un incremento en la disponibilidad de potasio, con una media superior a 40 ppm. Este aumento se debe probablemente a la capacidad de la dolomita para neutralizar la acidez del suelo, mejorando así la liberación y la disponibilidad de cationes como el potasio. El tratamiento con silicato en dosis de 2.5 t/ha (T3) también genera una leve mejora en la disponibilidad de potasio en comparación con el suelo ácido, aunque en menor medida que la dolomita.

El tratamiento con dolomita a 5 t/ha (T4) muestra el valor más alto de potasio disponible, alcanzando una media de aproximadamente 41 ppm. Esto indica que la dosis media de dolomita tiene un efecto significativo en la disponibilidad de potasio, probablemente debido a su efecto neutralizador sobre la acidez y su aporte de calcio, que compite con el aluminio por los sitios de intercambio catiónico, liberando así potasio disponible.

Los resultados para el tratamiento con silicato a 5 t/ha (T5) no reflejan una mejora adicional en la disponibilidad de potasio en comparación con la dolomita, mostrando una disminución en comparación con T4. Este comportamiento podría deberse a las diferencias en la disolución y en los efectos de cada enmienda en la dinámica de los nutrientes del suelo.

En los tratamientos con dosis más altas (10 t/ha), tanto la dolomita (T6) como el silicato (T7) presentan fluctuaciones. El tratamiento con dolomita a 10 t/ha (T6) no incrementa la disponibilidad de potasio en la misma medida que la dosis de 5 t/ha, sugiriendo que dosis más elevadas no siempre resultan en mayores disponibilidades de nutrientes. El silicato a 10 t/ha (T7), por su parte, muestra una recuperación en la disponibilidad de potasio con respecto a su dosis más baja, alcanzando valores similares a los observados con dolomita en 2.5 t/ha.

La tabla 23 muestra los resultados de la disponibilidad de potasio (ppm) en suelos ácidos de Maynas, tres meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas de dolomita y silicato. Los datos incluyen el número de muestras (N), la media de potasio disponible, la desviación estándar (Desv. Est.) y el intervalo de confianza (IC) al 95% para cada tratamiento. Este análisis permite evaluar el efecto de diferentes dosis de dolomita y silicato sobre la disponibilidad de potasio en comparación con el suelo ácido (testigo) sin tratamiento.

Tabla 23

Estadísticos descriptivos del potasio disponible (ppm), 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato

Tratamiento	**N**	**Media**	**Desv.Est.**	**IC de 95%**
T1. Suelo ácido	3	39.66	0.577	(37.399; 41.934)
T2. Dolomita (2.5 t/ha)	3	40.26	0.231	(37.999; 42.534)
T3. Silicato (2.5 t/ha)	3	41.13	1.286	(38.866; 43.401)
T4. Dolomita (5 t/ha)	3	39.27	3.06	(37.00; 41.53)
T5. Silicato (5 t/ha)	3	40.80	2.91	(38.53; 43.07)
T6. Dolomita (10 t/ha)	3	39.40	1.249	(37.133; 41.667)
T7. Silicato (10 t/ha)	3	40.53	1.447	(38.266; 42.801)

Nota: Desv.Est. agrupada = 1.83095.

La tabla 23 presenta los resultados de la disponibilidad de potasio en suelos ácidos, tratados con diferentes dosis de dolomita y silicato, dicha tabla refleja variaciones importantes en los promedios, desviaciones estándar e intervalos de confianza.

El tratamiento testigo (T1) en suelos ácidos sin enmiendas muestra un promedio de 39.66 ppm de potasio disponible. Este valor es consistente con las características de los suelos ácidos, donde la lixiviación del potasio es común debido a la alta concentración de iones de hidrógeno y aluminio, que desplazan el potasio de los sitios de intercambio catiónico. Además, la desviación estándar de 0.577 indica una baja variabilidad en las réplicas de este tratamiento, lo que sugiere que el comportamiento del potasio en estos suelos es predecible. El intervalo de confianza del 95% (37.399; 41.934) indica que la variabilidad en el promedio tiende a situarse en este rango.

Al aplicar dolomita a una dosis de 2.5 t/ha (T2), el promedio de potasio disponible aumenta a 40.26 ppm, lo que indica una mejora en la disponibilidad de este nutriente debido a la neutralización de la acidez del suelo. La desviación estándar de 0.231 es baja, lo que indica una mayor homogeneidad en las réplicas y mayor precisión en el efecto de este tratamiento. El intervalo de confianza (37.999; 42.534) implica una variabilidad mayor del promedio respecto al tratamiento T1, por tanto, la aplicación de dolomita a la dosis de 2.5 t/ha, muestra una ligera mejoría en la disponibilidad de potasio.

En el caso del silicato aplicado a 2.5 t/ha (T3), el promedio de potasio disponible es mayor, alcanzando los 41.13 ppm, lo que sugiere que esta enmienda es más efectiva en liberar potasio que la dolomita a dosis bajas. Sin embargo, la desviación estándar aumenta a 1.286, lo que indica una mayor variabilidad en los resultados de las réplicas, y su intervalo de confianza (38.866; 43.401) es más amplio, lo que podría estar relacionado con la complejidad de los mecanismos del silicato para liberar nutrientes en suelos ácidos.

Cuando la dolomita se aplica a 5 t/ha (T4), el promedio de potasio disminuye ligeramente a 39.27 ppm, lo que podría sugerir un efecto de saturación en la capacidad del suelo para retener potasio o una liberación más lenta de este nutriente. La desviación estándar en este tratamiento es bastante alta (3.06), lo que refleja una considerable variabilidad en los resultados y sugiere que el efecto de esta dosis de dolomita sobre la disponibilidad de potasio no es consistente. El intervalo de confianza (37.00; 41.53) también es más amplio, lo que indica mayor incertidumbre en el efecto de este tratamiento.

El silicato a 5 t/ha (T5) muestra un promedio de 40.80 ppm, con una desviación estándar de 2.91, lo que implica que, aunque el promedio es más alto que en los tratamientos con dolomita a la misma dosis, la variabilidad en los resultados es similarmente alta. El intervalo de confianza (38.53; 43.07) sugiere que, a pesar de la variabilidad, el silicato sigue mostrando un efecto positivo sobre la disponibilidad de potasio en comparación con el suelo ácido sin tratamiento.

Los tratamientos con 10 t/ha de dolomita (T6) y silicato (T7) muestran promedios de 39.40 ppm y 40.53 ppm respectivamente. Estos resultados no presentan incrementos significativos respecto a las dosis más bajas, lo que sugiere que una mayor cantidad de enmienda no necesariamente resulta en una mayor disponibilidad de potasio. Las desviaciones estándar en estos tratamientos (1.249 para T6 y 1.447 para T7) son moderadas, indicando que, aunque hay cierta variabilidad, los efectos de las dosis altas tienden a ser más consistentes. Los intervalos de confianza (37.133; 41.667 para T6 y 38.266; 42.801 para T7) son relativamente amplios, lo que sugiere que, aunque los promedios no varían mucho entre tratamientos, sigue existiendo un margen considerable de incertidumbre.

Para validar si existen diferencias entre los efectos de los tratamientos sobre la disponibilidad de potasio, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) considerando las siguientes hipótesis:

Ho: $\mu 1 = \mu 2 = \mu 3 = \mu 4 = \mu 5 = \mu 6 = \mu 7$ (No existe efecto atribuible a los tratamientos en la disponibilidad de potasio de suelos ácidos).

H1: $\mu 1 \neq \mu 2 \neq \mu 3 \neq \mu 4 \neq \mu 5 \neq \mu 6 \neq \mu 7$ (Existe efecto atribuible a los tratamientos en la disponibilidad de potasio de suelos ácidos).

El nivel alfa asumido fue de 0.05 para la prueba. Los resultados del análisis se muestran en la tabla 24, donde las fuentes de variación son por efecto de los tratamientos y por efecto del error experimental.

Tabla 24

Análisis de varianza (ANOVA) de potasio disponible (ppm), a los 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas dolomita y silicato

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	6	9.379	1.563	0.47	0.822
Error	14	46.933	3.352		
Total	20	56.312			

Los resultados del ANOVA muestran un valor F de 0.47 y un valor p asociado de 0.822. Un valor p mayor que 0.05 indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula al nivel de significancia del 5%. En este caso, dado que el valor p es significativamente mayor que 0.05, se concluye que no se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos en términos de la mejora de la disponibilidad de potasio en el suelo ácido.

La suma de cuadrados ajustada (SC Ajust.) para el factor tratamiento es 9.379, lo que representa la variabilidad explicada por los diferentes tratamientos. En contraste, el error, o la variabilidad no explicada, tiene una suma de cuadrados ajustada de 46.933, lo que indica que la mayor parte de la variabilidad en los datos no se debe a los tratamientos, sino a otros factores no controlados o al azar.

La media de los cuadrados ajustados (MC Ajust.) para el tratamiento es 1.563, mientras que para el error es 3.352. La relación entre estas medias de cuadrados es lo que define el valor F. En este caso, el valor F es bajo (0.47), lo que refuerza la conclusión de que las diferencias entre los tratamientos no son lo suficientemente grandes como para ser estadísticamente significativas. Por tanto, no se puede afirmar que alguno de los tratamientos con dolomita o silicato en sus diferentes dosis haya tenido un efecto significativamente diferente sobre la disponibilidad de potasio en los suelos ácidos en comparación con el testigo. Esto sugiere que, bajo las condiciones del experimento, las dosis aplicadas de estas enmiendas no mejoraron significativamente la disponibilidad de potasio a los tres meses de incubación.

C) Calcio Disponible (Ca)

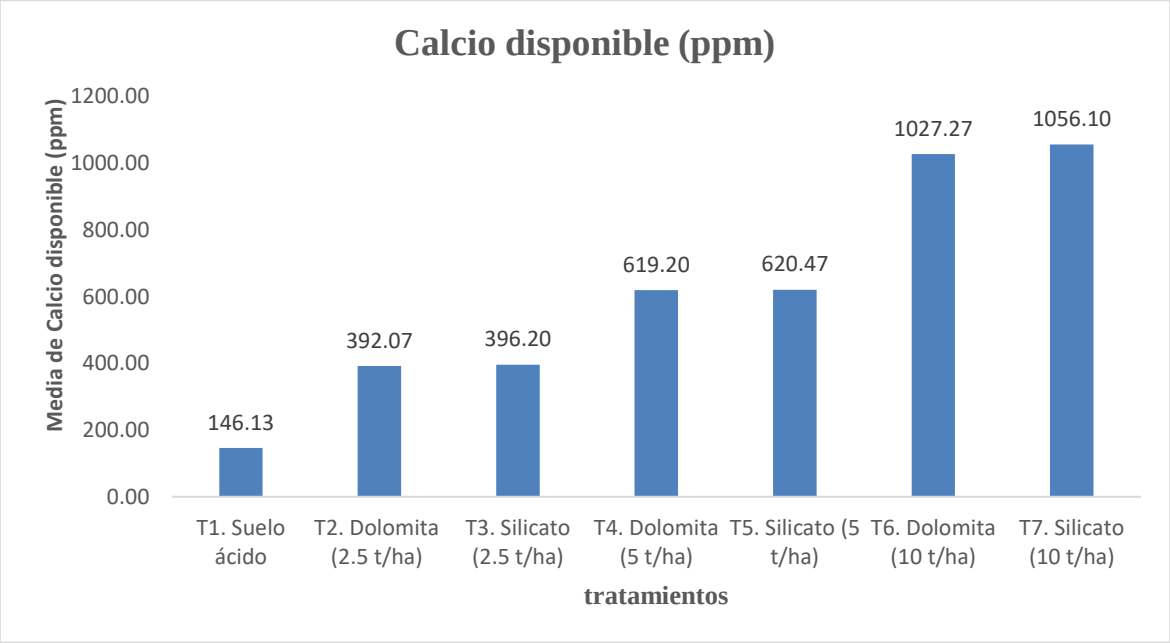
En suelos ácidos la disponibilidad de calcio es limitada debido a que tiende a ser desplazada del complejo de intercambio catiónico del suelo por otros iones más abundantes en estos ambientes, como el hidrógeno (H^+) y el aluminio (Al^{3+}). Este desplazamiento reduce la cantidad de calcio disponible en la solución del suelo, lo que dificulta su absorción por las raíces de las plantas.

Para mejorar la disponibilidad de calcio en suelos ácidos, se aplican enmiendas cálcicas como la dolomita y el silicato, las cuales neutralizan la acidez del suelo y liberan calcio disponible para las plantas. Estas enmiendas reaccionan con los protones (H^+) y el aluminio en el suelo, elevando el pH y reemplazando estos iones por calcio en el complejo de intercambio catiónico.

La figura 13 presenta los efectos principales de las enmiendas de dolomita y silicato sobre la disponibilidad de calcio (Ca) en ppm (partes por millón) en suelos ácidos de Maynas, medida a los tres meses de ser incubada. Este análisis compara el impacto de diferentes dosis y tipos de enmiendas en la concentración de calcio disponible en el suelo, desde la aplicación de 2.5 t/ha hasta 10 t/ha.

Figura 13

Efectos principales de la dolomita y silicato sobre el calcio disponible (ppm) en suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado



Los resultados de la figura 13, muestran que el tratamiento T1, correspondiente al suelo ácido sin enmiendas, presenta los niveles más bajos de calcio disponible, situándose por debajo de 150 ppm. Al comparar esto con los tratamientos T2 y T3, que involucran aplicaciones de 2.5 t/ha de dolomita y silicato respectivamente, observamos un aumento significativo en la disponibilidad de calcio, alcanzando cerca de 400 ppm. Esta tendencia continúa para los tratamientos T4 y T5 con dosis de 5 t/ha de dolomita y silicato, que modifican la disponibilidad de calcio a valores cercanos a 600 ppm. Al aumentar la dosis a 10 t/ha de dolomita y silicato el calcio disponible es aún más notable llegando a niveles por encima de 1000 ppm.

El incremento de la disponibilidad de calcio según los tratamientos con dolomita y silicato se puede explicar por la naturaleza química de la dolomita y silicato, que son carbonatos de calcio y magnesio. Al ser aplicada a suelos ácidos, la dolomita se disuelve y libera iones de calcio y magnesio que no solo neutralizan la acidez del suelo, sino que también incrementan la concentración de calcio disponible para las plantas.

Para comprender el comportamiento de la disponibilidad de calcio, tras la incubación de fuentes cálcicas de dolomita y silicato se muestra la tabla 25, donde se pueden apreciar los promedios de calcio disponible entre los tratamientos aplicados, así como evaluar la variabilidad de los datos a través de la desviación estándar y los intervalos de confianza del 95%.

Tabla 25

Estadísticos descriptivos de calcio disponible (ppm) a los 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato

Tratamiento	**N**	**Media**	**Desv.Est.**	**IC de 95%**
T1. Suelo ácido	3	146.13	0.577	(117.361; 174.906)
T2. Dolomita (2.5 t/ha)	3	392.07	9.24	(363.29; 420.84)
T3. Silicato (2.5 t/ha)	3	396.20	14.82	(367.43; 424.97)
T4. Dolomita (5 t/ha)	3	619.20	12.71	(590.43; 647.97)
T5. Silicato (5 t/ha)	3	620.47	10.03	(591.69; 649.24)
T6. Dolomita (10 t/ha)	3	1027.27	16.88	(998.49; 1056.04)
T7. Silicato (10 t/ha)	3	1056.10	54.1	(1027.3; 1084.8)

Nota: Desv.Est. agrupada = 23.2358.

El tratamiento con suelo ácido (T1) presenta una media de 146.13 ppm de calcio, el valor más bajo de todos los tratamientos. Esto es consistente con lo que se espera en suelos ácidos, donde el calcio tiende a lixiviarse y desplazarse debido a la presencia de cationes como el aluminio y el hierro, que reducen la disponibilidad de este nutriente esencial para las plantas. La desviación estándar de 0.577 indica que los datos son muy consistentes, y el intervalo de confianza del 95% (117.361; 174.906) refleja que la variabilidad es mínima, lo que confirma la baja disponibilidad de calcio en suelos no tratados.

La aplicación de dolomita en una dosis baja de 2.5 t/ha (T2) incrementa significativamente la disponibilidad de calcio a 392.07 ppm. Este resultado demuestra el efecto positivo de la dolomita, que aporta calcio y neutraliza la acidez del suelo. La desviación estándar de 9.24 sugiere una ligera variabilidad entre las muestras, y el intervalo de confianza del 95% (363.29; 420.84) muestra que el aumento de calcio es consistente.

El tratamiento con silicato en la misma dosis de 2.5 t/ha (T3) ofrece resultados similares, con una media de 396.20 ppm de calcio. Aunque la desviación estándar es algo mayor (14.82), lo que indica una variabilidad ligeramente más alta, el intervalo de confianza del 95% (367.43; 424.97) sigue siendo pequeño, lo que demuestra la efectividad del silicato para mejorar la disponibilidad de calcio. El silicato, además de suministrar calcio y magnesio, también mejora la estructura del suelo y reduce la acidez, lo que contribuye a este incremento.

A medida que se aumenta la dosis de dolomita a 5 t/ha (T4), la disponibilidad de calcio se incrementa de manera significativa hasta 619.20 ppm. La desviación estándar de 12.71 refleja una variabilidad moderada en los datos, y el intervalo de confianza (590.43; 647.97) indica que este tratamiento es eficaz para aumentar de manera consistente el calcio en suelos ácidos.

El tratamiento con silicato a 5 t/ha (T5) también eleva la disponibilidad de calcio a un nivel similar (620.47 ppm), con una desviación estándar menor (10.03), lo que sugiere una mayor uniformidad en los resultados. El intervalo de confianza (591.69; 649.24) reafirma esta tendencia, mostrando que tanto la dolomita como el silicato son igualmente efectivos cuando se aplican en las dosis señaladas.

Con la aplicación de dolomita en una dosis de 10 t/ha (T6), la disponibilidad de calcio alcanza los 1027.27 ppm, lo que representa un aumento significativo respecto a las dosis menores. La desviación estándar de 16.88 sugiere una mayor dispersión en los datos, pero el intervalo de confianza (998.49; 1056.04) muestra que este tratamiento proporciona una mejora considerable en el contenido de calcio en el suelo.

El incremento del calcio disponible se debe a la neutralización de la acidez por parte de la dolomita, que permite que los cationes de calcio sean más accesibles para las plantas.

El tratamiento con silicato en la dosis de 10 t/ha (T7) proporciona la mayor cantidad de calcio disponible, con una media de 1056.10 ppm. No obstante, este tratamiento presenta la desviación estándar más alta (54.1), lo que indica una mayor variabilidad entre las muestras. A pesar de esta dispersión, el intervalo de confianza del 95% (1027.3; 1084.8) refleja que el tratamiento es eficaz para aumentar significativamente el calcio disponible en suelos ácidos.

Para validar si existen diferencias entre los efectos de los tratamientos sobre la disponibilidad de calcio, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) considerando las siguientes hipótesis:

Ho: $\mu1 = \mu2 = \mu3 = \mu4 = \mu5 = \mu6 = \mu7$ (No existe efecto atribuible a los tratamientos en la disponibilidad de calcio de suelos ácidos).

H1: $\mu1 \neq \mu2 \neq \mu3 \neq \mu4 \neq \mu5 \neq \mu6 \neq \mu7$ (Existe efecto atribuible a los tratamientos en la disponibilidad de calcio de suelos ácidos).

El nivel alfa asumido fue de 0.05 para la prueba. Los resultados del análisis se muestran en la tabla 26, donde las fuentes de variación son por efecto de los tratamientos y por efecto del error experimental.

Tabla 26

Análisis de varianza (ANOVA) del calcio disponible en suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	6	2044908	340818	631.26	0
Error	14	7559	540		
Total	20	2052467			

Según la tabla 26 el valor de la suma de cuadrados ajustada (SC Ajust.) para el tratamiento es de 2044908, lo que indica la variabilidad total explicada por los diferentes tratamientos aplicados. El valor medio cuadrático ajustado (MC Ajust.) para los tratamientos es de 340818, en comparación con el valor medio cuadrático del error (540), lo que indica una diferencia considerable entre las fuentes de variación.

El valor F obtenido es de 631.26, que es extremadamente elevado. Este valor F compara la variabilidad explicada por los tratamientos con la variabilidad no explicada (o error) y, al ser tan alto, sugiere que existe una diferencia significativa entre los tratamientos en cuanto a la disponibilidad de calcio en el suelo.

El valor p correspondiente es 0.000, lo que significa que la probabilidad de que las diferencias observadas entre los tratamientos sean producto del azar es prácticamente nula. Dado que el valor p es menor que el nivel alfa asumido (0.05), se rechaza la hipótesis nula. Por tanto, se concluye que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto significativo en la mejora de la disponibilidad de calcio en suelos ácidos.

En la tabla 26 se puede apreciar el ANOVA de un factor respecto al calcio disponible, donde el valor p=0,000, es menor que el 5 % = 0,05, lo cual indica la existencia de un efecto atribuible a los tratamientos. Esto se refleja también en el valor de F=631,26 el cual muestra una diferencia significativa entre los tratamientos.

Para determinar el mejor tratamiento que aumenta la disponibilidad de calcio en suelos ácidos, se ha realizado la prueba de comparación múltiple de promedios por el método de Tukey. Los resultados se muestran en la tabla 27, donde las letras A, B, C y D representan los grupos de tratamientos homogéneos. Es decir, que no hay diferencias estadísticamente significativas entre sus promedios en comparación. Por otro lado, los tratamientos agrupados con letras diferentes pertenecen a grupos distintos, lo que indica que sus promedios en comparación son significativamente diferentes.

Tabla 27

Prueba de comparación de promedios múltiple por el método de Tukey de la disponibilidad de calcio (ppm) de suelos ácidos de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas de dolomita y silicato

Tratamiento	N	Media	Agrupación			
T7. Silicato (10 t/ha)	3	1056.10	A			
T6. Dolomita (10 t/ha)	3	1027.27	A			
T5. Silicato (5 t/ha)	3	620.47		B		
T4. Dolomita (5 t/ha)	3	619.20		B		
T3. Silicato (2.5 t/ha)	3	396.20			C	
T2. Dolomita (2.5 t/ha)	3	392.07			C	
T1. Suelo ácido	3	146.13				D

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Según la tabla 27, los tratamientos T7 (Silicato a 10 t/ha) y T6 (Dolomita a 10 t/ha) se agrupan con la letra "A", con promedios de disponibilidad de calcio de 1056.10 ppm y 1027.27 ppm, respectivamente. Estos tratamientos son los que lograron los valores más altos de calcio disponible y no presentan diferencias significativas entre ellos. Esto sugiere que tanto el silicato como la dolomita aplicados a una dosis de 10 t/ha son igualmente efectivos para incrementar significativamente la disponibilidad de calcio en el suelo.

Por otro lado, los tratamientos T5 (Silicato a 5 t/ha) y T4 (Dolomita a 5 t/ha) están agrupados con la letra "B", con promedios de 620.47 ppm y 619.20 ppm, respectivamente. Aunque estos tratamientos también incrementan de manera considerable la disponibilidad de calcio en comparación con el testigo, su efecto es significativamente menor que el de las aplicaciones a 10 t/ha. Esto indica que, aunque tanto el silicato como la dolomita a dosis moderadas (5 t/ha) mejoran el calcio disponible, lo hacen en un nivel intermedio.

Los tratamientos T3 (Silicato a 2.5 t/ha) y T2 (Dolomita a 2.5 t/ha) están agrupados con la letra "C", con promedios de 396.20 ppm y 392.07 ppm, respectivamente. Estos resultados muestran que las dosis más bajas (2.5 t/ha) de ambos productos también tienen un efecto positivo en la disponibilidad de calcio, aunque es significativamente menor en comparación con las dosis más altas. A pesar de que mejoran el contenido de calcio en el suelo, su impacto es mucho más limitado.

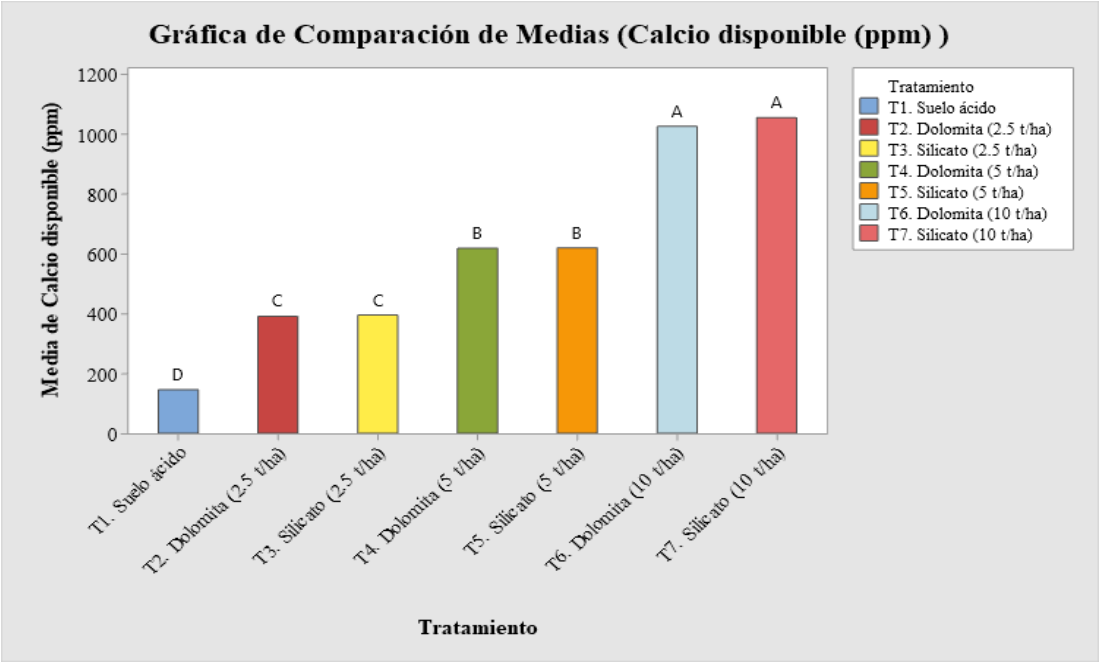
El tratamiento T1 (suelo ácido sin enmiendas) se encuentra en el grupo "D", con un promedio de 146.13 ppm, el valor más bajo entre todos los tratamientos. Esto evidencia que, en suelos ácidos no tratados, la disponibilidad de calcio es considerablemente reducida, lo que coincide con lo que se espera de suelos con alta acidez, donde el calcio suele estar limitado y menos disponible para las plantas.

La comparación de promedios de la tabla 27, muestra que a medida que aumenta la dosis de dolomita o silicato, se incrementa la disponibilidad de calcio en el suelo, siendo las dosis más altas (10 t/ha) las más efectivas. Este aumento en la disponibilidad de calcio se debe a la capacidad de las enmiendas cálcicas para neutralizar la acidez del suelo, reduciendo la concentración de iones H^+ que interfieren con la disponibilidad de cationes esenciales como el calcio.

La figura 14 muestra la media de la disponibilidad de calcio (ppm) de suelos ácidos de Maynas, evaluada a los 3 meses después de la incubación con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato a diferentes dosis (2.5 t/ha, 5 t/ha y 10 t/ha). Los promedios de los tratamientos, son agrupados en las letras A, B, C y D donde la agrupación en letras iguales significa que los efectos de los tratamientos son iguales.

Figura 14

Promedio de la disponibilidad de calcio en (ppm) en suelos ácidos de Maynas, 3 meses después de la incubación con dolomita y silicato



La figura 14 muestra los efectos promedios de los tratamientos y da a conocer una clara tendencia de incremento en la disponibilidad de calcio conforme se aumentan las dosis de dolomita y silicato. En el tratamiento sin enmiendas (T1, testigo), el calcio disponible parte de aproximadamente 140 ppm. Al aplicar dolomita y silicato en dosis de 2.5 t/ha, se observó una ligera mejora en la disponibilidad de calcio (T2 y T3), con valores cercanos a 400 ppm que a su vez se agrupan con la misma letra "C". Aunque estas dosis son pequeñas, su efecto es positivo en comparación con el testigo.

Por otro lado, al aumentar la dosis a 5 t/ha de dolomita y silicato la disponibilidad de calcio aún mejora significativamente, con promedios de calcio disponible por encima de 600 ppm para ambos tratamientos (T4 y T5). Estos tratamientos se agrupan en una misma letra "B", es decir, no hay diferencia significativa entre la dolomita y silicato a las dosis de 5 t/ha.

Al aumentar la dosis a 10 t/ha de dolomita y silicato (T6 y T7), los promedios de disponibilidad de calcio aumentan por encima de 1000 ppm, formando el agrupamiento más alto con la letra "A". Estos valores representan cinco (5) veces más del calcio disponible en comparación con el suelo ácido no tratado.

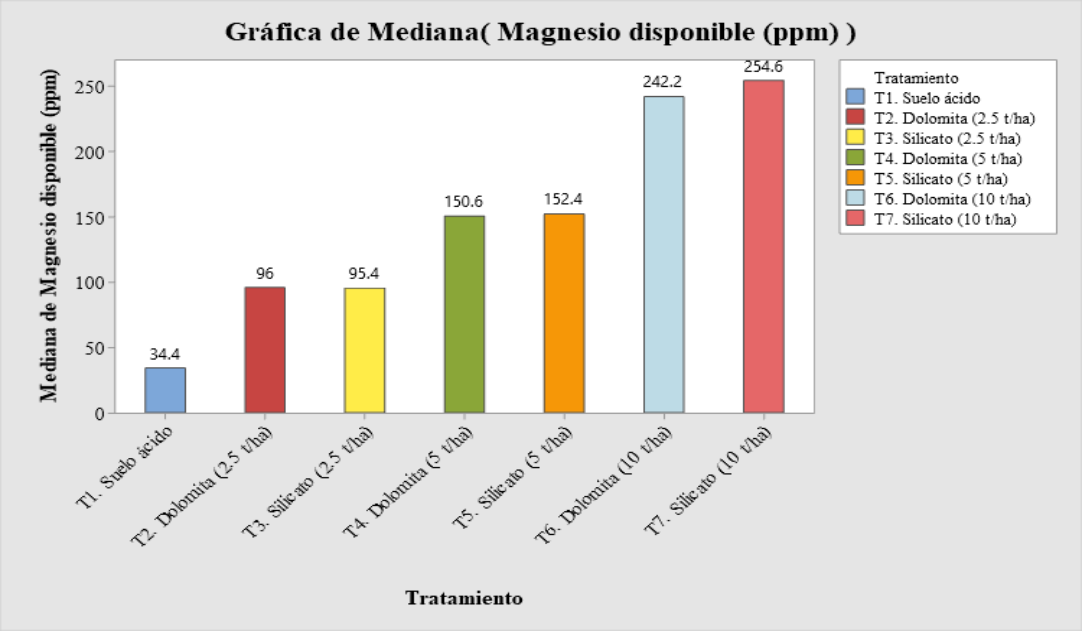
D) Magnesio disponible (Mg)

En suelos ácidos, uno de los principales problemas es la baja disponibilidad de nutrientes como el magnesio. La acidez del suelo, generalmente asociada a un pH bajo provoca que el magnesio disponible, al ser un catión básico, sea desplazado de los sitios de intercambio catiónico del suelo por iones de hidrógeno (H^+) o aluminio (Al^{3+}). Esta situación reduce la cantidad de magnesio disponible para las plantas, ya que este nutriente puede ser fácilmente lixiviado o lavado fuera de la zona radicular, especialmente cuando los suelos tienen una textura arenosa.

Siguiendo los resultados de la prueba de normalidad de la tabla 9, donde las varianzas para la variable disponibilidad de magnesio fueron heterogéneas, se presenta la figura 15 donde los efectos de la dolomita y silicato a diferentes dosis (2.5, 5 y 10 t/ha) están representados por las medianas de la disponibilidad de magnesio según los tratamientos.

Figura 15

Efectos principales de la dolomita y silicato sobre el magnesio disponible (ppm) en suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado



Según la figura 15, los resultados de las medianas de la disponibilidad de magnesio en el suelo, medidos tres meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas como dolomita y silicato, muestran una clara tendencia de incremento en la concentración de magnesio conforme aumenta la dosis de las enmiendas aplicadas, en comparación con el tratamiento testigo (T1).

El tratamiento testigo (T1), que no recibió ninguna enmienda, presenta una mediana de disponibilidad de magnesio de 34.4 ppm, un valor considerablemente bajo que refleja la problemática típica de suelos ácidos de Maynas, departamento de Iquitos donde la disponibilidad de cationes básicos como el magnesio es limitada debido al proceso de lixiviación y a la competencia con iones de hidrógeno y aluminio.

En comparación, los tratamientos que recibieron dolomita y silicato muestran incrementos significativos en la disponibilidad de magnesio. Con la aplicación de dolomita a una dosis de 2.5 t/ha (T2), la mediana se eleva a 96 ppm, mientras que el silicato aplicado a la misma dosis (T3) produce un resultado similar, con una mediana de 95.4 ppm. Esto sugiere que tanto la dolomita como el silicato en dosis bajas logran mejorar la disponibilidad de magnesio en el suelo, lo que puede atribuirse a la capacidad de estos materiales para neutralizar la acidez y liberar magnesio en formas más disponibles para las plantas.

Al aumentar la dosis a 5 t/ha tanto de dolomita (T4) y silicato (T5), las medianas de magnesio aumentan a 150.6 ppm y 152.4 ppm, respectivamente. Este incremento en comparación con los tratamientos a dosis más bajas (T2 y T3), confirma la relación causa efecto, es decir, una mayor cantidad de enmienda aplicada resulta en una mayor liberación de magnesio.

Igualmente, al aumentar la dosis a 10 t/ha de dolomita (T6) y silicato (T7) las medianas de disponibilidad de magnesio aumentan considerablemente a valores de 242.2 ppm y 254.6 ppm, respectivamente.

Los resultados de la figura 15 demuestran que, a medida que se incrementa la dosis de las enmiendas cálcicas, la disponibilidad de magnesio se eleva significativamente.

La tabla 28 presenta los estadísticos descriptivos de magnesio disponible (ppm) en suelos ácidos de Maynas, evaluados tres meses después de la incubación con diferentes tratamientos de enmiendas cálcicas, incluyendo dolomita y silicato en distintas dosis. Se muestran las medianas de magnesio disponible para cada tratamiento, acompañadas de la clasificación de medias basada en rangos promedio y el valor Z, que indica la dispersión de los datos en relación con el testigo.

Los tratamientos incluyen un testigo (T1), sin aplicación de enmiendas, y seis tratamientos con dolomita y silicato aplicados en tres niveles de dosis (2.5 t/ha, 5 t/ha y 10 t/ha).

Tabla 28

Estadísticos descriptivos de magnesio disponible (ppm) en suelos ácidos de Maynas, a los 3 meses después de ser incubado con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato

			Clasificación de medias	
Tratamiento	**N**	**Mediana**	**(Rango promedio)**	**Valor Z**
T1. Suelo ácido	3	34.4	2.0	-2.71
T2. Dolomita (2.5 t/ha)	3	96.0	6.8	-1.26
T3. Silicato (2.5 t/ha)	3	95.4	6.2	-1.46
T4. Dolomita (5 t/ha)	3	150.6	11.8	0.25
T5. Silicato (5 t/ha)	3	152.4	13.2	0.65
T6. Dolomita (10 t/ha)	3	242.2	18.0	2.11
T7. Silicato (10 t/ha)	3	254.6	19.0	2.41
General	21		11.0	

Según la tabla 28 el tratamiento testigo (T1), que corresponde al suelo ácido sin enmienda, muestra la mediana más baja de magnesio disponible, con 34.4 ppm. Este valor bajo es coherente con lo que se espera en suelos ácidos, ya que en este tipo de suelos el magnesio tiende a lixiviarse, haciéndolo menos disponible para las plantas. Además, su clasificación de media con un rango promedio de 2.0 y un valor Z negativo de -2.71, refleja que la disponibilidad de magnesio es significativamente menor en comparación con los tratamientos que recibieron enmiendas.

Los tratamientos con dolomita y silicato aplicados a una dosis de 2.5 t/ha (T2 y T3) presentan medianas significativamente más altas que el testigo, con valores de 96.0 ppm para la dolomita y 95.4 ppm para el silicato. Aunque ambos tratamientos son casi equivalentes en términos de magnesio disponible, el tratamiento con dolomita (T2) tiene un rango promedio ligeramente superior (6.8 frente a 6.2) y un valor Z menos negativo (-1.26 frente a -1.46), lo que indica una ligera ventaja de la dolomita en esta dosis. Estos resultados sugieren que la adición de dolomita y silicato, incluso a dosis relativamente bajas, incrementa de manera considerable la disponibilidad de magnesio en suelos ácidos, mejorando su capacidad para suministrar este nutriente esencial a las plantas.

A dosis de 5 t/ha de dolomita (T4) y silicato (T5) muestran un incremento considerable en la disponibilidad de magnesio, con medianas de 150.6 ppm y 152.4 ppm, respectivamente. Ambos tratamientos son muy similares en términos de magnesio disponible, con valores Z positivos (0.25 para T4 y 0.65 para T5), lo que indica que estos tratamientos tienen un efecto positivo sobre la disponibilidad de magnesio en comparación con el testigo. El rango promedio del silicato (13.2) es ligeramente superior al de la dolomita (11.8), sugiriendo que el silicato puede liberar magnesio de manera más efectiva a esta dosis.

Los tratamientos con las dosis más altas, 10 t/ha de dolomita (T6) y silicato (T7), presentan los valores más altos de magnesio disponible, con medianas de 242.2 ppm y 254.6 ppm, respectivamente. El valor Z para el tratamiento con dolomita (2.11) y el valor aún mayor para el silicato (2.41) reflejan la eficacia de estas enmiendas en liberar grandes cantidades de magnesio cuando se aplican en dosis elevadas. El rango promedio del silicato (19.0) es también ligeramente superior al de la dolomita (18.0), lo que sugiere que el silicato puede tener un efecto marginalmente más pronunciado sobre la liberación de magnesio en esta dosis.

Para evaluar los efectos de las enmiendas cálcicas (dolomita y silicato) en la disponibilidad de magnesio en suelos ácidos, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, un análisis no paramétrico que compara las medianas entre varios grupos.

Dicha prueba se utiliza cuando no se cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, como es el caso en los resultados de la tabla 9. Para la prueba de comparación de medianas se plantean las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis nula (H_0):** No existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a la disponibilidad de magnesio en suelos ácidos después de la aplicación de las enmiendas.
- **Hipótesis alterna (H_1):** Al menos un tratamiento provoca un efecto significativo sobre la disponibilidad de magnesio en suelos ácidos en comparación con el resto.

Se fijó un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$) para la prueba, lo que significa que, si el valor p es menor que 0.05, se rechazará la hipótesis nula y se concluirá que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto significativo sobre la disponibilidad de magnesio. Los resultados del análisis se muestran en la tabla 29.

Tabla 29

Prueba de Kruskal- Wallis del magnesio disponible en suelos ácidos, a los 3 meses después de ser incubado, con enmiendas cálcicas de dolomita y silicato

Método	GL	Valor H Kruskal – Wallis	Valor p
No ajustado para empates	6	18.71	0.005
Ajustado para empates	6	18.75	0.005

El valor H de Kruskal-Wallis para empates de la tabla 29 es 18.75. Este valor mide la diferencia en las medianas de los grupos comparados. Un valor H más alto indica una mayor diferencia entre las medianas de los tratamientos. El valor p ajustado para empates es 0.005, lo cual es significativamente menor que el nivel de significancia de 0.05. Esto indica que se debe rechazar la hipótesis nula y concluir que existen diferencias significativas en la disponibilidad de magnesio entre al menos uno de los tratamientos.

Para identificar qué tratamiento tiene mayor efecto sobre la disponibilidad de magnesio se realizó la prueba no paramétrica U Mann-Whitney (tabla 30), que permitió comparar las medianas de la disponibilidad de magnesio en suelos ácidos tras la aplicación de distintas enmiendas cálcicas (dolomita y silicato) a diferentes dosis. Dado que los datos no cumplen con los supuestos de homogeneidad de varianzas (tabla 9), la prueba U de Mann-Whitney es apropiada para este análisis.

Tabla 30

Prueba de comparación de promedios por pares mediante el método de U Mann-Whitney de la disponibilidad de magnesio (ppm) de suelos ácidos de Maynas a los 3 meses después de la aplicación de enmiendas cálcicas de dolomita y silicato

Comparación de promedios	*Estadístico de prueba (U Mann - Whitney)*	*Estándar Error*	*Desv. Estadístico de prueba*	*Sig.*	*Sig. Ajust.*
T1. Suelo ácido - T3. Silicato (2.5 t/ha)	-4.167	5.061	-0.823	0.410	1.000
T1. Suelo ácido - T2. Dolimita (2.5 t/ha)	-4.833	5.061	-0.955	0.340	1.000
T1. Suelo ácido - T4. Dolimita (5 t/ha)	-9.833	5.061	-1.943	0.052	1.000
T1. Suelo ácido - T5. Silicato (5 t/ha)	-11.167	5.061	-2.206	0.027	0.575
T1. Suelo ácido - T6. Dolomita (10 t/ha)	-16.000	5.061	-3.161	0.002	0.033
T1. Suelo ácido - T7. Silicato (10 t/ha)	-17.000	5.061	-3.359	0.001	0.016
T3. Silicato (2.5 t/ha) - T2. Dolomita (2.5 t/ha)	0.667	5.061	0.132	0.895	1.000
T3. Silicato (2.5 t/ha) - T4. Dolomita (5 t/ha)	-5.667	5.061	-1.120	0.263	1.000
T3. Silicato (2.5 t/ha) - T5. Silicato (5 t/ha)	-7.000	5.061	-1.383	0.167	1.000
T3. Silicato (2.5 t/ha) - T6. Dolomita (10 t/ha)	-11.833	5.061	-2.338	0.190	0.407
T3. Silicato (2.5 t/ha) - T7. Silicato (10 t/ha)	-12.833	5.061	-2.536	0.110	0.236
T2. Dolomita (2.5 t/ha) - T4. Dolomita (5 t/ha)	-5.000	5.061	-0.988	0.323	1.000
T2. Dolomita (2.5 t/ha) - T5. Silicato (5 t/ha)	-6.333	5.061	-1.251	0.211	1.000
T2. Dolomita (2.5 t/ha) - T6. Dolomita (10 t/ha)	-11.167	5.061	-2.206	0.027	0.575
T2. Dolomita (2.5 t/ha) - T7. Silicato (10 t/ha)	-12.167	5.061	-2.404	0.016	0.341
T4. Dolomita (5 t/ha) - T5. Silicato (5 t/ha)	-1.333	5.061	-0.263	0.792	1.000
T4. Dolomita (5 t/ha) - T6. Dolomita (10 t/ha)	-6.167	5.061	-1.218	0.223	1.000
T4. Dolomita (5 t/ha) - T7. Silicato (10 t/ha)	-7.167	5.061	-1.416	0.157	1.000
T5. Silicato (5 t/ha) - T6. Dolomita (10 t/ha)	-4.833	5.061	-0.955	0.340	1.000
T5. Silicato (5 t/ha) - T7. Silicato (10 t/ha)	-5.833	5.061	-1.153	0.249	1.000
T6. Dolomita (10 t/ha) - T7. Silicato (10 t/ha)	-1.000	5.061	-0.198	0.843	1.000

La columna de la prueba (U Mann-Whitney) de la tabla 30, muestra que las comparaciones entre el suelo ácido (T1) y las enmiendas con mayores dosis, como dolomita 10 t/ha (T6) y silicato 10 t/ha (T7), presentan valores negativos altos, lo que indica que ambos tratamientos incrementan significativamente la mediana de magnesio en comparación con el suelo ácido (tratamiento testigo, T1). Estos resultados muestran la efectividad de las dosis más altas de dolomita y silicato en aumentar la disponibilidad de magnesio.

La columna del error estándar es constante en todos los casos (5.061), dicho valor mide la variabilidad de las diferencias entre los rangos promedio. Un error estándar más bajo significa mayor precisión en la estimación. En el presente caso el valor de 5.06 refleja que las diferencias observadas entre las medianas son relativamente consistentes, es decir, que las comparaciones entre T1 y T6, así como entre T1 y T7, presentan diferencias significativas en la disponibilidad de magnesio entre estos tratamientos y el suelo ácido.

Nuevamente, al observar la desviación estándar de la tabla 30, se observa que la dispersión o variabilidad del estadístico de U Mann-Whitney varía entre -0.198 y -3.359, destacándose las comparaciones entre T1 (suelo ácido) con T6 (dolomita 10 t/ha) y T7 (silicato 10 t/ha) como las que presentan mayores desviaciones estándar, sugiriendo que estas comparaciones tienen diferencias más claras en las medianas de magnesio disponible.

El valor de la significancia (Sig.) inicial indica diferencias significativas entre el tratamiento T1 (suelo ácido) y los tratamientos T5 (silicato 5 t/ha), T6 (dolomita 10 t/ha) y T7 (silicato 10 t/ha). Asimismo, se observan diferencias significativas (Sig.<0.05) entre T2 (dolomita 2.5 t/ha) y T6 (dolomita 10 t/ha), así como entre T2 y T7. Estos resultados sugieren que la aplicación de enmiendas, en particular en dosis más elevadas, tiene un efecto positivo en la disponibilidad de magnesio en suelos ácidos. Sin embargo, al realizar múltiples comparaciones utilizando las medianas de los tratamientos, se incrementa el riesgo de cometer errores tipo I, es decir, detectar diferencias significativas cuando no las hay realmente. Por ello, con la finalidad de evitar este error (tipo I), se utiliza una corrección de los niveles de significancia, ajustando los valores p mediante el método de Bonferroni.

Los resultados después de aplicar la corrección de significancia (Sig. Ajust.), solo dos comparaciones son estadísticamente significativas. T1 (suelo ácido) vs T6 (dolomita 10 t/ha) con un valor p ajustado de 0.033 y T1 (suelo ácido) vs T7 (silicato 10 t/ha) con un valor p ajustado de 0.016.

Dichos resultados indican que, cuando se aplican dosis de 10 t/ha tanto de dolomita como de silicato, se produce un aumento significativo en la disponibilidad de magnesio en comparación con el suelo ácido sin tratamiento. Este efecto se debe posiblemente a la capacidad de las enmiendas de neutralizar la acidez del suelo y aportar magnesio y calcio, mejorando así la disponibilidad de estos nutrientes para las plantas.

En cuanto a las comparaciones iniciales entre T1 (suelo ácido) y T5 (silicato 5 t/ha), y entre T2 (dolomita 2.5 t/ha) con T6 (dolomita 10 t/ha) y T7 (silicato 10 t/ha), que inicialmente presentaron niveles de significancia menores a 0.05, ya no fueron estadísticamente significativas tras la corrección de Bonferroni (Sig. Ajust. > 0.05). Esto quiere decir que, aunque las dosis intermedias de dolomita y silicato (5 t/ha) o las dosis más bajas (2.5 t/ha) mostraron una tendencia hacia la mejora en la disponibilidad de magnesio, dichas diferencias no fueron lo suficientemente amplias como para ser consideradas estadísticamente significativas cuando se corrige el riesgo de falsos positivos.

4.2. Discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación, con respecto a las propiedades químicas del suelo son:

La incorporación de enmiendas cálcicas, como dolomita y silicato, exhibe efectos notables en el aumento del pH del suelo, observable a los 90 días de incubación, con un notable incremento de 1.87 de pH en los suelos tratados con ambas enmiendas; cabe destacar que las dosis más elevadas generan un impacto correctivo más significativo. De acuerdo con Calva (2017), este aumento se atribuye probablemente a la utilización de dosis elevadas de enmiendas, las cuales han conseguido superar la capacidad de amortiguación del suelo, es decir, su resistencia a cambios abruptos en el pH. En consecuencia, se evidencia que la implementación del T7 (silicato) y T6 (dolomita) con 10 t/ha asciende a un pH de 6.47, en contraste con el T1 (suelo ácido), que presentó un pH de 4.60. Asimismo, Castro (2024) señala que la aplicación de dolomita y silicato funciona de la siguiente manera: los iones calcio y magnesio presentes en las enmiendas sustituyen al aluminio en los sitios de intercambio catiónico, resultando en la precipitación del aluminio liberado como hidróxido de aluminio ($AlOH_3$).

La acidez intercambiable del suelo, a diferencia del pH, disminuye conforme se incrementa la aplicación de enmiendas cálcicas, alcanzando una disminución de hasta 0.11 mEq-g/100 g de acidez intercambiable en los tratamientos T6 y T7. Esta considerable disminución pone de manifiesto la notable capacidad de estas enmiendas para reemplazar prácticamente en su totalidad el hidrógeno y el aluminio presentes en el suelo; dicho comportamiento es análogo al observado en las enmiendas cálcicas que han sido objeto de investigación y documentación en suelos ácidos. Estos hallazgos son consistentes con los estudios de Calva y Espinosa (2017), que evidencian que un incremento en la dosificación de

enmiendas cálcicas conlleva a un aumento del pH y a una disminución de la acidez intercambiable. Asimismo, se observa una convergencia con los hallazgos de Cabezas (2016) y Ricse (2018), quienes señalan, que la aplicación de dolomita conduce a una disminución de la acidez intercambiable; de igual manera, Fernando (2019) y Deygar (2017) llegan a la misma conclusión.

Asimismo, la implementación de estas dos enmiendas cálcicas produjo un efecto notable en el aumento de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E.) del suelo, evidenciándose diferencias significativas en comparación con el testigo (suelo ácido). Los tratamientos que incorporaron dosis de 10 t/ha de dolomita y silicato (T6 y T7) mostraron los valores más elevados de C.I.C.E., con promedios de 7.54 y 7.76 mEq-g/100 g, respectivamente, en contraste con el T1 (testigo), que presenta un valor de 2.90 mEq-g/100 g. Estos hallazgos concuerdan con lo presentado por Chico (2019), quien señala un aumento en la capacidad de intercambio catiónico efectivo en los cinco suelos analizados. De acuerdo con Saucedo (2024), el aumento de la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (C.I.C.E.) en suelos ácidos, resultante de la incorporación de enmiendas cálcicas como la dolomita y el silicato, ambas con propiedades alcalinas, conduce a un incremento en las cargas negativas variables del suelo. Este fenómeno puede ser atribuido, en gran medida, a fuentes como la materia orgánica y las arcillas presentes en el sustrato. Este aumento en las cargas variables ha sido denominado por numerosos autores como cargas dependientes del pH.

En cuanto al efecto que presenta la adición de estas dos fuentes cálcicas en la disponibilidad de nutrientes son:

La disponibilidad de fósforo a los tres meses de incubación evidenció una notable tendencia al alza, a medida que se incrementaron las dosis de dolomita y silicato. En este contexto, los tratamientos T6 y T7 lograron concentraciones de fósforo de 6.40 ppm y 6.33 ppm, respectivamente, en contraste con el tratamiento T1, que presentó solo 3.30 ppm. Estos valores superan más del doble la cantidad de fósforo disponible en relación con el suelo ácido no tratado. La disponibilidad de calcio revela que, conforme se incrementa la dosis de dolomita y silicato, siendo las dosis más elevadas (10 t/ha) las más eficaces, con registros de 1027.27 y 1056.10 ppm en T6 y T7, a diferencia con el testigo que solo presentó 146.13 ppm. Este incremento en la disponibilidad de calcio se atribuye a la habilidad de las enmiendas cálcicas para neutralizar la acidez del suelo. De acuerdo con Espinoza y Molina (1999), es plausible que esta situación se deba a los componentes presentes en las enmiendas cálcicas, que están constituidas principalmente por Ca y Mg; al llevar a cabo el intercambio iónico con el aluminio, permitiendo a los cationes ocupar posiciones en los coloides del suelo.

De igual manera, se observaron incrementos notables en la disponibilidad de magnesio; con registros de 254.6 ppm y 242.2 ppm en los tratamientos T6 y T7, respectivamente, frente a los 34.4 ppm del testigo T1. Los hallazgos de Ricse (2018) y Fernando (2019) muestran una notable congruencia, señalando que las extracciones de Ca, Mg y P se incrementaron con el aumento de la dosis de silicato. Mariliz (2019) señala que la utilización de dolomita resultó en un aumento notable de cationes, incluyendo Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Fósforo (P) y Potasio (K).

En relación con la disponibilidad de potasio, la adición de dolomita y silicato no produjo diferencias significativas, arrojando valores de 39.40 ppm y 40.53 ppm para los tratamientos T6 y T7, respectivamente, en comparación con el testigo T1, que presentó 39.66 ppm. Esto sugiere que las variaciones observadas entre los tratamientos no son suficientemente marcadas para alcanzar significancia estadística. De acuerdo con Castro (2024), no existe una justificación concluyente acerca de por qué el potasio disponible no experimenta un aumento. Así, se presenta un desacuerdo con las afirmaciones de Fernando (2019) y Ricse (2018), quienes sostienen que la utilización de dolomita aumenta la disponibilidad de potasio.

V. Conclusiones

- Los análisis realizados evidencian que la aplicación de enmiendas cálcicas, como la dolomita y el silicato, mejora significativamente las propiedades químicas de los suelos ácidos, aumentando el pH de 4.60 con T1 (testigo) a 6.47 con el T6 y T7 y reduciendo la acidez intercambiable de 1.60 mEq-g/100 g con el T1 a 0.11 mEq-g/100 g con el T6 y T7, lo que a su vez incrementa la capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.E.), siendo el más sobresaliente el T7 con 7.76 mEq-g/100 g y el T6 con 7.54 mEq-g/100 g, dando un aumento significativo frente al T1 (testigo), que tuvo 2.91 mEq-g/100 g. Estos resultados subrayan la importancia de utilizar estas enmiendas en el manejo de suelos ácidos para optimizar su fertilidad.
- Al determinar la disponibilidad de nutrientes en suelos ácidos, la aplicación de enmiendas cálcicas en suelos ácidos mejora significativamente la disponibilidad de fósforo, evidenciada por los incrementos en los niveles de fósforo disponible en los tratamientos con mayores dosis de enmienda, donde el T6 y T7 (10 t/ha) tuvo un incremento de 6.40 ppm y 6.33 ppm. Los cationes como Ca y Mg disponibles tienen un incremento muy favorable; el calcio disponible tuvo un incremento de 146.13 ppm en T1 (testigo) a 1056.10 ppm en T7 (silicato) con 10 t/ha, y el magnesio disponible inició con el T1 (testigo) con 34.40 ppm llegando hasta 254.60 ppm con el T7 (silicato) de 10 t/ha. Estos resultados resaltan la importancia de seleccionar adecuadamente los tratamientos para optimizar la fertilidad del suelo. Respecto al potasio disponible, los resultados indican que las enmiendas cálcicas, tanto dolomita como silicato, no lograron incrementar de manera significativa la disponibilidad de potasio en suelos ácidos, manteniéndose dentro de un rango similar en todos los tratamientos. Por lo tanto, no se puede concluir que alguno de los tratamientos aplicados tenga un efecto notable en la disponibilidad de potasio.

VI. Recomendaciones

- A los agricultores de Maynas se les recomienda encalar; pueden utilizar silicato o dolomita, debido a que ambas enmiendas cálcicas tienen resultados significativos en las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes en suelos ácidos.
- Se sugiere a las empresas de agroexportación, la municipalidad de Maynas y las instituciones educativas universitarias lleven a cabo nuevas investigaciones fundamentadas en los hallazgos de este estudio. Esto permitirá profundizar en el conocimiento y mejorar las prácticas en el sector agrícola.
- Se sugiere a los agricultores de la provincia de Maynas que integren esta investigación en un campo definitivo para validar los hallazgos del laboratorio de química agrícola, lo que permitirá demostrar su aplicabilidad en la práctica agrícola local.

VII. Referencias Bibliográficas

Alvarado Ochoa, S. P. (1999). *Determinación de un método para evaluar los requerimientos de cal en suelos de origen volcánico del Ecuador.* [Tesis de Ingeniera Química, Escuela Politécnica de Chimborazo], Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba, Ecuador. https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1418/4/iniapsctA472de.pdf

Álvares, C., & Osorio, W. (2014). *Silicio Agronómicamente Esencial.* [Universidad Nacional de Colombia, Medellín]. https://es.scribd.com/document/355190743/SILICIO-AGRONOMICAMENTE-ESENCIAL-WALTER-OSORIO-Y-pdf

Aragon, G. d. (14 de marzo de 2023). *Laboratorio Agroambiental. Obtenido de Exposición de Equipos Antiguos: pHmetro:* https://www.aragon.es/-/laboratorio-agroambiental-equipos-antiguos-phmetro

Arista Prado, P. R. (2017). *Niveles de dolomita y de microorganismos eficientes en pastos cultivados asociados, en suelos ácidos de Ayacucho.* [Tesis. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho]. http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3109

Arnold O. B. (22 de mayo de 2019) *el gran filántropo e inventor del mundo de la química analítica.* https://unabiologaenlacocina.wordpress.com/2019/05/22/arnold-o-beckman-el- gran- filantropo-e-inventor-del-mundo-de-la-quimica-analitica/

Batista, M., Moscheta, I., Bonato, C., & Garcia, O. (2012). *Aluminum in corn plants: Influence on growth and morpho-anatomy of root and leaf. brasil.* https://www.redalyc.org/pdf/1802/180225736004.pdf

Bernier, R., & Alfaro, M. (2006). *Acidez de los suelos y efectos del encalado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Inia. Osorno, Chile: Boletín INIA N° 151.*

https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7075/NR33824.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cabezas, T. R. (2016). *Efecto de Fuentes de Encalado en las Propiedades Químicas de Suelos Ecuatorianos de Diferente Material Parental*. [Tesis de Título, Universidad Central del Ecuador], http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8326

Calva, C., & Espinosa, J. (6 de septiembre de 2017). *Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana*. Scimago Journal and Country Rank. https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/505/493

Campillo R., R., & Sadzawka R., A. (1993). *La acidificación de los suelos, origen y mecanismos.* Instituto de Investigación Agropecuarias, Temuco, Chile. https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/8532/NR33853.pdf?sequence=10&isAllowed=y

Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela.* https://books.google.com.pe/books?id=k4FXuHW1ozQC&printsec=frontcover&hl=es&s ource=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Casierra, P., & Niño, M. (2007). *Solubilidad y reacción del aluminio en el suelo. Ciencias y Agricultura.* https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_agricultura/article/view/308/312

Castro Lazo, J. C. (10 de enero de 2024). *Suelos ácidos de Iquitos.* (H. Hurtado Sante, Entrevistador) San Vicente, Cañete, Perú.

Chico Campués , J. E. (2019). *Evaluación del cambio en la capacidad de intercambio iónico de suelos ácidos por efecto del encalado.* [Tesis, Universidad Central del Ecuador, Quito], http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17875/1/T-UCE-0004-CAG-073.pdf

Deygar, C. M. (2017). *Efecto de la aplicación de enmiendas de origen mineral en el pH del suelo en plantaciones de cacao (Theobroma cacao), distrito de Pólvora – Tocache – San Martín.* [Universidad Nacional de San Martin, Facultad de Ciencias Agrarias, Tarapoto]. https://core.ac.uk/download/pdf/336841631.pdf

Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. (P. edición, Ed.) Quito, Ecuador: Internacional Plant Nutrición Institute. http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/35E6134F8379087785258012007 1C1C7/$FILE/Art%203.pdf

FAO. (2016). Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: *Acidificación del suelo.* http://www.fao.org/3/i6467s/i6467s.pdf

FAO. (s.f.). *Propiedades químicas.* https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de- suelos/sistemas- numericos/propiedades-quimicas/es/

Fassbender, H. (1980). *Química de suelos, con énfasis en suelos de América*. San José - Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA).

Fernando, B. C. (2019). *Fuentes encalantes y fosfatados en la recuperación de un suelo ácido de Tingo María, en Maíz (Zea mays L.) en Invernadero.* [Tesis Pre Grado, Universidad Nacional Agraria la Molina], Facultad de Agronomía, Lima. https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3870

Fuentes Flores, R. (1971). *Comportamiento de la Capacidad de Intercambio Catiónico en Algunos suelos ácidos de origen volcánico.* Instituto Interamerica de Ciencias Agrícolas de la OEA, https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/855/Comportamiento_de_la_capacidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Google, (s.f). *Localidad de Tamshiyacu, Maynas. Iquitos.* [Mapa]. Recuperado el 2023, dehttps://www.google.com/maps/place/4%C2%B000'04.1%22S+73%C2%B009'13.7%22W/@-3.9998644,-73.1549494,363m/data=!3m1!1e3!4m4!3m3!8m2!3d-4.0011389!4d-73.1538056?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTAyNy4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3

Google Earth, (s.f). *Distrito de San Vicente, Cañete - Perú.* [Mapa]. Recuperado el 2023, de https://earth.google.com/web/search/san+vicnte+ca%c3%b1ete/@-13.08192644,-76.3880801,29.14480264a,315.69535938d,35y,0h,0t,0r/data=Cm0aPxI5CiUweDkxMGZmOTM1YzRhMDM1YmI6MHgxYjMyZjA0OTE2YzMxZDFjKhBJRVMgVmFsbGUgR3J hbmRlGAEgASImCiQJ_Nxif06rKsARXzngbuWwKsAZrej5K5frUsAh4Peb7B7tUsBCAggBOgMKATBCAggASg0I ARAA

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación.* (M. R. Martínez, Ed.) Recuperado el 2023, https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf

Intagri. (2019). *Manejo de fósforo en suelos ácidos.* https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-del-fosforo-en-suelos-acidos

Jaramillo J., D. F. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo.* (F. d. Ciencias, Ed.) Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. https://www.academia.edu/15527499/INTRODUCCI%C3%93N_A_LA_CIENCIA_DEL_

Kamprath, E. (1970). *Aluminio intercambiable como criterio para el encalado de suelos minerales lixiviados. Fertilidad del suelo y nutrición vegetal.* Carolina del Norte: Revista de la Sociedad de Ciencias del Suelo de América. doi: https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400020022x

Kauffman, S., Pareces Arce, G., & Marquina, R. (1998). *Geología y desarrollo amazónico.* (R. Kalliola, & S. Flores Paitan , Edits.). Suelos de la zona de Iquitos: http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/CDinvestigacion/unap/unap7/UNAP7_PORT ADA.HTM

Khalajabadi, S. S. (2016). *La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café.* Programa de Investigación Científica, 12.

L. Abrego, F. (2012). *Calidad ambiental del suelo - Determinación de la capacidad de intercambio catiónico.* [Diapositiva PowerP o i nt]. *UNNOBA*, https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos/002012_Ronda%202012/000300_Lic.%20Fabio%20L.%20Abrego%20-%20UNNOBA/000300_Determinaci%C3%B3n%20de%20CIC.pdf

Lukin, v., & Epplin, F. (2003). *Optimal frequency and quantity of agricultural lime applications.* Agricultural systems.

Magra, G., & Ausilio, A. (2004). *Corrección de la acidez de los suelos.* Universidad nacional el Rosario, Facultad de Ciencias Agrarias, Argentina. https://rephip.unr.edu.ar/server/api/core/bitstreams/e77d89a6-7755-4433-a8dd-260a614ec1d1/content

Mariliz, M. (2019). *Optimización del encalado sobre el control de acidez del suelo arrocero en Bellavista - Provincia de Jaén.* [Tesis de Bachiller, Universidad Nacional de Jaén]. http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/144/1/Mezones_PMS.pdf

Mendoza E., R., & Marbán, L. (1990). *Evaluación del Fósforo Residual en Suelos Fertilizados: Comparaciones entre BRAY I y BRAY II, Olsen y Punto Nulo.* Vol. 8 Nº 2. https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_8n2/Mendoza.pdf

Mexicanos, S. d. (2022). *Perfil de mercado de la dolomita.* Unidad de Coordinación de Actividades Extractivas, México. Recuperado el 2023. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/692306/6._Perfil_Dolomita_2021T_.pdf

Olego, M., Visconti, F., Quiroga, M., Paz, J., & Garzón- jimeno, E. (2016). *Assessing the effects of soil liming with dolomitic limestone and sugar foam on soil acidity , leaf Nutrient.* DOI: https://doi.org/10.5424/sjar/2016142-8406

Osorno, H. H. (2012). *Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia.* Medellín Colombia.https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9810/70660741.2012.pdf? sequence=1

Ricse, G. E. (2018). *Efecto de enmiendas en un suelo ácido con cultivo de Phaseolus vulgaris L., variedad norteño - Satipo.* [Tesis para Ingeniero en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Centro del Perú], Facultad de Ciencias Agrarias, Satipo.

Saucedo Chacón, A. (10 de agosto de 2024). *Suelos ácidos de Iquitos.* (H. Hurtado Sante, Entrevistador) San Vicente, Cañete, Perú.

Sadzawka R., A., M.A. Carrasco R., R. Grez Z., M.L. Mora G., H. Flores P. y A. Nearnan.2006. *Métodos de análisis de recomendados para los suelos de Chile*. Revisión 2006. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA Nº 34, Santiago, Chile, 164p. https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/536936e8-5961-4c3c-bc0e-0cd3903a041e/content

Tapia, R. B. (30 de marzo de 2017). *Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego.* Recuperado el 10 de junio de 2024, de Ministerio de Agricultura y Riego: https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/504/1/BazanManual_de_procedimi entos_de_los.pdf

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4880/Ricse%20%20%20 Gala.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Usón, A., Boixadera, J., Bosch, A., & Enrique, A. (2010). *Tecnología de suelos.* Prensas Universitarias de Zaragoza, Estudio de casos, Zaragoza, España. https://puz.unizar.es/1137-tecnologia-de-suelos-estudio-de-casos.html

Zapata, R. (2004). *La química de la acidez del suelo.* Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3280/9583367125.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

<table>
<tr><th colspan="6">“Uso de enmiendas cálcicas para mejorar las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos en laboratorio de Cañete”</th></tr>
<tr><th>PROBLEMA</th><th>OBJETIVOS</th><th>HIPÓTESIS</th><th colspan="3">VARIABLES E INDICADORES</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Problema general:
¿Cuál es el efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete?
Problemas específicos:
¿Cuál es el efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora las propiedades químicas de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete?
¿Cuál es el efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete?</td><td rowspan="4">Objetivo general:
Evaluar el efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete.
Objetivos específicos:
Evaluar el efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora las propiedades químicas de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete.
Evaluar el efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete.</td><td rowspan="4">Hipótesis general:
Existe al menos un efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora las propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete.
Hipótesis específicas:
Existe al menos un efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora las propiedades químicas de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete.
Existe al menos un efecto de enmiendas cálcicas entre dolomita y silicato, que mejora la disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos de Maynas, Iquitos – bajo la metodología de incubación en laboratorio de Cañete.</td><td colspan="3">Variable 1: Independiente</td></tr>
<tr><td>Dimensiones</td><td>Indicadores</td><td colspan="2">Niveles o índice</td></tr>
<tr><td>Dosis de enmiendas cálcicas dolomita y silicato</td><td>Cantidad de enmiendas entre dolomita y silicato en t/ha
0 t/ha
2.5 t/ha
5 t/ha
10 t/ha</td><td>Dolomita
T1. Testigo
T2. 2.5 t/ha dolomita
T3. 5 t/ha dolomita
T4. 10 t/ha dolomita</td><td>Silicato
T1. Testigo
T5. 2.5 t/ha silicato
T6. 5 t/ha silicato
T7. 10 t/ha silicato</td></tr>
<tr><td colspan="3">Variable 2: Dependiente</td></tr>
<tr><td>Dimensiones</td><td>Indicadores</td><td colspan="2">Niveles o índice</td></tr>
<tr><td>Propiedades químicas de suelos ácidos.
Disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos.</td><td>pH del suelo
Corrección de acidez intercambiable.
Capacidad de intercambio catiónico Niveles de nutrientes disponibles</td><td colspan="2">Incremento de los OH^-
Descenso de iones hidrógeno y aluminio intercambiable en mEq/100 g de suelo.
mEq/100 g de suelo.
Fósforo disponible (ppm), Potasio disponible (mEq/100 g), Calcio disponible (mEq/100 g), Magnesio disponible (mEq/100 g).</td></tr>
</table>

Fuente: propia (2023)

Anexo 2. Ubicación del proyecto experimental

Figura 16



El proyecto se tiene planeado ejecutarlo en el distrito de San Vicente – Cañete, en el Laboratorio Química Agrícola Valle Grande (LQA), debido a que cuenta con la facilidad de ejecución como laboratorio de suelos.

Fuente: Google maps (2023)

Anexo 3. Método de muestreo

Figura 17

Laboratorio de Química Agrícola
PATROCINADO POR EL INSTITUTO RURAL VALLE GRANDE



MUESTREO DE SUELOS

DELIMENTACIÓN DE AREAS HOMOGENEAS:

- Generar un croquis del predio.
- Dividir en lotes que tengan características muy similares de: Pendiente, drenaje, textura, color, sales, manejo agronómico, etc.
- En cada lote uniforme realizar **EL MÉTODO DE MUESTREO SISTEMÁTICO ALEATORIO**, para ello se tiene que dividir el lote homogéneo, en 30 cuadrículas. Como ejemplo puede observar en la siguiente imagen.

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30



- Cada Sub muestra debe tener aproximadamente el mismo volumen de suelo.
- Cada sub muestra vaciarla en un balde de plástico.
- Una vez culminado los 30 sub muestras, vaciarlas en un plástico limpio, para homogenizar y realizar el cuarteo, para extraer la muestra compuesta que será enviada al laboratorio.
- Enviar la muestra debidamente identificada al laboratorio.

Anexo 4. Informe Turnitin

Figura 18



Anexo 5. Fichas de recolección de datos

ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: …….

PRODUCTOR: ……..

FUNDO O ZONA: ……...

LOTE: …….

CULTIVO: ……..

VARIEDAD: ……

ÁREA: …….

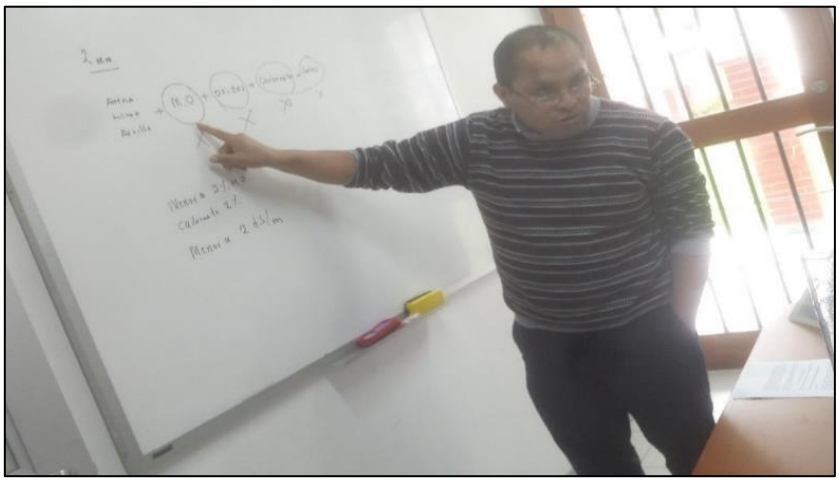
TIPO DE ANÁLISIS: ……..

RESPONSABLE: ……

OBSERVACIONES: ……

Anexo 6. Entrevista al director de laboratorio de Valle Grande

Figura 19



Anexo 7. Resultado de laboratorio, parámetros de caracterización del suelo ácido

Figura 20

VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

SOLICITANTE : HIDER HURTADO SANTE
PREDIO : MAYNAS
MATRIZ : SUELO AGRICOLA

ANÁLISIS N° : HIDER-01S -2024
LUGAR : IQUITOS
FECHA DE RECEP. : 11/01/2024

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACION CON MICRONUTRIENTES DISPONIBLES
MUESTRA : SUELO - 01S - 2024

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	48.17	%		
Limo	25.66	%		
Arcilla	26.17	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARCILLO ARENOSA			
Porcentaje de Saturación de Agua	50.00	%	MES - 002	Gravimétrico
Carbonato de Calcio Total	< 0.01	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	0.51	dS / m	MES - 004	Electrométrico
pH (1/1) a Temp = 22.7 °C	4.28		MES - 005	Electrométrico
Fósforo Disponible	3.20	ppm	MES - 006	Bray I
Densidad Aparente	1.18	g / cm3	MES - 030	Gravimétrico
Materia Orgánica	2.18	%	MES - 007	Walkley y Black
Nitrógeno Total	0.13	%	MES - 008	Kjeldahl
Potasio	35.19	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				**Extractante:Ac. Amonio**
Calcio	0.67	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	0.29	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.19	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.09	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
Aluminio + Hidrógeno	1.72	mEq / 100 g	MES - 014	KCl / Volumétrico
P.A.I	57.91	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	2.97	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático
C.I.C.T	6.30	mEq / 100 g		Volumetrico
Micronutrientes Disponibles				**Extractante: DTPA**
Cobre	0.77	ppm.	MES - 018	FAAS
Zinc	1.19	ppm.	MES - 019	FAAS
Manganeso	3.25	ppm.	MES - 020	FAAS
Hierro	123.19	ppm.	MES - 021	FAAS
				Extractante: $CaCl_2.2H_2O$
Boro	1.70	ppm.	MES - 022	Colorimétrico

DONDE:

E.S : Extracto de Saturación.
(1/1) : Relación Masa del Suelo / Volumen del Agua.
P.A.I : Porcentaje de Acidez Intercambiable.
C.I.C.E. : Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo.

% : Masa / Masa.
ppm : mg / Kg.
MES : Método Propio del Laboratorio.
FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama.

NOTA:
1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
2: Se prohibe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quim. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO

LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA Cañete Valle Grande

MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular
Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú
Teléfono: (511) 581 2261 I Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe I Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 8. Resultados de laboratorio de análisis de la enmienda dolomita

Figura 21

VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola
50 AÑOS 1965 - 2015

SOLICITANTE : HIDER HURTADO SANTE
PREDIO : HIDER HURTADO SANTE
MATRIZ : ENMIENDA INORGÁNICA SÓLIDA

ANÁLISIS Nº : 437-01EIS -2024
LUGAR : CAÑETE
FECHA DE RECEP. : 05/01/2024

INFORME DE ANÁLISIS DE ENMIENDA INORGÁNICA SÓLIDA - NUTRICIONAL
MUESTRA : DOLOMITA

PARAMETRO		RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
pH a T = 21.4 °C (1/100)		9.77		MEIS - 001	Electrométrico
Conductividad Eléctrica a 25 °C.(1/100)		0.12	dS/m	MEIS - 002	Electrométrico
Carbonato de Calcio		88.78	%	MEIS - 003	Gravimétrico
Humedad		0.12	%	MEIS - 004	Gravimétrico
Fósforo Total	(P2O5)	0.00	%	MEIS - 005	Colorimétrico
Potasio Total	(K2O)	0.00	%	MEIS - 006	FAAS
Calcio Total	(CaO)	28.23	%	MEIS - 007	FAAS
Magnesio Total	(MgO)	19.52	%	MEIS - 008	FAAS
Azufre Total	(S)	0.09	%	MEIS - 009	Turbidimétrico
Sodio Total	(Na)	0.03	%	MEIS - 010	FAAS
CloroTotal	(Cl)	0.03	%	MEIS - 011	Argentométrico
Cobre Total	(Cu)	34.50	ppm	MEIS - 012	FAAS
Zinc Total	(Zn)	24.50	ppm	MEIS - 013	FAAS
Manganeso Total	(Mn)	361.00	ppm	MEIS - 014	FAAS
Hierro Total	(Fe)	1322.00	ppm	MEIS - 015	FAAS
Boro Total	(B)	160.00	ppm	MEIS - 016	Colorimétrico

Los resultados están expresados en muestra original.

DONDE:
% : Masa / Masa
ppm : mg / Kg
(1/ 100) : Relación: Masa /Volumen

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
MEIS : Método Propio del Laboratorio.

NOTA:
1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
2: Se prohibe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quim. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO

MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular
Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú
Teléfono: (511) 581 2261 I Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe I Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 9. Resultados de laboratorio de análisis de la enmienda silicato

Figura 22

VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola
50 AÑOS 1965 - 2015

SOLICITANTE : HIDER HIRTADO SANTE
PREDIO : HIDER HIRTADO SANTE
MATRIZ : ENMIENDA INORGÁNICA SÓLIDA

ANÁLISIS Nº : 437-02EIS -2022
LUGAR : CAÑETE
FECHA DE RECEP. : 19/04/2022

INFORME DE ANÁLISIS DE ENMIENDA INORGÁNICA SÓLIDA - NUTRICIONAL
MUESTRA : SILICATO

PARAMETRO		RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
pH a T = 21.4 °C (1/100)		11.77		MEIS - 001	Electrométrico
Conductividad Eléctrica a 25 ºC.(1/100)		1.74	dS/m	MEIS - 002	Electrométrico
Carbonato de Calcio		4.83	%	MEIS - 003	Gravimétrico
Humedad		2.16	%	MEIS - 004	Gravimétrico
Fósforo Total	(P2O5)	0.00	%	MEIS - 005	Colorimétrico
Potasio Total	(K2O)	0.13	%	MEIS - 006	FAAS
Calcio Total	(CaO)	29.34	%	MEIS - 007	FAAS
Magnesio Total	(MgO)	9.35	%	MEIS - 008	FAAS
Azufre Total	(S)	0.17	%	MEIS - 009	Turbidimétrico
Sodio Total	(Na)	0.35	%	MEIS - 010	FAAS
CloroTotal	(Cl)	0.04	%	MEIS - 011	Argentométrico
Cobre Total	(Cu)	191.50	ppm	MEIS - 012	FAAS
Zinc Total	(Zn)	3245.00	ppm	MEIS - 013	FAAS
Manganeso Total	(Mn)	8735.00	ppm	MEIS - 014	FAAS
Hierro Total	(Fe)	58925.00	ppm	MEIS - 015	FAAS
Boro Total	(B)	560.00	ppm	MEIS - 016	Colorimétrico

Los resultados están expresados en muestra original.

DONDE:

% : Masa / Masa
ppm : mg / Kg
(1/ 100) : Relación: Masa /Volumen

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
MEIS : Método Propio del Laboratorio.

NOTA:
1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
2: Se prohibe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quim. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO

LABORATORIO DE QUIMICA AGRICOLA Cañete Valle Grande

MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular
Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú
Teléfono: (511) 581 2261 I Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe I Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 10. Secado de muestras de suelo para su incubación y análisis pre-tes

Figura 23



Anexo 11. Pesado de fuentes cálcicas para la incubación del suelo

figura 24



Anexo 12. Pesado de muestras de suelo

Figura 25



Anexo 13. Monitoreo de suelos incubados a capacidad de campo

Figura 26



Anexo 14. Análisis final del proyecto de investigación

Figura 27

VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

SOLICITANTE : HIDER HURTADO SANTE.
ENSAYO : TESIS.
MATRIZ : SUELO AGRÍCOLA - MAYNAS - IQUITOS.

ANÁLISIS N° : 403 - 2024
LUGAR : CAÑETE
FECHA DE RECEP. : 05/04/2024

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN ESPECIAL

FUENTE	DOSIS	pH (1/1)	ACIDEZ (mEq-g/100g Suelo)	FÓSFORO DISPONIBLE (ppm)	C.I.C.E. (mEq-g/100g Suelo)	POTASIO DISPONIBLE (ppm)	CALCIO DISPONIBLE (ppm)	MAGNESIO DISPONIBLE (ppm)
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.58	1.61	3.30	2.92	40.00	145.80	34.40
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.61	1.60	3.31	2.91	39.00	146.80	34.90
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.58	1.61	3.30	2.92	40.00	145.80	34.40
DOLOMITA	2.5 t/ha	5.16	0.55	3.40	3.69	40.40	400.80	98.40
DOLOMITA	2.5 t/ha	5.17	0.58	3.60	3.57	40.00	382.40	92.40
DOLOMITA	2.5 t/ha	5.14	0.58	3.20	3.66	40.40	393.00	96.00
SILICATO	2.5 t/ha	5.06	0.55	3.60	3.56	40.20	379.40	92.60
SILICATO	2.5 t/ha	5.06	0.61	3.40	3.77	42.60	401.80	96.00
SILICATO	2.5 t/ha	5.10	0.58	3.60	3.75	40.60	407.40	95.40
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.60	1.60	3.33	2.92	40.20	148.00	36.00
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.59	1.61	3.33	2.92	38.00	146.00	35.50
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.60	1.60	3.33	2.92	40.20	148.00	36.00
DOLOMITA	5.00 t/ha	5.50	0.22	4.00	4.91	38.60	622.40	151.20
DOLOMITA	5.00 t/ha	5.45	0.22	4.00	4.74	36.60	605.20	145.20
DOLOMITA	5.00 t/ha	5.48	0.24	4.20	5.02	42.60	630.00	150.60
SILICATO	5.00 t/ha	5.55	0.22	4.00	5.01	43.60	630.00	153.40
SILICATO	5.00 t/ha	5.50	0.22	4.20	4.85	37.80	610.00	145.20
SILICATO	5.00 t/ha	5.51	0.22	4.00	4.99	41.00	621.40	152.40
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.62	1.61	3.30	2.90	37.00	147.00	35.60
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.60	1.61	3.33	2.90	39.40	147.00	35.30
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.62	1.61	3.30	2.90	37.00	147.00	35.60
DOLOMITA	10.00 t/ha	6.46	0.11	6.40	7.35	38.00	1013.80	237.60
DOLOMITA	10.00 t/ha	6.51	0.11	6.40	7.71	40.40	1046.20	251.00
DOLOMITA	10.00 t/ha	6.44	0.11	6.40	7.56	39.80	1021.80	242.20
SILICATO	10.00 t/ha	6.46	0.11	6.20	7.55	39.60	1004.00	236.60
SILICATO	10.00 t/ha	6.45	0.11	6.40	7.82	42.20	1112.00	254.60
SILICATO	10.00 t/ha	6.50	0.11	6.40	7.93	39.80	1052.20	255.20

DONDE:

(1 / 1) : Relación Masa del Suelo / Volumen del Agua.
C.I.C.E. : Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo.
ppm : mg / Kg.

NOTA:
1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
2: Se prohibe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quim. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO

LABORATORIO DE QUIMICA AGRICOLA - Cañete - Valle Grande

MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular
Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú
Teléfono: (511) 581 2261 I Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe I Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 15. Datos para procesar

Tabla 31

Análisis de suelo ácido pretest

Parámetros	Resultado	Unidad	Método	Técnica
pH (1/1)	4.28	-	MES - 005	Electrométrico
ACIDEZ	1.72	mEq-g/100g	MES - 014	KCL/Volumétrico
P - DISPONIBLE	3.20	Ppm	MES - 006	Bray l
C.I.C.E.	2.97	mEq-g/100g	MES - 017	Cálculo Matemático
K - DISPONIBLE	36.8	Ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Ca - DISPONIBLE	134.27	Ppm	MES - 010	FAAS
Mg - DISPONIBLE	35.26	Ppm	MES - 011	FAAS

A) Análisis de resultados de muestra incubada. Los análisis del suelo se realizaron con los métodos recomendados para suelos ácidos (Iquitos).

Tabla 32

Resultados de suelos incubados de 2.5 t/ha

		Resultado de 2.5 t/ha s						
FUENTE	**DOSIS**	**pH (1/1)**	**ACIDEZ (mEq-g/100 g Suelo)**	**FÓSFORO DISPONIBLE (ppm)**	**C.I.C.E. (mEq-g/100 g Suelo)**	**POTASIO DISPONIBLE (ppm)**	**CALCIO DISPONIBLE (ppm)**	**MAGNESIO DISPONIBLE (ppm)**
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.58	1.61	3.30	2.92	40.00	145.80	34.40
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.61	1.60	3.31	2.91	39.00	146.80	34.90
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.58	1.61	3.30	2.92	40.00	145.80	34.40
DOLOMITA	2.5 t/ha	5.16	0.55	3.40	3.69	40.40	400.80	98.40
DOLOMITA	2.5 t/ha	5.17	0.58	3.60	3.57	40.00	382.40	92.40
DOLOMITA	2.5 t/ha	5.14	0.58	3.20	3.66	40.40	393.00	96.00
SILICATO	2.5 t/ha	5.06	0.55	3.60	3.56	40.20	379.40	92.60
SILICATO	2.5 t/ha	5.06	0.61	3.40	3.77	42.60	401.80	96.00
SILICATO	2.5 t/ha	5.10	0.58	3.60	3.75	40.60	407.40	95.40

Tabla 33

Resultados de suelos incubados de 5 t/ha

Resultados de 5 t/ha								
FUENTE	**DOSIS**	**pH (1/1)**	**ACIDEZ (mEq-g/100 g Suelo)**	**FÓSFORO DISPONIBLE (ppm)**	**C.I.C.E. (mEq-g/100 g Suelo)**	**POTASIO DISPONIBLE (ppm)**	**CALCIO DISPONIBLE (ppm)**	**MAGNESIO DISPONIBLE (ppm)**
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.60	1.60	3.33	2.92	40.20	148.00	36.00
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.59	1.61	3.33	2.92	38.00	146.00	35.50
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.60	1.60	3.33	2.92	40.20	148.00	36.00
DOLOMITA	5.00 t/ha	5.50	0.22	4.00	4.91	38.60	622.40	151.20
DOLOMITA	5.00 t/ha	5.45	0.22	4.00	4.74	36.60	605.20	145.20
DOLOMITA	5.00 t/ha	5.48	0.24	4.20	5.02	42.60	630.00	150.60
SILICATO	5.00 t/ha	5.55	0.22	4.00	5.01	43.60	630.00	153.40
SILICATO	5.00 t/ha	5.50	0.22	4.20	4.85	37.80	610.00	145.20
SILICATO	5.00 t/ha	5.51	0.22	4.00	4.99	41.00	621.40	152.40

Tabla 34

Resultados de suelos incubados de 10 t/ha

Resultados de 10 t/ha								
FUENTE	**DOSIS**	**pH (1/1)**	**ACIDEZ (mEq-g/100 g Suelo)**	**FÓSFORO DISPONIBLE (ppm)**	**C.I.C.E. (mEq-g/100 g Suelo)**	**POTASIO DISPONIBLE (ppm)**	**CALCIO DISPONIBLE (ppm)**	**MAGNESIO DISPONIBLE (ppm)**
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.62	1.61	3.30	2.90	37.00	147.00	35.60
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.60	1.61	3.33	2.90	39.40	147.00	35.30
SUELO ACIDO	0 t/ha	4.62	1.61	3.30	2.90	37.00	147.00	35.60
DOLOMITA	10.00 t/ha	6.46	0.11	6.40	7.35	38.00	1013.80	237.60
DOLOMITA	10.00 t/ha	6.51	0.11	6.40	7.71	40.40	1046.20	251.00
DOLOMITA	10.00 t/ha	6.44	0.11	6.40	7.56	39.80	1021.80	242.20
SILICATO	10.00 t/ha	6.46	0.11	6.20	7.55	39.60	1004.00	236.60
SILICATO	10.00 t/ha	6.45	0.11	6.40	7.82	42.20	1112.00	254.60
SILICATO	10.00 t/ha	6.50	0.11	6.40	7.93	39.80	1052.20	255.20