

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**“Efecto comparativo entre el silicato di-tricálcico con la cal agrícola,
dolomita y roca fosfórica en la corrección de pH en suelos ácidos de
Madre de Dios”**

TESIS PRESENTADA POR:

Bachiller: LASTEROS CÁCERES,
Nelson Romario

PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE

ASESOR: M. Sc. VÁSQUEZ
ZVALETA, Telésforo

PUERTO MALDONADO, 2022

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**“Efecto comparativo entre el silicato di-tricálcico con la cal agrícola,
dolomita y roca fosfórica en la corrección de pH en suelos ácidos de
Madre de Dios”**

TESIS PRESENTADA POR:

Bachiller: LASTEROS CÁCERES,
Nelson Romario

PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE

ASESOR: M. Sc. VÁSQUEZ
ZAVALETA, Telésforo

PUERTO MALDONADO, 2022

DEDICATORIA

A mi querida Madre Pascuala Cáceres Soto, que, con su paciencia, esfuerzo, y coraje me brindo la motivación a seguir adelante pese a las dificultades económicas nunca me hizo faltar recursos, siempre me apoyó para que culmine mis estudios con éxito. Gracias Madre por tanto amor y cariño.

A mi querido Padre Máximo Lasteros Quispe, quien, con sus consejos, apoyo, y paciencia me enseñó que todo es posible en la vida, que siempre podemos aportar a nuestra sociedad. Gracias por sacarme adelante y poder lograr mis objetivos.

A mis tías, Zoila y Paula que siempre mantuvieron una esperanza viva que terminaría mis estudios pese a las dificultades académicas, pese a las dificultades económicas, Muchas gracias, tía Paula y Zoila por haberme apoyado e inculcado valores desde muy pequeño.

A mis hermanos, Bery Sonia y Plinio David que estuvieron presentes en mi formación profesional apoyándome en los momentos más difíciles.

AGRADECIMIENTOS

Infinitamente agradezco a mi querida Alma Mater, “Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios”, a la escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, por darme la oportunidad de pertenecer a la hermosa familia forestal, a mis docentes que me brindaron mucho conocimiento, experiencia y sabiduría como parte de mi formación profesional y académica durante los 5 años.

Al Ing. M. Sc. Telésforo Vásquez Zavaleta, quien con su conocimiento, experiencia y sabiduría me brindo asesoramiento en la formulación y desarrollo de la tesis hasta el último momento y presentar el informe final de tesis.

A Eber y Juliño por haberme apoyado en el proceso de medición del pH durante los 5 meses, ayudándome sin ningún tipo de interés pusieron su máximo esfuerzo, disciplina y responsabilidad para el desarrollo correcto de las mediciones.

Asimismo, agradezco al Laboratorio de Química Agrícola de Valle Grande - Ica, quien colaboró con los diferentes análisis de Potencial de Neutralización de las cuatro enmiendas inorgánicas sólidas.

PRESENTACIÓN

Las investigaciones sobre encalado en suelos ácidos en la región son muy pocas, pero esto no quita la relevancia que tiene el uso de diferentes enmiendas para aumentar el pH en los suelos ácidos, el mencionado estudio inicia con el propósito de contribuir con el conocimiento y datos sobre efecto de diferentes enmiendas con diferentes dosis, tiempos de reacción para aumentar el pH y determinar el mejor efecto en el suelo ácido.

En la presente investigación se determinó el efecto comparativo de 4 enmiendas: (silicato di-tricálcico (cemento)), cal agrícola, dolomita y roca fosfórica, aplicando el principio de calidad de material encalante se consideró el tamaño de partículas, forma química, pureza del material y el poder relativo de neutralización en la corrección de acidez (pH) de suelos, dado que el pH tiene mucha influencia en la disponibilidad de nutrientes, toxicidad por aluminio, desarrollo radicular, etc. Se experimentó con 4 diferentes dosis de cada enmienda y se evaluó el tiempo de reacción a los 15, 45, 90, 135 días, bajo el método de incubación.

Es importante resaltar que el método de incubación es una técnica de laboratorio para estudiar en forma económica, rápida y aproximada la dosis a emplear en campo definitivo de algún insumo encalante.

Por otro lado, cabe mencionar que el silicato di-tricálcico, comúnmente conocido como cemento, tiene en su composición 42,81 % de CaO y un potencial de neutralización de 2,28, similar a la cal agrícola que se utiliza en nuestro país (41 % de CaO y 1,9 de Potencial de neutralización), pero con costos diferenciados, siendo el costo del cemento casi tres veces más económico que la cal agrícola (1,8 soles por kilo de cal agrícola vs 0,6 soles kilo de cemento); sin embargo, el cemento no es utilizado como enmienda para corregir el pH, disminuir el aluminio y aumentar el contenido de Calcio en los suelos; por tanto, por las cuestiones de costos y efectividad de los resultados que se obtuvieron en el presente estudio, que son alentadores, se debe considerar el uso de este recurso en la agricultura de nuestra región y porque no en nuestro país.

RESUMEN

La finalidad del presente estudio fue determinar el efecto comparativo en la corrección del pH utilizando las siguientes enmiendas, silicato di-tricálcico (cemento), cal agrícola, dolomita y roca fosfórica en suelos ácidos de Madre de Dios mediante el método de incubación en el Vivero Fundo el bosque UNAMAD. Para lo cual se utilizó un suelo ácido de pH 4,14. Posteriormente, se hizo la caracterización en el laboratorio. Asimismo, se realizó un análisis químico a cada enmienda para determinar las dosis. El experimento comprendió de tres factores de evaluación, Factor enmienda (insumos): Silicato di-tricálcico, cal agrícola, dolomita y roca fosfórica; factor Dosis: con 4 dosis de cada insumo por kilogramo de suelo, silicato di-tricálcico (1,06 g/kg, 2,11 g/kg, 4,23 g/kg, 6,34 g/kg), cal agrícola (1,38 g/kg, 2,76 g/kg, 5,51 g/kg y 8,27 g/kg), dolomita (0,94 g/kg, 1,88 g/kg, 3,75 g/kg y 5,63 g/kg) y roca fosfórica (2,43 g/kg, 4,86 g/kg, 9,72 g/kg, 14,58 g/kg) y factor tiempo de reacción: 4 tiempos de evaluación (15, 45, 90, 135 días), cada combinación de estos factores con tres repeticiones de 1 kilogramo de suelo.

En la incubación primero se homogenizo todo el suelo retirando las hojas y agregados para posteriormente tamizar y pesar 1 kg de suelo, Luego colocamos en su respectiva bolsa codificada con cierre hermético añadiendo la dosis respectiva de la enmienda y por último se humedeció hasta capacidad de campo, después se procedió con la evaluación del pH, en cada tiempo de reacción mencionados anteriormente. Los resultados mostraron en la comparación del efecto entre el silicato di-tricálcico, cal agrícola, dolomita y roca fosfórica que las 4 enmiendas tuvieron efecto positivo en el pH a mayor dosis, en el caso del efecto en el tiempo de reacción fue mejor a los 90 días de la aplicación de la enmienda. Por otro lado, el silicato di-tricálcico tuvo mejor efecto sobre el pH en la dosis 4 aumentando a 5,89. A nivel de tratamiento 4 la dolomita presenta diferencia significativa en la corrección del pH respecto al Silicato di-tricálcico, 6,11 y 5,89 respectivamente. Sin embargo, supera el 5,5 de pH, el cual se disminuye sustancialmente la toxicidad del Al^{3+} .

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the comparative effect on pH correction using the following amendments, di-tricalcium silicate (cement), agricultural lime, dolomite, and phosphate rock in acidic soils of Madre de Dios using the incubation method in the nursery. I founded the UNAMAD forest. For which an acid soil of pH 4,14 was changed. Subsequently, the characterization was done in the laboratory. Likewise, a chemical analysis was conducted on each amendment to determine the doses. The experiment included three evaluation factors, Amendment factor (inputs): Di-tricalcium silicate, agricultural lime, dolomite and phosphate rock; Dose factor: with 4 doses of each input per kilogram of soil, di-tricalcium silicate (1,06 g/kg, 2,11 g/kg, 4,23 g/kg, 6,34 g/kg), agricultural lime (1,38 g/kg, 2,76 g/kg, 5,51 g/kg and 8,27 g/kg), dolomite (0,94 g/kg, 1,88 g/kg, 3,75 g /kg and 5,63 g/kg) and phosphate rock (2,43 g/kg, 4,86 g/kg, 9,72 g/kg, 14,58 g/kg) and reaction time factor: 4 evaluation times (15, 45, 90, 135 days), each combination of these factors with three repetitions of 1 kilogram of soil.

In the incubation, the entire soil was first homogenized by removing the leaves and aggregates to later sift and weigh 1 kg of soil, then we placed it in its respective coded bag with hermetic closure adding the respective dose of the amendment and finally it was moistened until field capacity, then proceeded with the evaluation of the pH, at each reaction time mentioned above. The results showed in the comparison of the effect between the di-tricalcium silicate, agricultural lime, dolomite, and phosphate rock that the four amendments had a positive effect on the pH at higher doses, in the case of the effect on the reaction time it was better at the 90 days from the application of the amendment. On the other hand, the di-tricalcium silicate had a better effect on the pH at dose four, increasing to 5,89. At treatment level 4, dolomite shows a significant difference in pH correction with respect to di-tricalcium silicate, 6,11 and 5,89, respectively. However, it exceeds 5,5 pH, which reduces the toxicity of Al^{3+} .

INTRODUCCIÓN

La amazónica peruana ocupa un 60% del territorio nacional con más de 4,5 millones de hectáreas de los cuales los suelos son de baja fertilidad debido a la acidez, altos contenidos de aluminio y factores climáticos (Benites 1983). Asimismo, en el departamento de Madre de Dios se ha registrado 503 632,99 ha degradadas por las actividades antrópicas (SERFOR 2017), las cuales afectan directamente a los diferentes horizontes del suelo reduciendo drásticamente la fertilidad y propiedades químicas. Actualmente existen diferentes ONG y entidades del gobierno que buscan la productividad de las zonas afectadas a través de la reforestación.

En la reforestación una parte relevante para el éxito es la calidad del suelo. En ese sentido, la disponibilidad de nutrientes para las plantas es influenciado directamente por el pH, una propiedad química muy importante porque indica si es ácida, neutro o alcalina. Del mismo modo, la mayoría de las plantas obtienen un mejor desarrollo y crecimiento cuando el pH se mantiene ligeramente ácido a neutro.

El encalado consiste en la aplicación a los suelos ácidos materiales correctivos o enmiendas principalmente silicatos de Ca, Mg, carbonatos e hidróxidos como silicato di-tricálcico, cal agrícola, dolomita y roca fosfórica con la finalidad de elevar el pH, incrementar la disponibilidad de nutrientes, incrementar la actividad microbiana. Asimismo, según fuente de encalado existe aumento de calcio y magnesio, reduciendo la toxicidad del aluminio y aumentar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (INTAGRI 2015).

Parte fundamental para seleccionar la enmienda y dosis correcta es conocer algunas características del producto como pureza del material, granulometría de las partículas y el poder relativo de neutralización.

Por lo expuesto anteriormente, la presente investigación se propone como objetivo: Determinar el efecto comparativo entre el silicato di-tricálcico con la cal agrícola, dolomita y roca fosfórica en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Formulación del problema	2
1.2.1 General.....	2
1.2.2 Específicos	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Variables.....	3
1.4.1 Variables independientes	3
1.4.2 Variables dependientes	3
1.5 Operacionalización de Variables	3
1.6 Hipótesis.....	4
1.7 Justificación	5
1.8 Consideraciones Éticas	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes de estudio	7
2.2 Bases Teóricas.....	11
2.2.1 Suelos Ácidos.....	11
2.2.2 La acidez del suelo.....	13
2.2.3 Clasificación de la acidez del suelo	13
2.2.4 Naturaleza de la acidez del suelo.....	14
2.2.5 Efecto de la acidez en el suelo	15
2.2.6 pH y desarrollo radicular.....	16
2.2.7 saturación de bases	17
2.2.8 Capacidad buffer del suelo	18
2.2.9 Encalado de suelos ácidos	19
2.2.10 Enmiendas para el encalado	20
2.2.11 Calidad de los materiales encalantes	20
2.3 Definición de términos	25
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	26
3.1 Tipo de estudio	26
3.2 Diseño de estudio	26

3.2.1 Variables	26
3.2.2 Diseño experimental.....	26
3.2.3 Componentes de estudio.....	26
3.2.4 Tratamientos en estudio	27
3.2.5 Características del campo experimental.....	32
3.2.6 Factores de estudio	33
3.3 Población y muestra	34
3.4 Métodos y técnicas	34
3.4.1 Obtención de las muestras.....	34
3.4.2 Obtención de las enmiendas	35
3.4.3 Análisis químico de las enmiendas	36
3.4.4 Instalación del experimento	37
3.5 Tratamiento de los datos	39
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	40
4.1 Efecto de las enmiendas	40
4.2 Efecto de las dosis.....	42
4.3 Efecto del tiempo de reacción	43
4.4 Efecto entre enmiendas y dosis.....	44
4.5 Efecto entre enmiendas y tiempo de reacción	45
CONCLUSIONES	48
SUGERENCIAS	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquematización del contenido de hidrógeno e hidróxilos de acuerdo con la escala de pH.	11
Figura 2. pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas. ...	12
Figura 3. Relación en tamaño de las partículas de arena, limo y arcilla.	24
Figura 4. Efecto de enmiendas en la corrección de pH del suelo	41
Figura 5. Efecto de la dosis de enmiendas en la corrección del pH del suelo	42
Figura 6. Efecto de los tiempos de reacción en la corrección de pH del suelo	43
Figura 7. Interacción entre las enmiendas con dosis	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de Variables	3
Tabla 2. Clasificación de los suelos según el valor de pH.....	12
Tabla 3. Capacidad de intercambio catiónico	16
Tabla 4. Saturación de bases	18
Tabla 5. Poder amortiguador del suelo según su índice.....	19
Tabla 6. Equivalentes químicos (Poder de neutralización)	21
Tabla 7. Eficiencia relativa granulométrica	22
Tabla 8. Clasificación de la densidad aparente en los suelos	23
Tabla 9. Clasificación de las partículas del suelo	24
Tabla 10. Clave de tratamientos.....	28
Tabla 11. Interacción y tratamiento R (tiempo de reacción) x E (enmienda) x D (dosis)	28
Tabla 12. Análisis químico de enmienda Silicato Di-tricalcico	36
Tabla 13. Análisis químico de enmienda Cal agrícola	36
Tabla 14. Análisis químico de enmienda Dolomita	37
Tabla 15. Análisis químico de enmienda Roca fosfórica	37
Tabla 16. Dosis de cada enmienda	38
Tabla 17. Análisis de varianza de tres factores en la corrección del pH del suelo (ANOVA).	40
Tabla 18. Pos prueba de medias de SNK para las enmiendas	41
Tabla 19. Pos prueba de medias de SNK para las dosis de enmiendas	42
Tabla 20. Pos prueba de medias de SNK para los tiempos de reacción	43
Tabla 21. Comparación de medias entre las interacciones de enmiendas con dosis	44
Tabla 22. Comparación de medias entre las interacciones de enmienda y dosis	46
Tabla 23. Resultados de caracterización del suelo inicial y con la aplicación de las enmiendas a los 135 días de reacción de los tratamientos 3 y 4 de cada enmienda.	47

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

La región de Madre de Dios tiene una superficie territorial de 7 840 271 ha, de los cuales 503 632,99 ha están degradadas por distintas actividades antrópicas que pueden utilizarse para la reforestación (SERFOR 2017).

La reforestación bien planificada permite hacer productivas a las áreas degradadas, esta planificación va desde la selección de especies comerciales, manejo silvicultural y calidad de sitio. Uno de los factores de calidad de sitio son los suelos.

De acuerdo con la distribución de los suelos en la amazonia peruana los suelos bien drenados, topografía plana a pacíficamente ondulada y baja fertilidad a consecuencia de ser ácidos, representan una superficie de 38 000 000 ha (Achung 1995).

El factor que más influye en la calidad de los suelos de los bosques húmedos tropicales es el pH, que interviene en la disponibilidad de los nutrientes minerales para que el sistema radical asimile del suelo, cuando el suelo es ácido, es baja la disponibilidad de los nutrimentos, pero cuando en pH sube de ácido a básico empiezan los nutrientes a estar disponibles para la planta (BIOaggil 2009). Se sabe que la acidez de los suelos tiene efectos perjudiciales en el desarrollo de las plantas, en específico los elevados niveles de aluminio intercambiable (Al^{3+}) que aumenta cuando el pH es menor a 5,5 (Piedrahíta 2009, CIA 2014).

La fuente de silicatos di-tricálcico, en Madre de Dios, es más económico que las demás fuentes en una proporción de 70% que la cal agrícola, 50% que la dolomita y 30% que la roca fosfórica.

Los silicatos de calcio (CaSiO_3) siendo uno de los materiales principales que se utilizan como enmiendas de la acidez a través de la hidrólisis (reacción con el agua) del ion silicato (SiO_3). Asimismo, presentan una variada capacidad de neutralización para corregir el pH (Espinosa y Molina 1999), de ahí, la inquietud de evaluar el efecto del uso de estos silicatos di-tricálcico en la corrección de acidez en los suelos de Madre de Dios.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 General

- ✓ ¿Cuál es efecto comparativo entre el Silicato di-tricálcico con la cal agrícola, dolomita y roca fosfórica en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios?

1.2.2 Específicos

- ✓ ¿Cuál será el efecto comparativo del silicato di-tricálcico con dolomita en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios?
- ✓ ¿Cuál será el efecto comparativo del silicato di-tricálcico con cal agrícola en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios?
- ✓ ¿Cuál será el efecto comparativo del silicato di-tricálcico con roca fosfórica en la corrección en pH en suelos ácidos de Madre de Dios?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar el efecto comparativo entre el silicato di-tricálcico con la cal agrícola, dolomita y roca fosfórica en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Comparar el efecto de silicato di-tricálcico con dolomita en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios.
- ✓ Comparar el efecto de silicato di-tricálcico con cal agrícola en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios.
- ✓ Comparar el efecto de silicato di-tricálcico con roca fosfórica en la corrección en pH en suelos ácidos de Madre de Dios.

1.4 Variables

1.4.1 Variables independientes

- tiempo de reacción
- enmienda
- dosis de la enmienda

1.4.2 Variables dependientes

- pH

1.5 Operacionalización de Variables

En Tabla 1 se presenta las variables dependientes e independientes, así como sus indicadores.

Tabla 1: Operacionalización de Variables

Problema	Objetivos	Variables	Operacionalización de Variables			
			Indicador (Dosis)	Instrumento	Escala	Fuente
Efecto comparativo entre el silicato di-tricálcico con cal agrícola, dolomita y roca fosfórica en la corrección de pH de suelos ácidos de Madre de Dios	Comparar el efecto del silicato di-tricálcico con cal agrícola en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios.	VI. Enmiendas (silicato di-tricálcico y cal agrícola)	D1: D3(25%)	Balanza de precisión	g	Suelo y enmienda
			D2: D3(50%)			
			D3: Dosis teórica con relación al porcentaje de saturación de bases del suelo, al tipo de enmienda, la riqueza y granulometría			
			D4: D3(150%)			
		VD. pH	pH	Potenciómetro	3 a 7	Muestra incubada
	Comparar el efecto del silicato di-	VI. Enmiendas (silicato di-tricálcico	D1: D3(25%)	Balanza de precisión	g	Suelo y enmienda
			D2: D3(50%)			
			D3: Dosis teórica con			

	tricálcico con dolomita en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios.	y dolomita)	relación al porcentaje de saturación de bases del suelo, al tipo de enmienda, la riqueza y granulometría			
			D4: D3(150%)			
		VD. pH	pH	Potenciómetro	3 a 7	Muestra incubada
	Comparar el efecto del silicato di-tricálcico con roca fosfórica en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios.	VI. Enmiendas (silicato di-tricálcico y roca fosfórica)	D1: D3(25%)	Balanza de precisión	g	Suelo y enmienda
			D2: D3(50%)			
			D3: Dosis teórica con relación al porcentaje de saturación de bases del suelo, al tipo de enmienda, la riqueza y granulometría			
			D4: D3(150%)			
		VD. pH	pH	Potenciómetro	3 a 7	Muestra incubada

Fuente: Elaboración propia

1.6 Hipótesis

Hipótesis nula (Ho): No existe efectos comparativos entre el silicato di-tricálcico con cal agrícola, dolomita y roca fosfórica en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios.

Hipótesis alterna (Ha): Existe efectos comparativos entre el silicato di-tricálcico con cal agrícola, dolomita y roca fosfórica en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios.

1.7 Justificación

La parte amazónica es la más amplia del territorio nacional y se encuentra debajo de los 500 m.s.n.m; en esta zona predominan suelos ácidos con baja fertilidad. De acuerdo con la clasificación de la tierra del Perú según su capacidad de uso mayor encontramos los suelos aptos para producción forestal son un 38%, tierras aptas para cultivos permanentes representan un 2,1%, tierra indicada para cultivo en limpio representan un 3,8% del territorio nacional. Sin embargo, uno de los mayores problemas de producción de los cultivos en limpio, cultivo permanente y producción forestal son los problemas de absorción de nutrientes en suelos ácidos (Achung 1995).

Este hecho ha generado costos altos de producción por la utilización de enmiendas para mejorar el pH. El suelo por ser base de toda actividad agrícola y forestal debe optar por alternativas para mejorar la producción en diferentes áreas.

Por otra parte, la presente investigación pretende buscar una nueva solución económica para los suelos ácidos, mediante la evaluación comparativa del silicato di-tricálcico con otras enmiendas de uso común o tradicionales.

La región de Madre de Dios por pertenecer a la amazonia peruana tiene la mayor parte de su territorio conformado por suelos ácidos con bastante vegetación que necesita estudios relacionados a la mejora del pH para que la vegetación aproveche mejor los pocos nutrientes que tiene el suelo.

1.8 Consideraciones Éticas

La presente investigación respetará la autoría de las fuentes bibliográficas; asimismo, se mantendrá una estricta conducta responsable en la investigación, es decir se aplicará una rigurosidad en la instalación del experimento como en la aplicación de los protocolos en la toma de datos. La investigación será respaldada por citas bibliográficas cumpliendo las normas

y reglamentos señalados por la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio

En la revisión bibliográfica practicada no se encontró trabajos relacionados al uso del silicato di-tricálcico en el mejoramiento de la acidez en los suelos agrícolas; Sin embargo, si se encontró información sobre el uso de las demás enmiendas en la agricultura como se explica a continuación:

A nivel nacional

Cruzado (2017) evaluó el efecto de 4 enmiendas sobre el pH en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), en Tocache – San Martín. Los 5 tratamientos evaluados fueron: (0,0 kg/90 m², 90,78 kg/90 m² de cal agrícola, 151,30 kg/90 m² de dolomita, 95,83 kg/90 m² de magnecal y 95,83 kg/90 m² de magnocal). Los resultados muestran que cada una de las enmiendas tuvo un efecto positivo sobre el pH ácido de 4,19. El tratamiento que mejor resultado fue la dolomita que aumento de 4,19 a 5,15.

López (2012) estudió el efecto de las enmiendas en un suelo con problemas de acidez y fuentes de fósforo en el crecimiento de la (*Guazuma crinita*, Mart.) bolaina blanca -Tingo María, utilizó cal y dolomita como enmiendas del pH en los suelos y dos fuentes de fósforo (Super fosfato triple de calcio y roca fosfórica); siendo los tratamientos aplicados los siguientes: 2 t/ha + STCa 80 kg P₂O₅ /ha, 4 t/ha + STCa 80 kg P₂O₅ /ha, 2 t/ha + STCa 160 kg P₂O₅ /ha, 4 t/ha + STCa 160 kg P₂O₅ /ha, 2 t/ha+ RF80 kg P₂O₅ /ha, 4 t/ha+ RF80 kg P₂O₅ /ha, 2 t/ha + RF160 kg P₂O₅ /ha, 4 t/ha + RF160 kg P₂O₅ /ha. Los resultados reportados fue que el tratamiento de 4 t/ha de caliza + 160 kg/ha de roca fosfórica arrojó el mejor comportamiento respecto al pH (de 4,2 a 6,2 de pH), esto permitió el incremento de la disponibilidad de Ca, Mg y otros nutrientes.

Ruiz (2011) determino el efecto de la dolomita en las propiedades químicas y físicas del suelo, en Ricardo Palma – Naranjillo. En la presente investigación se empleó 5 tratamiento (0 t/ha, 0,356 t/ha, 0,713 t/ha, 1,19 t/ha, 1,55 t/ha). Los resultados muestran que existe un cambio en las propiedades físicas, en la densidad aparente, porcentaje de porosidad. Además, el análisis químico muestra una disminución mayor en la acidez en el tratamiento numero 4 (1,55 t/ha) donde aumento el pH de 4,27 a 4,91. Asimismo, la materia orgánica subió de bajo a alto y fosforo de un nivel de deficiencia a normal, del mismo modo tuvo mejor efecto en la reducción de aluminio e hidrogeno, el cual generó un porcentaje bajo de saturación de acidez intercambiable. Finalmente, aumento el calcio y magnesio.

Ricse (2018) realizó una investigación sobre el efecto de la dolomita, cal agrícola, yeso agrícola y magnocal en las propiedades químicas, físicas y biológicas de un suelo con problemas de acidez y la producción del cultivo de *Phaseolus vulgaris* L.- Satipo, aplico 2 t/ha cada enmienda, es decir 3,2 g en 4 kg de suelo. Los resultados del análisis de varianza muestran que hay diferencia estadística altamente significativa sobre el pH en las enmiendas, el testigo presenta un pH de 4,98 con la aplicación de yeso agrícola aumento ligeramente el pH a 5,05, dolomita 5,23, magnocal 5,53 y cal agrícola a 5,38. Entre el testigo, yeso agrícola y dolomita no presentan diferencia estadística. Pero el magnocal y cal agrícola si presentan diferencia estadística con el testigo y yeso agrícola.

Castro (2010) con el objetivo de conocer la dosis adecuada para reducir total o parcialmente la toxicidad del aluminio en un suelo con problemas de acidez y también evaluar los cambios en las propiedades químicas como pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el porcentaje de saturación de aluminio, aplico las siguientes dosis de dolomita (0,0 t/ha, 2,7 t/ha, 4,1 t/ha, 5,5 t/ha, 6,8 t/ha, 8,2 t/ha). Los suelos se analizaron en dos periodos, la primera evaluación fue (60 días) y al culminar el estudio (120 días). Cuando se completó cada periodo se evaluaron las variables de estudio como son el Al, pH, CIC, saturación del aluminio, y también los macronutrientes tales como Ca, Mg y K. De manera general la dolomita provoco un cambio benéfico en

las propiedades químicas del suelo. La dosis que tuvo mayor efecto sobre el pH fue 8,2 t/ha, logrando subir el pH de 4,4 a 5,5 y por consiguiente una reducción importante en el contenido de $\text{Al}^{3+} > 1,5 \text{ cmol kg}^{-1}$ (hasta niveles de 0,1 meq/ 100 g, o 1,1% en la saturación de aluminio) considerado conveniente para todos los cultivos que se desea plantar. En el caso del CICE aumento de 4,2 hasta 9,4 con la aplicación de 8,2 t/ha de dolomita.

A nivel internacional

Castro et al. (2006) en su investigación de análisis y control de la acidez en suelos sulfatados en el Distrito de Alto Chicamocha (Boyacá) mediante pruebas de incubación definió 7 tratamientos de carbonato de calcio (CaCO_3) 0 t/ha, 5 t/ha, 10 t/ha, 15 t/ha, 20 t/ha, 25 t/ha y 30 t/ha en 200 g de suelo. En las evaluaciones de las propiedades químicas el pH se determinó que, a mayor dosis, aumenta directamente el pH. Reportando que a partir de 10 t/ha de CaCO_3 neutralizaron la totalidad del Al^{+3} , alcanzando pH en los niveles de 5,0 - 5,5.

En el estudio de Castro y Munevar (2013) para la mejora química de suelos con problemas de acidez a través de la aplicación mezclada de enmiendas encalantes. Utilizaron 2 tipos de suelos ácidos uno de horizonte óxico (SSAI) con un pH de 4,5 y suelo sulfatado ácido improductivo con un pH de 3,3. Las enmiendas fueron Cal viva, Dolomita y Escorias en diferentes dosis. Los resultados mostraron que la mejor dosis fue de 16 t/ha de CaCO_3 , en (SSAI) y 4 t/ha CaCO_3 para el suelo de horizonte óxico, en ambos suelos se logró neutralizar el aluminio y elevar el pH a 5,5.

Garbanzo et al. (2016) evaluó el efecto de la aplicación de 3 enmiendas correctivas de pH líquidas en el suelo y el crecimiento de maíz en condiciones de invernadero, las fuentes fueron Cal 56, Surkal y Sur Flow Calcio. La dosis de Cal 56 fue 0,83 ml/l y 1,25 ml/l, de Sur Flow Calcio fue 4,16 g/l y 8,32 g/l y finalmente de Surkal fue 0,83 y 1,25. Los resultados fueron positivos, aumento la fertilidad del suelo, se redujo la acidez intercambiable, se redujo la saturación de acidez y el pH aumento de 4,5 a 5,0 con la enmienda Surkal a

los 45 días y con diferencia estadística significativa con relación a los otros tratamientos.

Guillermo et al. (2010) en su estudio del efecto de fuentes básicas en suelos ácidos de la región Pampeana, evaluó el CIC, el aluminio intercambiable y el pH en 10 muestras de suelo seleccionadas por su acidez. Los tratamientos fueron con caliza y dolomita de 700, 1500 y 2000 kg/ha, a las mismas dosis también se agregó 200 kg/ha de yeso. Los resultados demuestran que todos los tratamientos de encalado aumentaron el pH, reduciendo la toxicidad del aluminio intercambiable (Al^{3+}). También el análisis de varianza indica que existe diferencia estadística entre enmiendas.

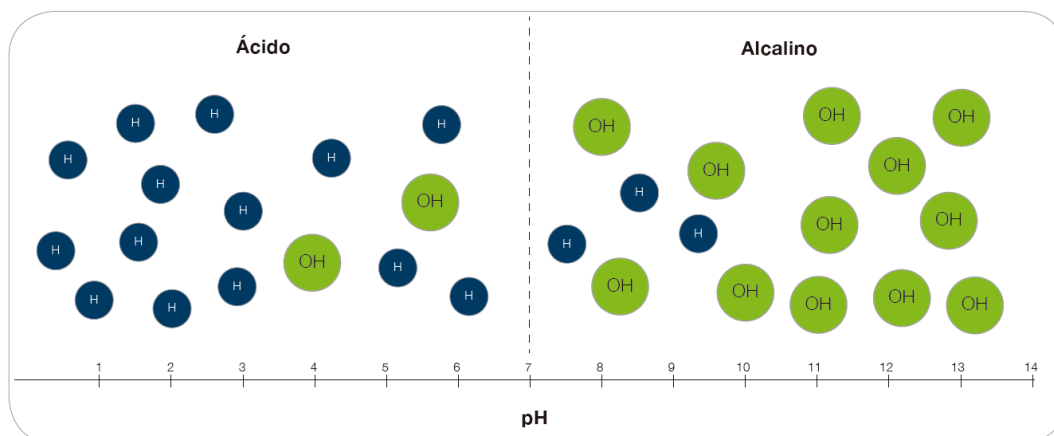
Rosas et al. (2017) realizaron una investigación sobre la relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para el cacao en la Amazonia Colombiana. Para el experimento aplicaron las siguientes dosis de dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y cal agrícola (CaCO_3) 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11 Mg/ha. La evaluación se realizó cada 10 días durante 76 días, los resultados de las evaluaciones mostraron que la dosis de 7 Mg/ha (7 t/ha) de $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ aumentó el pH de 5,5 a 6,0. Además el aluminio intercambiable disminuyó significativamente. También el pH mostro un comportamiento ascendente a medida que aumentaba las dosis hasta cierto punto, después el suelo mostro resistencia al cambio de pH debido al poder amortiguador el cual es característico en los suelos con altos contenidos de arcilla.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Suelos Ácidos

pH del suelo

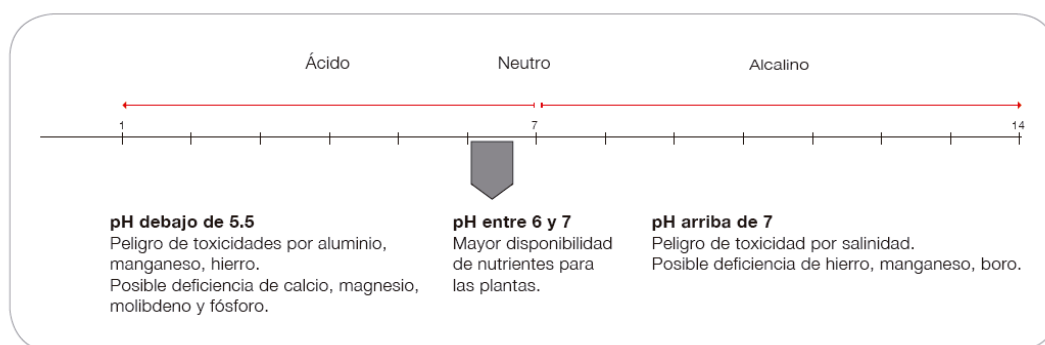
La medición del pH o potencial de hidrógeno es un parámetro que oscila entre 1 y 14, el cual indica la concentración de hidrógeno en la solución del suelo. Cuando el pH es menor a 7, se considera ácido y va aumentando paulatinamente la acidez a medida que se aleje del pH neutro el cual es 7 (Figura 1). Sin embargo, cuando el pH es superior a 7, se considera básico o alcalino que a medida que más se aproxima a 14 es más básico. Finalmente, el pH neutro indica un equilibrio o igualdad química entre la cantidad de hidróxidos (OH^-) e hidrogeno (H^+) (DICTA 2016).



Fuente: DICTA (2016)

Figura 1. Esquematización del contenido de hidrógeno e hidróxilos de acuerdo con la escala de pH.

La disponibilidad de nutrientes en el suelo es influenciada directamente por el pH, la alta diversidad de especies vegetales provoca ciertas diferencias con relación a un óptimo pH para el desarrollo de cada planta, pero existe un promedio donde habrá mejor disponibilidad de nutrientes asimilables en el suelo cuando pH oscile entre 6,0 y 7,0 (Figura 2)(DICTA 2016).



Fuente: DICTA (2016)

Figura 2. pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

pH ácido

Cuando el pH está debajo de 5,5, los nutrientes presentes en el suelo como magnesio, molibdeno, fósforo y calcio probablemente no estén disponibles para las plantas, esto provocará que las plantas manifiesten deficiencia en su nutrición. Asimismo, debido a la acidez presente en las zonas tropicales causa pérdidas de nutrientes como magnesio, potasio, calcio y amonio por la lixiviación y muchos de los coloides del suelo se convierten de carga positiva, esto genera la incapacidad del suelo para retener nutrientes positivos. Además, la acidez provoca que algunos nutrientes presentes en el suelo se conviertan tóxicos para la planta como el aluminio, manganeso y hierro (DICTA 2016).

En la Tabla 2 se muestran la clasificación de los suelos según el pH.

Tabla 2. Clasificación de los suelos según el valor de pH

Clasificación	Valor de pH
Muy fuertemente ácido	4,0 a 4,5
Fuertemente ácido	4,5 a 5,5
Ácidos	5,5 a 6,5
Ligeramente ácido	6,5 a 6,8
Prácticamente neutro	6,8 a 7,2
Ligeramente alcalino	7,2 a 7,5
Alcalinos	7,5 a 8,5
Fuertemente alcalinos	8,5 a 9,0

Fuente: Prat (1981)

2.2.2 La acidez del suelo

En las regiones húmedo-tropicales los suelos se han desarrollado en situaciones de alta precipitación que sobrepasa la evapotranspiración del suelo. Estos factores producen lixiviación que han provocado pérdida gradual de las bases del suelo como Ca, Mg, y K y han desarrollado la acidez del suelo (Piedrahíta 2009).

La pérdida de cationes básicos como Na^+ , Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+} , y la acumulación de H^+ y Al^{3+} ha provocado la reducción del pH del suelo. Existen varias causas transcendentales que provocan la acidificación del suelo las cuales son la utilización masiva de fertilizantes que tienen como compuesto base el amonio, factores climáticos como el prolongado tiempo de precipitación, la facilidad que tiene el agua para filtrarse en el suelo, practicas inadecuadas de uso de suelo y la perdida de la cobertura boscosa que presenta en la capa superior un pH menor a 5,5 que aqueja alrededor del 30% y 75% de la superficie ácida (FAO 2016).

2.2.3 Clasificación de la acidez del suelo

Según Piedrahíta (2009) la acidez provocada por fuentes anteriormente mencionadas podemos clasificar de la siguiente manera:

- i. Acidez activa: en la acidez solamente se observa la existencia de iones H^+ en una solución de suelo donde se determina con un peachímetro de mesa (medidor de pH) y no se considera si hay presencia de Al^{3+} u otros iones. La acidez activa es solo una parte de la acidez potencial total, la medida de pH nos indica si el suelo necesita algún tipo de enmienda o no con alcalinizantes, pero puede darnos la dosis que necesita.
- ii. Acidez intercambiable: en la acidez intercambiable se determina tanto los iones Al^{3+} en la solución como los iones H^+ . De forma común es menor en suelos mineral ácidos pero mayor los suelos orgánicos.
- iii. Acidez no intercambiable o residual: El hidrogeno presenta enlace covalente en el horizonte superior de los minerales arcillosos.
- iv. Acidez titulable: acidez intercambiable con no intercambiable.

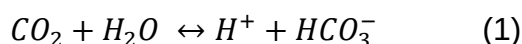
2.2.4 Naturaleza de la acidez del suelo

Hay diferentes factores que provocan la reducción de pH en el suelo. La gran parte de estos procesos acontecen de manera natural dependiendo del tipo de suelo, condiciones, de la forma de manejo y de los tipos de cultivo. Tener un conocimiento y experiencia en estos procesos permite tener un mejor dominio de los parámetros que provocan la acidez del suelo (Espinosa y Molina 1999).

Remoción de nutrientes

En el suelo hay cationes básicos (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+) que satisfacen la carga eléctrica de los coloides en la superficie. La acidez comienza con la pérdida de los cationes debido a la acción de la raíz. Por esta razón la planta libera H^+ luego de absorber cationes para mantener el equilibrio, lo que provoca la reducción de pH.

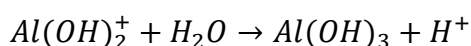
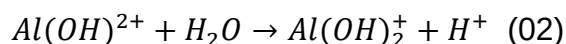
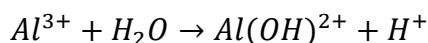
Por otra parte, la acidificación del suelo se da por el movimiento en las capas inferiores de los cationes (lixiviación) la cual genera acidez. El movimiento del agua arrastra cationes del perfil del suelo formando pares iónicos con la presencia de aniones. La mineralización de la materia orgánica produce aniones a la solución del suelo como cloruro (Cl^-), nitrato (NO_3^-) y Sulfato, (SO_4^{2-}) que son los encargados de arrastrar los cationes básicos formando pares iónicos del perfil. Asimismo, en el momento de descomposición de la materia orgánica a través de los microorganismos produce CO_2 que seguidamente se convierte en bicarbonato (HCO_3^-). Como resultado de la reacción aporta H^+ , que produce acidez, adicionalmente el bicarbonato (HCO_3^-) (Ecuación 1) se combina fácilmente con los cationes básicos lavándolos del perfil (Espinosa y Molina 1999).



Aluminio Intercambiable

Está reconocido que existen varios factores en el desarrollo de la acidez del suelo, pero uno de los principales factores en la presencia de aluminio Al^{3+} . Los iones Al^{3+} que son desplazados de los materiales arcillosos por otros cationes se hidrolizan (reaccionan con una molécula de agua) (Ecuación 2)

para formar poliméricos hidroxialumínicos y complejos monoméricos. La reacción de hidrólisis del Al^{3+} liberan iones H^+ . Cada una de estas reacciones libera H^+ y provoca la acidez del suelo. La hidrólisis de los tipos monoméricos del Al se muestra en las siguientes reacciones (Espinosa y Molina 1999).



2.2.5 Efecto de la acidez en el suelo

El pH bajo o ácido se define como la alta concentración de iones H^+ , el aluminio tiene también un rol importante en la acidez del suelo. Un componente importante de la mayoría de los minerales del suelo es el aluminio como (aluminosilicatos y óxidos de aluminio), incluyendo arcillas (Espinosa y Molina 1999).

Capacidad de intercambio catiónico

Para medir el nivel de fertilidad del suelo es de gran relevancia determinar la (CIC), esta propiedad química indica la cantidad de cargas negativas presentes en la solución del suelo para ser intercambiados por diferentes cationes (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Al^{3+}) o iones de hidrogeno. También existen otros nutrientes que pueden reemplazar a los anteriores como Cu^{2+} , NH_4^+ , Fe^{2+} Mn^{2+} con carga positiva, pero en menores cantidades (INTAGRI 2015).

El CIC señala la capacidad de detener nutrientes para la planta, a mayor CIC es mayor la fertilidad que los de menor. De manera que en suelos que tienen una baja medición de la CIC los nutrientes quedan expuestos a ser lixiviados por las lluvias.

En el suelo existen bastantes procesos. Sin embargo, algunos tienen más importancia como es el intercambio iónico y el proceso de fotosíntesis. Ambos procesos de vital importancia para las plantas. La materia orgánica y arcilla desencadenan el cambio iónico. La cantidad de iones negativos presente en el suelo se define como la capacidad de intercambio catiónico y se enuncia en meq/100 g de suelo. Asimismo, la CIC aumenta a medida que la acidez se

reduce e incrementan los iones negativos debido a la precipitación del aluminio, en consecuencia, se reduce la concentración de hidrogeniones (Ramírez 1997).

En la Tabla 3 se muestran los valores óptimos de la CIC obtenidos en la caracterización de suelos. Estos valores varían de acuerdo con el clima, tipo de cultivo y otros factores (AQM Laboratorios 2015).

Tabla 3. Capacidad de intercambio catiónico

CIC total Meq/100g	Nivel	Valoración
0 – 10	Muy bajo	Suelo muy pobre
10 – 20	Bajo	Suelo pobre
20 – 35	Medio	Suelo medio
35 – 45	Medio alto	Suelo rico
Mayor de 45	Alto	Suelo muy rico

Fuente: AQM Laboratorios (2015)

2.2.6 pH y desarrollo radicular

Los estudios que tienen por objetivo determinar la forma del aluminio superior se observa cuando el pH del suelo es ácido, el aluminio está presente de la siguiente forma (Al^{3+}). Asimismo, cuando el pH esta mayor a 5, las diferentes formas de los polímeros hidróxidos se reducen y aumentan los hidróxidos de Al altamente básicos que no son solubles y precipitan con facilidad. Por lo tanto, no están disponibles para las plantas. Sin embargo, cuando la acidez del suelo esta entre 3,5 y 5, incrementa bastante los hidróxidos de Al alcanzando concentración máxima (Garzón 2004).

La toxicidad del aluminio debido a un pH ácido en las plantas incide directamente en la raíz y de diferentes formas, existiendo numerosas zonas de acción potencial del aluminio, como la inhibición en el crecimiento de la raíz, siendo uno de los primeros efectos fácilmente visibles en la raíz, esto sucede por la capacidad de aluminio de penetrar por la membrana plasmática a través de los poros hidrófilos la cual permite entrar al interior de la célula. El ápice es fundamental en la respuesta a la toxicidad por el aluminio, debido a

que este lugar es el punto de acumulación y respuesta de sensibilidad a la toxicidad. El primero en tener contacto con el aluminio es el apoplasto, también esta parte que viene a ser el lugar de acumulación en la matriz de pectina. Una vez que el aluminio ingresa en la raíz afecta las propiedades mecánicas de las células, la cual como consecuencia desencadena una reducción en el crecimiento de la raíz (INTAGRI 2016).

La alta concentración del aluminio en el suelo genera efectos negativos en la raíz de la planta, específicamente en el ápice radicular, debido a ello las raíces laterales de la planta tiene un crecimiento bajo y débil, a consecuencia de ello se disminuye el volumen de la raíz. A este problema se suma la poca capacidad de absorción de nutrientes y agua, generando efectos negativos en el desarrollo y crecimiento. Para evidenciar los efectos del exceso de toxicidad del Al^{3+} en el suelo para la planta se observa el ápice radicular, debido a su mayor permeabilidad (INTAGRI 2016).

La raíz de las plantas se puede inhibir en su crecimiento debido a varios factores como la afectación a la toma de cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} en la membrana. Asimismo, debido a la alteración de intercambio catiónico en la pared celular y la inducción vía peroxidación lipídica de estrés oxidativo. Otro evento importante es las reacciones celulares en reemplazo de Fe^{3+} o Mg^{2+} y también la interferencia con vías de señalización. Debido a la sensibilidad de las plantas al aluminio se almacena P y Al en los espacios vacíos de las células de la raíz el cual provoca menor disponibilidad de P para sus respectivos procesos metabólicos (INTAGRI 2016).

2.2.7 saturación de bases

La saturación de bases es la cantidad de cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio) con exclusión de los cationes ácidos (hidrogeno y aluminio), que se encuentran en el suelo que al sumar y dividir entre la capacidad de intercambio catiónico (CIC) o capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE) según corresponda y finalmente multiplicar por 100 obtenemos la medición expresada en porcentaje. La saturación de bases tiene una relación favorable con el pH, ya que un alto valor indica que el suelo no está dominado por iones ácidos de hidrogeno y aluminio, en la Tabla 4 se muestra el

porcentaje de saturación de bases con su respectiva valoración (DICTA 2016, AQM Laboratorios 2015).

Tabla 4. Saturación de bases

% saturación de bases	Valoración
<50%	Suelo muy ácido. Aconsejable una enmienda caliza.
50% - 90%	Suelo medio. Su riqueza dependerá de la CIC total.
>90%	Suelo saturado de bases. pH neutro o básico

Fuente: AQM Laboratorios (2015)

2.2.8 Capacidad buffer del suelo

Cuando se añade elementos de naturaleza ácida o básica al suelo presenta una resistencia a modificar su pH, a esto se denomina capacidad buffer o poder amortiguador del suelo. Esto es muy importante ya que de alguna manera permite equilibrar o mantener el pH de manera constante. Esto evita complicaciones a las plantas, microorganismos y la disponibilidad de nutrientes en el suelo que podrían ser afectadas por las variaciones rápidas y radicales de pH (Navarro y Navarro 2003).

El pH es propenso al cambio al momento de la adición de ácidos o bases. Sin embargo, todos los suelos son y tienen diferente susceptibilidad de cambio de pH. El motivo de la resistencia al cambio es debido a la presencia de compuestos con la capacidad de frenar el cambio, estos son el humus y la arcilla que tienen el poder de retener H^+ con más o menos intensidad (Prat 1981).

Conocer la textura y materia orgánica del suelo nos da una orientación de la capacidad buffer, de modo que, si el suelo es arenoso y de poca materia orgánica será más fácil de neutralizar que un suelo arcilloso, a consecuencia de que el poder amortiguador es débil y ofrece poca resistencia al cambio (Prat 1981).

“La capacidad buffer, se expresa mediante un índice, el cual será más elevado cuando más alta sea la resistencia que ofrece el suelo a modificar el pH” (Prat 1981, p. 27). En la Tabla 5 se observa el poder amortiguador del suelo según su índice.

Tabla 5. Poder amortiguador del suelo según su índice

Índice	Poder amortiguador
0 – 3,00	Muy débil
3,01 – 4,00	Débil
4,01 – 5,00	Medio
5,01 – 6,00	Fuerte
Mayor a 6,00	Muy fuerte

Fuente: Prat (1981)

2.2.9 Encalado de suelos ácidos

La acidez en los suelos genera diversos problemas para las plantas. En el caso de los suelos ácidos se observa la presencia de metales pesados y tóxicos que afectan directamente la disponibilidad de algunas nutrientes importantes como el Mg, Ca y P, y disminuyen la mineralización de la materia orgánica. El encalado es una técnica que nos permite agregar al suelo diferentes enmiendas correctivas para disminuir la acidez y reducir la alta toxicidad de aluminio y manganeso a un nivel tolerable para que los diferentes nutrientes puedan actuar y ser asimiladas por las plantas y tengan un desarrollo correcto (Ken 2006).

El uso y aplicación correcta del encalado proporciona respuestas positivas a corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, la aplicación inadecuada de la enmienda será benéfica a corto plazo, pero a largo plazo es perjudicial. Para que los nutrientes puedan aprovecharse deben estar en cantidades suficientes y además en relaciones equilibradas. Tanto para la aplicación de fertilización y corrección de suelos ácidos es necesario un análisis de suelo para tener resultados satisfactorios (Ken 2006).

El encalado radica en la utilización de diferentes enmiendas calcáreas para cuyos materiales están compuestos fundamentalmente por hidróxidos,

silicatos, óxidos y carbonatos que a consecuencia de la variedad de la naturaleza química las enmiendas manifiestan una capacidad variable de neutralización (Bernier y Alfaro 2006).

2.2.10 Enmiendas para el encalado

En la actualidad existen diversos materiales que tienen la capacidad de reaccionar con el suelo y corregir la acidez, entre las más conocidas tenemos las siguientes:

La roca fosfórica: La roca fosfórica es una enmienda natural de aplicación directa la cual está compuesta por principalmente de CaO 26,70 y P 18,13, adicionalmente presenta (Mg, Mn, Mo, Cu, Fe, B), las cuales controlan la acidez de los suelos y mejora la capacitación de asimilación de nutrientes.

La dolomita: La dolomita es una enmienda mineral blanca, compuesta principalmente por CaO 30,76% y MgO 14,87%. Siendo debido a su composición fuente de calcio y magnesio siendo primordial para corregir la acidez del suelo, consiguiendo el equilibrio y aumentando la productividad de los cultivos.

La cal agrícola: Enmienda más usada para corregir la acidez del suelo cuya composición contiene principalmente CaO 41,00% y MgO 2,67%. La aplicación de esta enmienda no solo mejora las propiedades químicas, también las físicas y biológicas.

2.2.11 Calidad de los materiales encalantes

Una de las estrategias más utilizadas en los suelos ácidos, es la incorporación de materiales encalantes, cuya función es aumentar el pH del suelo y reducir el porcentaje de toxicidad del aluminio, pero el éxito del encalado este ligado en gran parte a la calidad de las enmiendas que usamos, época del año y dosis correcta (Fertilab 2015).

Generalmente la calidad de los materiales encalantes depende de las siguientes características: forma química, pureza del material, tamaño de las partículas y el poder relativo de neutralización total (PRNT) (Fertilab 2015).

Pureza del material

Una de las características de la calidad es la pureza de la enmienda de encalado, tanto la pureza del material y la composición química inciden directamente en la capacidad de neutralizar la acidez del suelo. Esta pureza se determina con el criterio de equivalente químico (EQ) la cual es una medición del poder de neutralización. El EQ se refiere a la capacidad de la enmienda para reducir la acidez del suelo comparado con la capacidad de neutralizar el CaCO_3 puro químicamente, al cual tiene un valor de 100% (Tabla 6) (Fertilab 2015).

Tabla 6. Equivalentes químicos (Poder de neutralización)

Material	Equivalente Químico (EQ)	Formula
Carbonato de calcio	100	CaCO_3
Dolomita	108	$\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$
Oxido de Calcio	179	CaO
Hidróxido de calcio	138	Ca(OH)_2
Hidróxido de magnesio	172	-
Carbonato de magnesio	119	-
Oxido de Magnesio	248	MgO
Silicato de calcio	86	CaSiO_3
Silicato de magnesio	100	MgSiO_3

Fuente: Fertilab (2015)

Tamaño de Partícula

La eficiencia relativa de granulometría (ERG) llamado también velocidad de reacción de un material encalante depende del tamaño de sus partículas, por esta razón las partículas pequeñas reaccionan en el suelo a mayor velocidad, para calcular la eficiencia relativa granulométrica de un material, se pesa inicialmente una cierta cantidad del material y se cierra en el tamiz de diferente tamaño: 20, 30, 40, 50, 100. Este procedimiento permite detener en

el tamiz una cantidad determinada, de esta forma se separan los diferentes tamaños de partícula (Tabla 7) (Fertilab 2015).

Tabla 7. Eficiencia relativa granulométrica

Numero de Malla mesh*	Tamaño de orificios en mm	Eficiencia Relativa Granulométrica %
<8	> 2,36	0
8 - 20	2,36 – 0,85	20
20 - 40	0,85 – 0,42	40
20 - 60	0,85 – 0,25	60
> 60	< 0,25	100

Fuente: Fertilab (2015)

Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT)

La obtención de este valor es directamente relacionado con el valor neutralizante (VN) de cada material, así como de su eficiencia relativa granulométrica (ERG) también llamada velocidad de reacción y su contenido de humedad (CH). Por lo tanto, se considera la fineza y pureza química del material. Para conseguir el PRNT, se multiplica la ERG por VN y se divide entre 100, luego este resultado se multiplica con el resultado de la resta de 100 menos el CH del material sobre 100. En conclusión, mientras mayor es el PRNT, más reactivo es el material encalante (Fertilab 2015).

Densidad aparente

La densidad aparente del suelo es la relación masa seca a (105° C) y volumen (dentro del volumen está considerado los espacios porosos) que la muestra ocupaba en el suelo como se muestra en la Tabla 8, esta característica ayuda a saber el grado de compactación del suelo, porosidad, oxígeno y disponibilidad de agua (Rucks et al. 2004, Ramírez 1997).

Tabla 8. Clasificación de la densidad aparente en los suelos

Unidad de la (Da) g/cm ³	Clasificación
< 1,0	Muy bajo
1,0 – 1,2	Bajo
1,2 – 1,45	Medio
1,45 – 1,60	Alto
>1,60	Muy alto

Fuente: Cairo (1995)

Densidad Real

La relación entre peso seco de la muestra de suelo y volumen de los sólidos de la muestra sin considerar el espacio poroso en la densidad real. Esto de acuerdo con el tipo de suelo, la materia orgánica tiene una densidad real entre 2,5 y 2,6 g/cc, en suelos arcillosos o arenosos alcanza hasta 2,65 g/cc (Rucks et al. 2004).

Textura

Una propiedad relevante que influye en la fertilidad, drenaje, materia orgánica, aireación, capacidad de retener de agua y otras propiedades del suelo es la textura. La proporción de elementos no orgánicos en varios tamaños y formas como limo, arena y arcilla se refiere a la textura (FAO 2006).

La textura se refiere a la composición granulométrica, donde varias partículas minerales son diferenciadas por su tamaño, esto afecta directamente a las condiciones del suelo como la porosidad, a menor tamaño de las partículas del suelo, disminuye la porosidad (Jordán 2006).

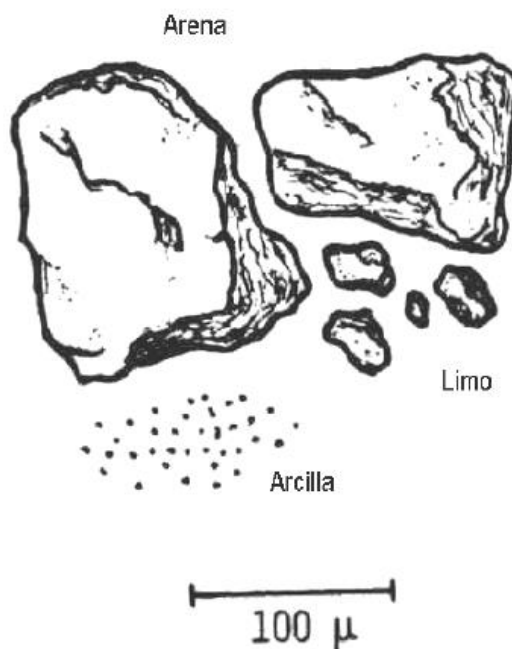
Para la clasificación por tamaño de partícula se han separado por lo menos en 3 denominaciones arcilla, limo y arena. Existen varios métodos de análisis para medir la granulometría. En este caso citaremos la establecida la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo y por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos en la Tabla 9 (Rucks et al. 2004)

Tabla 9. Clasificación de las partículas del suelo

	Sistema del Depto. De Agricultura de EE. UU.	Sistema Internacional
Fracción del Suelo	Diámetros limites en mm.	Diámetros limites en mm.
Arena muy gruesa	2,00 – 1,00	
Arena gruesa	1,00 – 0,50	2,00 – 0,20
Arena media	0,50 – 0,25	
Arena Fina	0,25 – 0,10	0,20 – 0,002
Arena muy fina	0,10 – 0,05	
Limo	0,05 – 0,002	0,02 – 0,002
Arcilla	Menos de 0,002	Menos de 0,002

Fuente: Rucks et al. (2004)

En la Figura 3 se presenta la relación en tamaño de las partículas arcilla, limo y arena.



Fuente: Rucks et al. (2004)

Figura 3. Relación en tamaño de las partículas de arena, limo y arcilla.

2.3 Definición de términos

- Suelo: Es una fina capa que recubre la superficie de la tierra y constituye el medio donde crecen las plantas, tiene la capacidad de proporcionar nutrientes esenciales para el crecimiento y retener agua en sus horizontes (INIA 2015).
- Propiedades físicas del suelo: Las propiedades físicas del suelo son textura, estructura, densidad, color, consistencia, temperatura, etc. Las cuales son de gran importancia y responsables del correcto desarrollo de las plantas (Ramírez 1997).
- Propiedades químicas del suelo: Las propiedades químicas del suelo son capacidad de intercambio catiónico, pH, porcentaje de saturación de bases, concentración de iones tóxicos, nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, potasio, etc. (Ramírez 1997).
- Macronutrientes del suelo: En el suelo se conoce a los macronutrientes básicamente porque existen en grandes cantidades como fósforo, magnesio, calcio, nitrógeno, potasio y azufre. Los cuales son importantes para la planta (DICTA 2016).
- Micronutrientes del suelo: Los micronutrientes están presentes en el suelo en mínimas cantidades como el zinc, sodio, cloro, molibdeno, hierro, manganeso y cobre (DICTA 2016).
- Acidificación: Es el proceso en cual el pH del suelo disminuye a consecuencia de la acumulación de H^+ y Al^{3+} en el suelo, también genera la disminución de cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ (FAO 2016).
- Materia orgánica: Es todo residuo animal o vegetal (raíces, hojas, tallos, etc.), que están en descomposición hasta elementos primarios o nutrientes en los primeros horizontes de la superficie del suelo (DICTA 2016).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de estudio

La presente investigación fue experimental aplicada, de temporalidad longitudinal.

3.2 Diseño de estudio

El diseño del estudio fue experimental factorial, con distribución completamente al azar. El experimento comprendió en determinar cuál de las fuentes correctivas o enmiendas tiene mejor resultado en la corrección de acidez del pH.

3.2.1 Variables

- Variables independientes:

X1 = tiempo de reacción

X2 = enmienda

X3 = dosis de la enmienda

- Variables dependientes:

Y1 = pH

3.2.2 Diseño experimental

El presente trabajo de investigación será un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de 4 x 4 x 4 y con 3 repeticiones. De tal manera se medirá el pH 192 veces.

3.2.3 Componentes de estudio

- a) Tiempo de reacción: (R)

15 días (R1)

45 días (R2)

90 días (R3)

135 días (R4)

b) Enmiendas

- Silicato Di-tricálcico
- Cal Agrícola
- Dolomita
- Roca fosfórica

c) Dosis de la enmienda

D1= D3(25%)

D2= D3(50%)

D3= Dosis teórica con relación al porcentaje de saturación de bases del suelo, al tipo de enmienda, la riqueza y granulometría

D4= D3(150%)

3.2.4 Tratamientos en estudio

Para un mejor entendimiento del experimento, se presenta en la Tabla 10 la clave de la terminología empleada, asimismo en la Tabla 11, se presentan los tratamientos realizados.

Tabla 10. Clave de tratamientos

Factores	Clave	Niveles	
Tiempo de reacción	R	15	R1
		45	R2
		90	R3
		135	R4
Enmienda	E	Cal Agrícola	E1
		Dolomita	E2
		Roca Fosfórica	E3
		Silicato di-tricálcico	E4
Dosis	D	D3(25%)	D1
		D3(50%)	D2
		Dosis teórica con relación al porcentaje de saturación de bases del suelo, al tipo de enmienda, la riqueza y granulometría	D3
		D3(150%)	D4

Tabla 11. Interacción y tratamiento R (tiempo de reacción) x E (enmienda) x D (dosis)

Tiempo de reacción (R)	Enmiendas (E)		Dosis (D)		Tratamiento
R1 15 DÍAS	E1	Silicato di-tricálcico	D1		T1
			D2		T2
			D3		T3
			D4		T4
	E2	Cal Agrícola	D1		T5
			D2		T6
			D3		T7
			D4		T8
	E3	Dolomita	D1		T9
			D2		T10
			D3		T11
			D4		T12
	E4	Roca Fosfórica	D1		T13
			D2		T14
			D3		T15
			D4		T16
R2 45 DÍAS	E1	Silicato di-tricálcico	D1		T17
			D2		T18
			D3		T19
			D4		T20

	E2	Cal Agrícola	D1		T21
			D2		T22
			D3		T23
			D4		T24
	E3	Dolomita	D1		T25
			D2		T26
			D3		T27
			D4		T28
	E4	Roca Fosfórica	D1		T29
			D2		T30
			D3		T31
			D4		T32
R3 90 DÍAS	E1	Silicato di-tricálcico	D1		T33
			D2		T34
			D3		T35
			D4		T36
	E2	Cal Agrícola	D1		T37
			D2		T38
			D3		T39
			D4		T40
	E3	Dolomita	D1		T41
			D2		T42
			D3		T43
			D4		T44
	E4	Roca Fosfórica	D1		T45
			D2		T46
			D3		T47
			D4		T48
R4 135 DÍAS	E1	Silicato di-tricálcico	D1		T49
			D2		T50
			D3		T51
			D4		T52
	E2	Cal Agrícola	D1		T53
			D2		T54
			D3		T55
			D4		T56
	E3	Dolomita	D1		T57
			D2		T58
			D3		T59
			D4		T60
	E4	Roca Fosfórica	D1		T61
			D2		T62
			D3		T63
			D4		T64

Distribución de los tratamientos

Tratamiento en estudio: Resultado de la factorial 4 (tiempo de tiempos de reacción) x 4 (enmiendas) x 4 (dosis) = 64 tratamientos.

Claves	Detalles
T1:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D1
T2:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D2
T3:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D3
T4:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D4
T5:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Cal Agrícola con D1
T6:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Cal Agrícola con D2
T7:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Cal Agrícola con D3
T8:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Cal Agrícola con D4
T9:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Dolomita con D1
T10:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Dolomita con D2
T11:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Dolomita con D3
T12:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Dolomita con D4
T13:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Roca fosfórica con D1
T14:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Roca fosfórica con D2
T15:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Roca fosfórica con D3
T16:	T. de reacción de 15 días, con enmienda Roca fosfórica con D4
T17:	T. de reacción de 45 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D1
T18:	T. de reacción de 45 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D2
T19:	T. de reacción de 45 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D3
T20:	T. de reacción de 45 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D4
T21:	T. de reacción de 45 días, con enmienda Cal Agrícola con D1

- T22: T. de reacción de 45 días, con enmienda Cal Agrícola con D2
- T23: T. de reacción de 45 días, con enmienda Cal Agrícola con D3
- T24: T. de reacción de 45 días, con enmienda Cal Agrícola con D4
- T25: T. de reacción de 45 días, con enmienda Dolomita con D1
- T26: T. de reacción de 45 días, con enmienda Dolomita con D2
- T27: T. de reacción de 45 días, con enmienda Dolomita con D3
- T28: T. de reacción de 45 días, con enmienda Dolomita con D4
- T29: T. de reacción de 45 días, con enmienda Roca fosfórica con D1
- T30: T. de reacción de 45 días, con enmienda Roca fosfórica con D2
- T31: T. de reacción de 45 días, con enmienda Roca fosfórica con D3
- T32: T. de reacción de 45 días, con enmienda Roca fosfórica con D4
- T33: T. de reacción de 90 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D1
- T34: T. de reacción de 90 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D2
- T35: T. de reacción de 90 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D3
- T36: T. de reacción de 90 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D4
- T37: T. de reacción de 90 días, con enmienda Cal Agrícola con D1
- T38: T. de reacción de 90 días, con enmienda Cal Agrícola con D2
- T39: T. de reacción de 90 días, con enmienda Cal Agrícola con D3
- T40: T. de reacción de 90 días, con enmienda Cal Agrícola con D4
- T41: T. de reacción de 90 días, con enmienda Dolomita con D1
- T42: T. de reacción de 90 días, con enmienda Dolomita con D2
- T43: T. de reacción de 90 días, con enmienda Dolomita con D3
- T44: T. de reacción de 90 días, con enmienda Dolomita con D4
- T45: T. de reacción de 90 días, con enmienda Roca fosfórica con D1

- T46: T. de reacción de 90 días, con enmienda Roca fosfórica con D2
- T47: T. de reacción de 90 días, con enmienda Roca fosfórica con D3
- T48: T. de reacción de 90 días, con enmienda Roca fosfórica con D4
- T49: T. de reacción de 135 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D1
- T50: T. de reacción de 135 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D2
- T51: T. de reacción de 135 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D3
- T52: T. de reacción de 135 días, con enmienda Silicato di-tricálcico con D4
- T53: T. de reacción de 135 días, con enmienda Cal Agrícola con D1
- T54: T. de reacción de 135 días, con enmienda Cal Agrícola con D2
- T55: T. de reacción de 135 días, con enmienda Cal Agrícola con D3
- T56: T. de reacción de 135 días, con enmienda Cal Agrícola con D4
- T57: T. de reacción de 135 días, con enmienda Dolomita con D1
- T58: T. de reacción de 135 días, con enmienda Dolomita con D2
- T59: T. de reacción de 135 días, con enmienda Dolomita con D3
- T60: T. de reacción de 135 días, con enmienda Dolomita con D4
- T61: T. de reacción de 135 días, con enmienda Roca fosfórica con D1
- T62: T. de reacción de 135 días, con enmienda Roca fosfórica con D2
- T63: T. de reacción de 135 días, con enmienda Roca fosfórica con D3
- T64: T. de reacción de 135 días, con enmienda Roca fosfórica con D4

3.2.5 Características del campo experimental

Nº de tratamientos	:64
Nº repeticiones	:03
Nº de lectura/repetición/tiempo	:01

3.2.6 Factores de estudio

Factor R: Tiempo de reacción de la enmienda aplicada al suelo

R1: 15 días

R2: 45 días

R3: 90 días

R4: 135 días

Factor E: Enmiendas

E1: Silicato di-tricálcico

E2: Cal agrícola

E3: Dolomita

E4: Roca Fosfórica

Factor D: Dosis de las enmiendas

D1: 25%(D3)

D2: 50%(D3)

D3: Dosis teórica. Estimada mediante la ecuación 3. (Los cálculos se realizaron una vez obtenida los resultados de la caracterización de la muestra de suelo y la composición química de los cuatro tipos de enmiendas correctivas).

D4: 150% de (D3)

$$\text{Enmienda (t/ha)} = \frac{1,5(\% \text{sat Al del analisis} - \% \text{sat Al Max. del cultivo})}{100} \times CIC \times \frac{100}{PRNT} \quad (3)$$

$CICe = \text{suma de cationes Intercambiables (meq/100 g)} (\text{Análisis})$

$$Sat. Al = \frac{Al \text{ intercambiable}}{CICe} \times 100$$

$$PRNT = \frac{ERG \times VN}{100} \times \frac{(100 - CH\%)}{100}$$

$$ERG = \left(\frac{\% r \text{ Mesh de 20}}{100} \times 20 \right) + \left(\frac{\% r \text{ Mesh de 60}}{100} \times 40 \right) + \left(\frac{\% \text{ Mesh} > \text{de 60}}{100} \times 100 \right)$$

$$VN = \frac{\text{Riqueza de producto} \times \text{Equiv. Químico}}{100}$$

Donde:

t/ha = Toneladas por hectárea para una profundidad de 20 cm y una Da de 1333 kg/m³.

CICe = Capacidad de Intercambio Catiónico efectivo.

PRNT = Poder Relativo de Neutralización Total.

ERG = Eficiencia Relativa Granulométrica (conocido también como velocidad de reacción).

VN = Valor Neutralizante de la Enmienda.

CH = Contenido de humedad del producto enmienda en %.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

Para la presente investigación la población comprende los suelos ácidos del sector km 70 carretera interoceánica Puerto Maldonado - Cusco, específicamente al frente del parador turístico familia Méndez, Coordenadas UTM Datum Horizontal WGS Zona 19S Este 418108; Norte 8575956 (Anexo 3).

3.3.2 Muestra

En el punto 3.4.1 se indica como se obtuvo la muestra

3.4.3 Lugar de ejecución del experimento

La experimentación se llevó a cabo en el Taller de Silvicultura de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD). La incubación de las muestras de suelo se realizó en el km 16 vivero UNAMAD. La cual pertenece a la escuela profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente.

3.4 Métodos y técnicas

3.4.1 Obtención de las muestras

Identificación de área

La zona donde se identificó el suelo ácido fue en un bosque secundario en el parador turístico familia Méndez ubicado en la carretera interoceánica km 70,

a 40 m margen izquierdo, del distrito de Inambari, provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios, tomando como ruta Puerto Maldonado - Cusco, en la cual se extrajo la muestra inicial que tuvo mayor acidez que otras zonas y sirvió para toda la investigación.

Extracción de muestras de suelo

Para la extracción del suelo en zig – zag en 1 hectárea se utilizó una lampa tipo corte y 2 sacos, primero cuidadosamente se retiró la cobertura vegetal del área y el primer horizonte del suelo compuesto por materia orgánica en descomposición, en segundo lugar, se extrajo a una profundidad máxima de 20 cm, seguidamente se homogenizo y eliminó los residuos vegetales para colocarlo en 2 sacos y trasladarlo al Taller de silvicultura ubicado en el km 16 Vivero UNAMAD “Fundo el Bosque”. En total se obtuvo aproximadamente 80 kg de suelo húmedo.

Acondicionamiento de las muestras

Después de la obtención de la muestra aproximada de 80 kg suelo, en el laboratorio de suelos se demolió los agregados grandes y se procedió a la eliminación de hojas, raíces y otros agregados propios del suelo, posteriormente se hizo secar el suelo a temperatura ambiente durante 3 semanas moviendo cada 2 días de ubicación, después de homogenizarse, nuevamente se eliminó las hojas, raíces y otros agregados que todavía quedaron.

Caracterización de la muestra de suelo

Del volumen de suelo obtenido se extrajo una muestra de 1 kg y se envió al laboratorio de química agrícola Valle Grande – Ica para la caracterización respectiva.

3.4.2 Obtención de las enmiendas

Las enmiendas en estudio, cal agrícola, dolomita y roca fosfórica se compraron en una agroveterinaria, el silicato di-tricálcico (cemento) se compró en una ferretería, luego todo el material en estudio se trasladó al Taller de silvicultura ubicado en el km 16 vivero UNAMAD “Fundo el Bosque”. En el

anexo 6 se presentan los precios de los insumos al momento de inicio de la investigación.

3.4.3 Análisis químico de las enmiendas

A fin de conocer con precisión los componentes de las enmiendas utilizadas, se envió a analizar en el laboratorio de suelos de Química Agrícola Valle Grande de Cañete el contenido porcentual de óxido de calcio (CaO), óxido de Magnesio (MgO) y el potencial Neutralizantes, asimismo en el taller de Silvicultura se realizó la evaluación de granulometría (Tabla 12,13,14,15).

Características del Material Encalante

Silicato di-tricálcico (cemento)

Tabla 12. Análisis químico de enmienda Silicato Di-tricalcico

Parámetro	Resultado	Unidad	Granulometría
Calcio Total CaO	42,81	%	100Mesh:100%
Magnesio Total MgO	2,01	%	
Potencial de Neutralización	2,28	mEq-g (H)	

Fuente: Análisis de laboratorio. Anexo 6.

Cal agrícola

Tabla 13. Análisis químico de enmienda Cal agrícola

Parámetro	Resultado	Unidad	Granulometría
Calcio Total CaO	41,00	%	20Mesh:14,26% 60Mesh:17,2%
Magnesio Total MgO	2,67	%	
Potencial de Neutralización	1,90	mEq-g (H)	100Mesh:68,54%

Fuente: Análisis de laboratorio. Anexo 7.

Dolomita

Tabla 14. Análisis químico de enmienda Dolomita

Parámetro	Resultado	Unidad	Granulometría
Calcio total CaO	30,76	%	100Mesh:100%
Magnesio Total MgO	14,87	%	
Potencial de Neutralización	2,51	mEq-g (H)	

Fuente: análisis de laboratorio. Anexo 8.

Roca Fosfórica

Tabla 15. Análisis químico de enmienda Roca fosfórica

Parámetro	Resultado	Unidad	Granulometría
Calcio Total CaO	26,70	%	20Mesh:18% 60Mesh:23,4% 100Mesh:58,6
Magnesio Total MgO	0,74	%	
Fosforo Total	18,13	%	
Potencial de Neutralización	0,31	mEq-g (H)	

Fuente: Análisis de laboratorio. Anexo 9.

3.4.4 Instalación del experimento

Para la instalación de los tratamientos se procedió de la siguiente forma:

- 1) Se peso en la balanza digital 48 unidades conformado por 1000 g de suelo seco.
- 2) Se peso las 4 dosis de cada enmienda por tratamiento. (estos cálculos se realizaron una vez obtenido los análisis de composición química de las enmiendas y la caracterización de la muestra representativa de suelo Tabla 16).

Tabla 16. Dosis de cada enmienda

Enmienda	Dosis	g/kg de suelo	Equivalente a t/ha.
Silicato di-tricálcico	D1	1,06	2,82
	D2	2,11	5,64
	D3	4,23	11,27
	D4	6,34	16,91
Cal agrícola	D1	1,38	3,67
	D2	2,76	7,35
	D3	5,51	14,69
	D4	8,27	22,04
Dolomita	D1	0,94	2,50
	D2	1,88	5,00
	D3	3,75	10,01
	D4	5,63	15,01
Roca fosfórica	D1	2,43	6,48
	D2	4,86	12,95
	D3	9,72	25,91
	D4	14,58	38,86

Fuente: Anexo 4; Da. suelo= 1333 kg/m³

- 3) Se mezcló homogéneamente los 1000 g de suelo con las cantidades de las enmiendas de acuerdo con las dosis respectivas.
- 4) Se humedeció la mezcla con agua destilada hasta capacidad de campo.
- 5) Se puso la mezcla húmeda en la bolsa Ziploc con sello hermético.
- 6) Se identificó con un plumón permanente cada bolsa Ziploc con códigos que identifique la enmienda, tratamiento, dosis y repetición.

Incubación

La incubación se realizó en bolsas Ziploc con sello hermético por un tiempo total 135 días, en este lapso a los 15, 45, 90 y 135 días se hizo las mediciones de pH respectivamente en el laboratorio de suelos del taller de silvicultura km 16 vivero UNAMAD "Fundo el Bosque" ruta Iñapari. La incubación se desarrolló a temperatura ambiente. Sin embargo, en la última medición de pH a los 135 días se ejecutó además una caracterización completa a las muestras D3 y D3(150%) de cada tratamiento. Esto se realizó en el laboratorio de química agrícola Valle Grande - Ica.

Calibración del Potenciómetro Boeco – PT 380

La metodología para calibrar fue de acuerdo con la indicación del manual de usuario la cual sigue los siguientes pasos:

1. enjuague las sondas de pH y ATC con agua destilada.
2. sumergir en la solución tampón (6,86) hasta que la lectura de temperatura se estabilice, luego presionar y sostener la tecla STAND durante 2 segundos y esperar hasta que se estabilice la lectura y el icono WAIT deje de parpadear, una vez que se calibre aparecerá el icono SLOPE.
3. enjuague las sondas de pH y ATC con agua destilada.
4. sumergir en la solución tampón (4,01) hasta que la lectura de temperatura se estabilice, luego presionar y sostener la tecla SLOPE durante 2 segundos y esperar hasta que el icono WAIT deje de parpadear. Luego presione la tecla MEA/EFF para empezar a medir el pH.

Medición de pH en diferentes periodos en relación 1:1 (p/v).

La metodología para determinar el pH actual del suelo fue la recomendada por Plasencia (2017), la misma que comprende del siguiente protocolo:

1. Pesar 13,33 g de suelo húmedo en un vaso precipitado de 50 ml.
2. Adicionar 6,66 ml de agua destilada.
3. Agitar intermitentemente durante 1 minuto con la vagueta de vidrio.
4. Se deja en reposo 1 hora.
5. Agitar intermitentemente de nuevo durante 1 minuto para medir a continuación el pH con el electrodo.
6. Anotar en el formato de hoja de datos los resultados de pH de cada tratamiento, dosis y repetición.

3.5 Tratamiento de los datos

Después de haber obtenido los datos, se analizaron a través de pruebas estadísticas como estadística descriptiva y analítica utilizando el software estadístico R-studio v 4,05. En el cual se realizará el análisis de varianza (ANVA), de existir significancia se procederá a realizar la comparación de medias SNK.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En el análisis de varianza se encontró diferencias significativas en las enmiendas, dosis de las enmiendas, tiempos de reacción, interacción de los factores (enmiendas y dosis de la enmienda) e interacción de dos factores (enmienda y tiempo de reacción). El coeficiente de variación del pH fue de 2,18%, considerándose excelente, demostrando la confiabilidad de un buen manejo de campo experimental (Tabla 17).

Tabla 17. Análisis de varianza de tres factores en la corrección del pH del suelo (ANOVA).

Fuentes de variación	GL	SQ	QM	P-valor
Efecto de las enmiendas	3	15,026	5,009	p < 0,05
Efecto de las dosis	3	25,005	8,335	p < 0,05
Efecto del tiempo de reacción	3	1,174	0,391	p < 0,05
Efecto entre enmiendas x dosis	9	7,582	0,842	p < 0,05
Efecto entre enmiendas x T. reacción	9	0,713	0,079	p < 0,05
Efecto entre dosis de enmienda x T. reacción	9	0,12	0,013	p > 0,05
Efecto entre enmiendas x dosis x T. reacción	27	0,303	0,011	p > 0,05
Error	128	1,608	0,013	
CV (%)	2,18			

* CV = coeficiente de variación.

4.1 Efecto de las enmiendas

Según la pos prueba de medias de Student-Newman-Keuls (SNK) con un nivel de significancia del 5%, indica que la enmienda con mayor efecto en la corrección del pH fue la enmienda Dolomita (pH 5,39), siendo estadísticamente superiores a las demás enmiendas (Figura 4, Tabla 18).

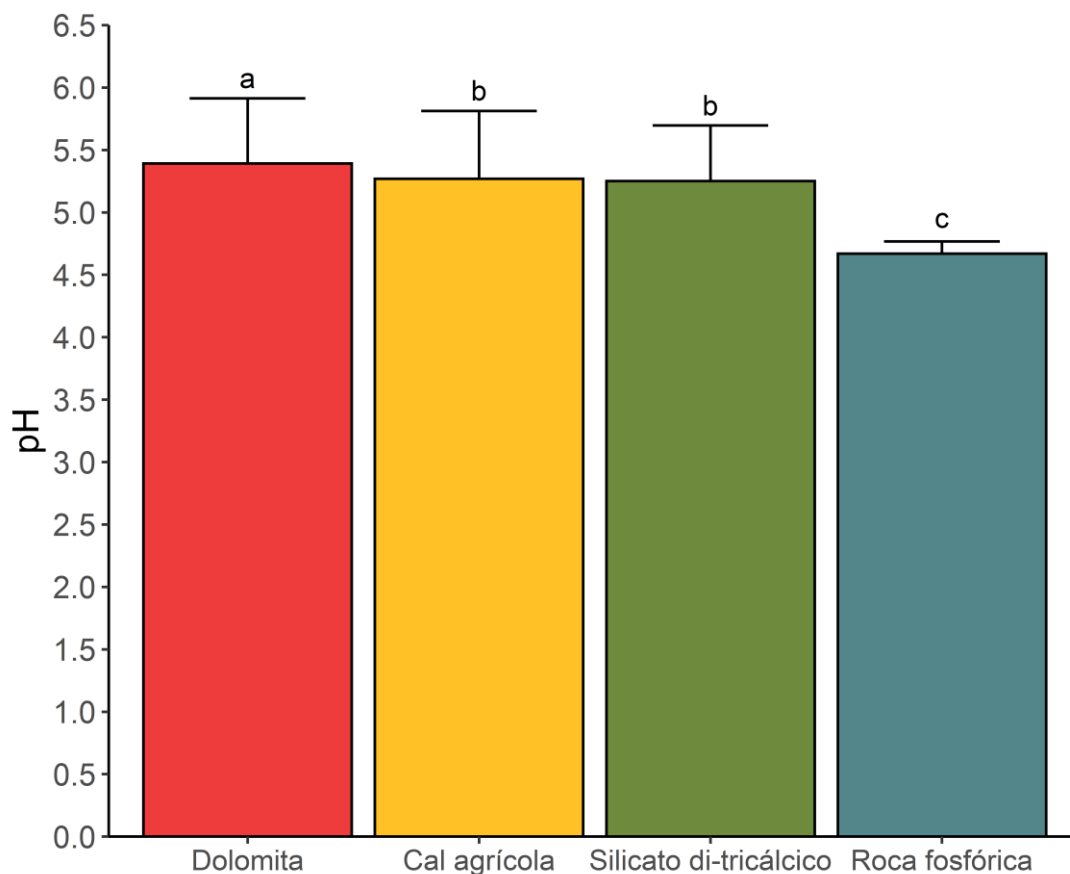


Figura 4. Efecto de enmiendas en la corrección de pH del suelo

Tabla 18. Pos prueba de medias de SNK para las enmiendas

Enmiendas	pH		
Dolomita	5,39	a	b
Cal agrícola	5,27		
Cemento	5,25		
Roca fosfórica	4,67		c

Los resultados del presente estudio indican que si hubo efecto sobre el pH con la aplicación de las enmiendas: la dolomita aumento el pH a 5,39 y la cal agrícola aumento a 5,27. Los resultados tienen relación comparando con lo reportado Cruzado (2017) donde la dolomita aumento el pH a 5,15, mientras la cal agrícola a 4,98. Esto puede deberse a la metodología aplicada en la investigación mencionada. De misma manera, Castro (2010) aplicó variadas dosis de dolomita para corregir problemas de acidez del suelo aumentando el pH hasta 5,5 en condiciones de vivero; además Ortiz (2008) citado por Ricse

(2018) menciona que las enmiendas que tienen Ca y Mg en su composición reducen los problemas de acidez y del mismo modo la toxicidad del aluminio.

4.2 Efecto de las dosis

Según la pos prueba de medias de Student-Newman-Keuls (SNK) con un nivel de significancia del 5%, indica que la dosis de enmienda con mayor efecto en la corrección del pH fue la dosis D4 (pH 5,7), siendo estadísticamente superiores a las demás dosis (Figura 5, Tabla 19).

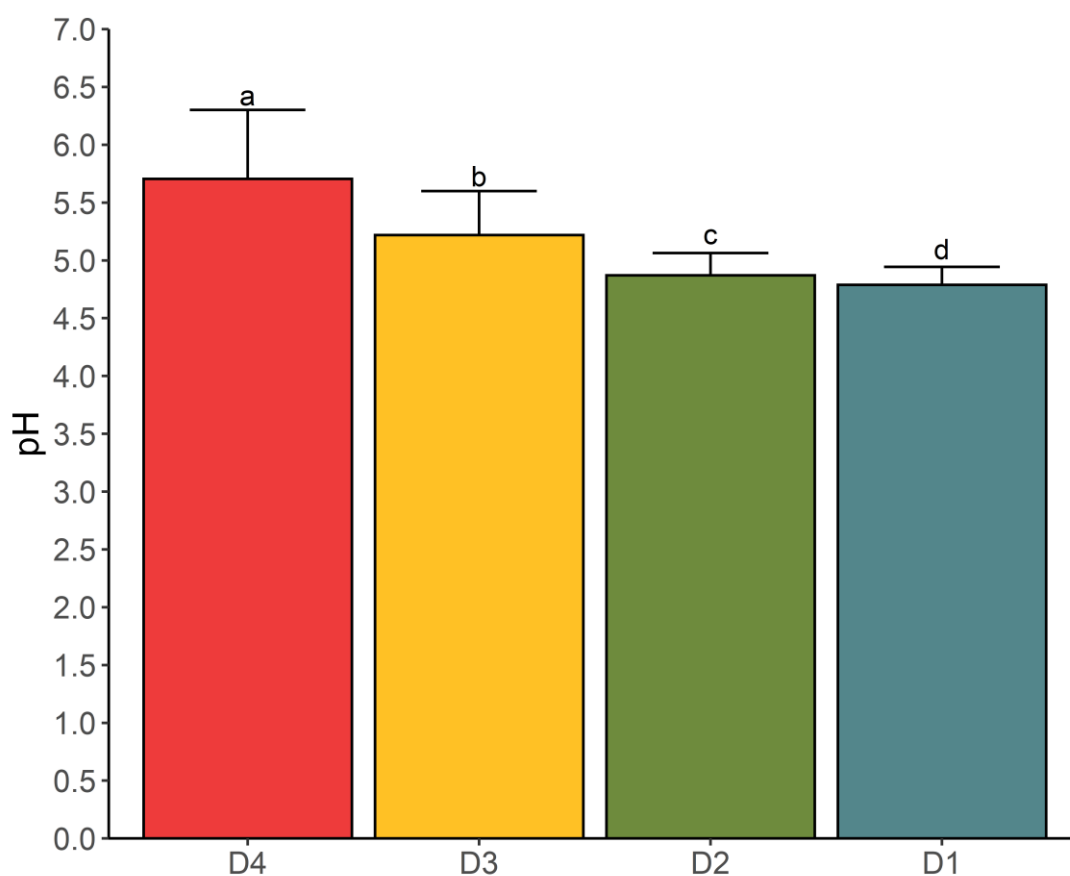


Figura 5. Efecto de la dosis de enmiendas en la corrección del pH del suelo

Tabla 19. Pos prueba de medias de SNK para las dosis de enmiendas

Dosis de enmiendas	pH	
D4	5,70	a
D3	5,22	b
D2	4,87	c
D1	4,79	d

El cemento contiene en su composición química CaO 42,81% y MgO 2,01% (anexo 7) y que según Ortiz (2008) citado por Ricse (2018) indica que tanto el

CaO y el MgO disminuyen la acidez y el porcentaje de saturación de la acidez intercambiable de un suelo ácido, en este sentido Acosta (1984) explica que los iones H^+ resultado de la hidrólisis de ($Al^{3+} > 1,5 \text{ cmol kg}^{-1}$) reacciona con el Ca^{++} disminuyendo su efecto sobre el pH.

4.3 Efecto del tiempo de reacción

Según la pos prueba de medias de Student-Newman-Keuls (SNK) con un nivel de significancia del 5%, indica que el tiempo de reacción con mayor efecto en la corrección del pH fue el tiempo R3 (pH 5,21), siendo estadísticamente similares R2 y R1, y superior a R4 (Figura 6, Tabla 20).

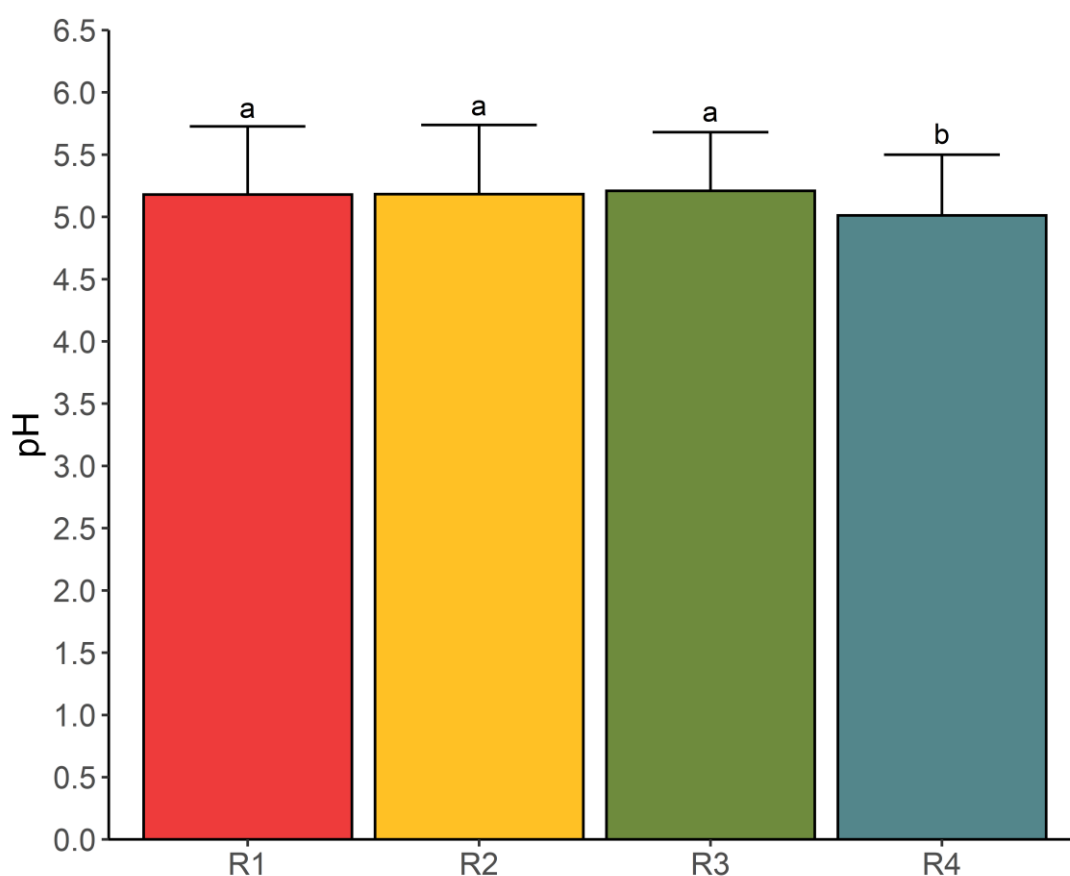


Figura 6. Efecto de los tiempos de reacción en la corrección de pH del suelo

Tabla 20. Pos prueba de medias de SNK para los tiempos de reacción

Tiempo de reacción	pH	
R3	5,21	a
R2	5,18	a
R1	5,18	a
R4	5,01	b

Los resultados obtenidos nos muestran que las enmiendas reaccionan inmediatamente a los 15, es decir que a este tiempo ya se podría dar uso a los suelos para instalar cultivos; sin embargo, Correa (1986) citado por Castro (2010), encontró una mejor respuesta de pH a los 120 días de incubación y que Bernier (1999) sugiere, para casos de suelos fuertemente ácidos, la incorporación de calcáreos sea con tres meses de anticipación.

4.4 Efecto entre enmiendas y dosis

La interacción entre las enmiendas y dosis demostraron que la enmienda dolomita con la dosis D4 tuvieron un mayor efecto en la corrección del pH del suelo (pH 6,11) siendo estadísticamente similar a cal con D4 (pH 6,08) y estadísticamente superiores a las demás interacciones de enmiendas con dosis (Tabla 21, Figura 7).

Tabla 21. Comparación de medias entre las interacciones de enmiendas con dosis

Enmiendas x Dosis	pH	
dolomita: D4	6,11	a
cal agrícola: D4	6,08	a
Silicato di-tricálcico: D4	5,89	b
dolomita: D3	5,55	c
cal agrícola: D3	5,38	d
Silicato di-tricálcico: D3	5,30	d
dolomita: D2	5,04	e
Silicato di-tricálcico: D2	4,97	e
dolomita: D1	4,87	f
cal agrícola: D2	4,86	f
Silicato di-tricálcico: D1	4,84	f
cal agrícola: D1	4,76	fg
Roca fosfórica: D4	4,73	gh
Roca fosfórica: D1	4,68	gh
Roca fosfórica: D3	4,65	gh
Roca fosfórica: D2	4,62	h

Mientras que la interacción entre la enmienda Roca fosfórica con la dosis D2 fueron los que presentaron bajo efecto en la corrección del pH (pH 4,62) (Tabla 21, Figura 7).

Asimismo, de la Tabla 21 y Figura 7, se deduce que con los tratamientos 3 y 4 se logran un pH superior a 5, y según Garzón (2004) indica que a estos

niveles los hidróxidos de Al alcalinos no son solubles y precipitan con mayor facilidad. Por lo tanto, no están o es poco la disponibilidad para las plantas, en conclusión, no existe efecto significativo. El efecto de la toxicidad del aluminio en las plantas altera el desarrollo y elongación de las raíces y como consecuencia afecta en la absorción de agua y nutrientes (INTAGRI 2016).

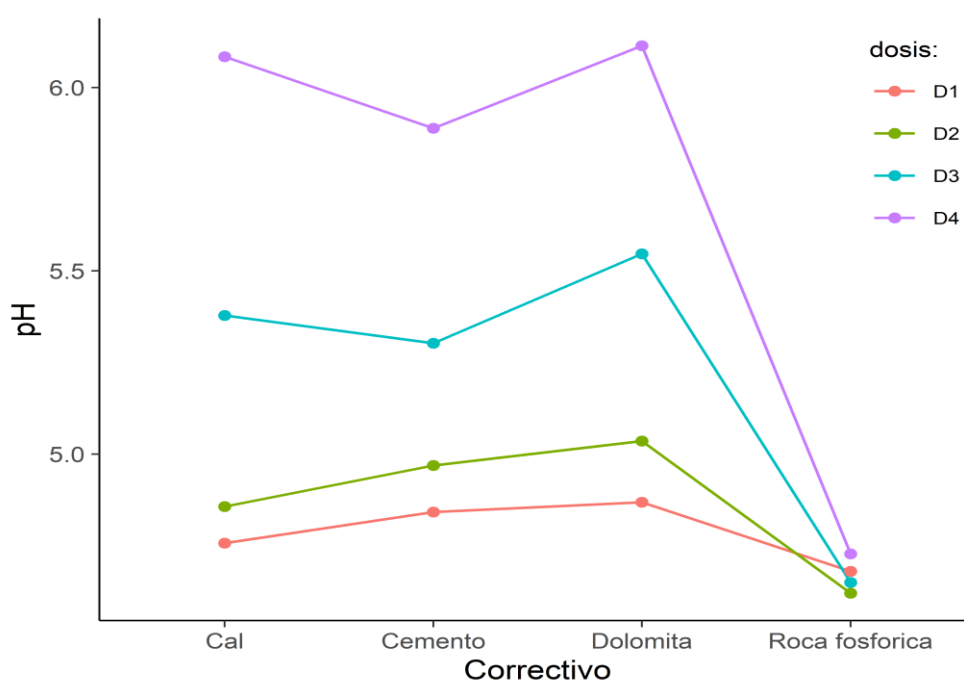


Figura 7. Interacción entre las enmiendas con dosis

4.5 Efecto entre enmiendas y tiempo de reacción

La interacción entre la enmienda y el tiempo de reacción demostraron que la enmienda dolomita con el tiempo de reacción R1 tuvieron un mayor efecto en la corrección del pH del suelo (pH 5,49) siendo estadísticamente similar a dolomita y R2 (pH 5,48) y dolomita y R3 (pH 5,45) y estadísticamente superiores a las demás interacciones de enmienda y tiempos de reacción (Tabla 22).

Tabla 22. Comparación de medias entre las interacciones de enmienda y dosis

Efecto de las enmiendas x tiempo de reacción	pH	
dolomita: R1	5,49	a
dolomita: R2	5,48	a
dolomita: R3	5,45	a
Silicato di-tricálcico: R1	5,33	b
Silicato di-tricálcico: R3	5,32	b
Silicato di-tricálcico: R2	5,32	b
cal agrícola: R3	5,3	b
cal agrícola: R1	5,29	b
cal agrícola: R2	5,26	bc
cal agrícola: R4	5,23	bc
dolomita: R4	5,15	c
Silicato di-tricálcico: R4	5,04	d
Roca fosfórica: R3	4,77	e
Roca fosfórica: R2	4,67	f
Roca fosfórica: R4	4,63	f
Roca fosfórica: R1	4,61	f

En la Tabla 23, se visualiza que, con las diferentes enmiendas, se han mejorado el pH, el Contenido de Ca y Mg y prácticamente se ha eliminado el aluminio. Con el silicato di-tricálcico (cemento) se redujo significativamente el P.A.I. de 81,66 % a 0,67 % (dosis 4). En términos generales la capacidad de la enmienda silicato di-tricálcico supera a la roca fosfórica y cal agrícola más no a la dolomita, en este sentido, concuerda con los resultados de Castro (2010), en el sentido que a mayor pH menor presencia de Aluminio en el suelo. No obstante, la presencia de elevado contenido de Al en los suelos evita el desarrollo natural de las raíces con lo que minimiza la absorción agua y nutrientes (Salinas 1981); sin embargo, el aluminio en pequeñas cantidades es benéfico para la fotosíntesis, pero es tóxico a concentraciones mayores Foy et al. (1978). Por consiguiente, estos resultados nos demuestran que el silicato di-tricálcico cumple con el propósito de poder utilizarse como enmienda de los suelos ácidos, con el adicional, de ser un insumo 3 veces más barato que la cal y 2 veces más barato que la dolomita y la roca fosfórica aproximadamente (anexo 6).

Tabla 23. Resultados de caracterización del suelo inicial y con la aplicación de las enmiendas a los 135 días de reacción de los tratamientos 3 y 4 de cada enmienda.

PARÁMETRO	Caracterización Inicial	Silicato Di-tricalcico		Cal Agrícola		Dolomita		Roca Fosfórica		UNIDAD
		CE T4	CE T3	CA T4	CA T3	DT 4	DT 3	RT4	RT3	
Carbonato de Calcio Total	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	%
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 C	0,15	1,62	1,27	3,36	2,39	1,49	1,13	2,25	1,86	dS/m
pH (1/1)	4,14	5,51	4,92	6,15	5,13	5,53	5,12	4,49	4,43	pH
Fósforo Disponible	1,80	5,20	5,20	3,40	4,20	3,40	4,20	250,80	212,00	ppm
Materia Orgánica	2,72	2,83	2,55	2,21	2,59	2,28	2,41	2,69	2,72	%
Potasio Disponible	44,80	58,6	46,40	44,20	40,60	38,80	40,20	43,20	42,20	ppm
Cationes Cambiables										
Calcio	0,61	9,75	5,90	12,30	8,65	6,45	4,94	5,92	5,28	mEq/100 g
Magnesio	0,26	0,70	0,56	0,80	0,80	2,97	2,60	0,49	0,53	mEq/100 g
Sodio	0,26	0,38	0,35	0,37	0,31	0,33	0,31	0,95	0,74	mEq/100 g
Potasio	0,11	0,15	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	mEq/100 g
Aluminio + Hidrogeno	5,52	0,07	0,67	0,15	0,15	0,07	0,44	1,70	2,22	mEq/100 g
P.A.I	81,66	0,67	8,77	1,08	1,48	0,75	5,29	18,56	25,01	%
C.I.C.E	6,76	11,05	7,60	13,72	10,02	9,93	8,39	9,18	8,88	mEq/100 g

P.A.I. = Porcentaje de acidez intercambiable

C.I.C.E = Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo

CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis del efecto comparativo del silicato di-tricálcico (cemento), con la cal agrícola, dolomita y roca fosfórica en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios. Se determinó que el silicato di-tricálcico, dolomita, cal agrícola y roca fosfórica tuvieron efecto positivo en el pH a mayor dosis, en el caso del efecto en el tiempo de reacción fue mejor a los 90 días de la aplicación de la enmienda. Por otro lado, el silicato di-tricálcico tuvo mejor efecto sobre el pH la dosis 4 aumentando a 5,89.

A nivel de tratamiento 4 la dolomita presenta diferencia significativa en corrección del pH respecto al Silicato di-tricálcico, 6,11 y 5,89 respectivamente. Sin embargo, supera el 5,5 de pH, con la cual se disminuye sustancialmente la toxicidad del Al^{3+} .

A nivel de tratamiento 4 la cal agrícola presenta diferencia significativa en corrección del pH respecto al Silicato di-tricálcico, 6,08 y 5,89 respectivamente. Sin embargo, supera el 5,5 de pH, con la cual se disminuye sustancialmente la toxicidad del Al^{3+} .

A nivel de tratamiento 4 el silicato di-tricálcico presenta diferencia significativa en corrección del pH respecto a la Roca fosfórica, 5,89 y 4,73 respectivamente, superando el 5,5 de pH, con la cual se disminuye sustancialmente la toxicidad del Al^{3+} .

SUGERENCIAS

Considerando el efecto de las dosis, enmienda y tiempo de reacción sobre el pH, se recomienda realizar la presente investigación en campo utilizando una especie forestal o agrícola en un suelo ácido.

La presente investigación se realizó en un suelo franco arcilloso. Se recomienda realizar el estudio sobre el pH del suelo en otra clasificación textural de tipo de suelo de diferentes zonas de la región.

En próximos estudios se recomienda evaluar el efecto del pH sobre el bromuro de metilo y cadmio. Este último debido a que existe alta concentración en plantas de importancia comercial para la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHUNG RODRIGUEZ, F., 1995. El recurso del suelo en la Amazonia Peruana, diagnostico para su investigación. (IIAP Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana). , vol. 14, pp. 59.
- AQM LABORATORIOS, 2015. Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos - AQM Laboratorios AQM Laboratorios. [en línea]. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: <http://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>.
- BENITES, J.R., 1983. Suelos de la Amazonia Peruana: Su Potencial de Uso y de Desarrollo. S.l.: s.n.
- BERNIER, R. and ALFARO, M., 2006. Acidez De Los Suelos Y Efectos Del Encalado (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 2006. S.l.: s.n.
- BERNIER V, R., 1999. Curso de Capacitación para Operadores del Programa de Recuperación de Suelos Degradados INDAP, X región [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 30 May 2022]. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/8523>.
- BIOAGGIL, 2009. Importancia del pH de la solución del suelo. ,
- C. D, F., R. L, C. and M.C WHITE, 1978. The Physiology of Metal Toxicity in Plants. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.pp.29.060178.002455> [en línea], vol. 29, no. 1, pp. 511–566. [Consulta: 30 May 2022]. ISSN 0066-4294. DOI 10.1146/ANNUREV.PP.29.060178.002455. Disponible en: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.pp.29.060178.002455>.
- CAIRO CAIRO, P.I., 1995. Fertilidad Física del Suelo y la Agricultura Orgánica en el Trópico. [en línea]. [Consulta: 26 November 2021]. Disponible en: <https://www.buscalibre.pe/libro-la-fertilidad-fisica-del-suelo-y-la-agricultura-organica-en-el-tropico-la-agricultura-organica-en-el-tropico-tiene-como-objetivo-lograr-la-formacion-de-la-bioestructura-del-suelo/9783659090066/p/48880812>.

- CASTRO FABIAN, J.C., 2010. Efecto de diferentes dosis de dolomitas en la neutralización del aluminio intercambiable en un suelo muy ácido de SUPTE San Jorge (UNAS Universidad Agraria de la Selva). S.l.: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- CASTRO, H. and MUNEVAR, Ó., 2013. Mejoramiento Químico De Suelos Ácidos Mediante El Uso Combinado De Materiales Encalantes. Cient, vol. 16, no. 2, pp. 409–416.
- CASTRO, H.E., GOMEZ, M.I., MUNÉVAR, O.E. and HERNÁNDEZ, D.M., 2006. Diagnóstico y control de la acidez en suelos sulfatados ácidos en el distrito de riego del alto chicamocha (boyac) mediante pruebas de incubación. , vol. 24, no. 1, pp. 122–130.
- CIA, 2014. Determinación de pH en suelos (CIA Centro de Investigaciones Agronómicas). S.l.: s.n.
- CRUZADO MEDINA, D.L., 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 [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: [http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3024/ADMINISTRACION - Pamela Jhosymar Valles Vásquez %26 Martha Ruth Guerra Pinedo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3024/ADMINISTRACION-Pamela-Jhosymar-Valles-Vásquez-%26-Martha-Ruth-Guerra-Pinedo.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- DIRECCIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (DICTA), 2016. Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de honduras. S.l.: s.n. ISBN 9789292486631.
- ESPINOSA, J. and MOLINA, E., 1999. Acidez y encalado de los suelos. Ipni. International Plant Natural Institute, vol. 1, pp. 46.
- FAO, 2006. Propiedades Físicas del Suelo. [en línea]. [Consulta: 26 November 2021]. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>.
- FAO, 2016. Acidificación del suelo (FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). , pp. 1–2.

FERTILAB, 2015. Calidad de los Materiales Encalantes. , no. cuadro 1, pp. 1–4.

GARBANZO LEON, G., MOLINA ROJAS, E. and CABALCETA AGUILAR, G., 2016. Efecto de la aplicación de enmiendas líquidas en el suelo y en el crecimiento de maíz bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, vol. 40, no. 2, pp. 52.

GARZÓN LÓPEZ, T., 2004. Estudio de la compartimentación celular en plantas modelo sometidas a estrés por aluminio [en línea]. S.l.: Universidad Autónoma de Barcelona. [Consulta: 13 November 2021]. Disponible en: <http://www.tdx.cat/handle/10803/3661>.

GUILLERMO, M., MABEL, V., TERMINIELLO, A. and DIEGO, S.S., 2010. Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana. *Ciencia del Suelo*, vol. 28, no. 2, pp. 131–140. ISSN 03263169.

INIA, 2015. Semana de la Ciencia y Tecnología. Inia [en línea], pp. 19. Disponible en: <http://inia.uy/Documentos/Públicos/INIA Tacuarembó/2015/El Suelo 20 de mayo.pdf>.

INTAGRI, 2015a. La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo | Intagri S.C. [en línea]. [Consulta: 25 November 2021]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>.

INTAGRI, 2015b. La Importancia del Encalado en el Manejo de los Suelos Ácidos Parte II (INTAGRI Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura). [en línea]. [Consulta: 2 December 2020]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-importancia-del-encalado-en-el-manejo-de-los-suelos-acidos-parte-ii>.

INTAGRI, 2016. El Aluminio y el Desarrollo Radical de los Cultivos | Intagri S.C. [en línea]. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-aluminio-y-el-desarrollo-radical-de-los-cultivos>.

JORDÁN LÓPEZ, A., 2006. Manual De Edafología. S.l.: s.n.

KEN MORIYA, M., 2006. Encalado de suelos - Engormix. [en línea]. [Consulta: 28 July 2018]. Disponible en: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/encalado-de-suelos-t26571.htm>.

LOPEZ CORDOVA, E., 2012. Efecto de las enmiendas en el suelo ácido y fuentes de fósforo en el crecimiento de la (Guazuma crinita, Mart.) BOLAINA BLANCA, en la provincia de Leoncio Prado - Tingo María. S.l.: Universidad Agraria de la Selva.

NAVARRO GARCIA, G. and NAVARRO BLAYA, S., 2003. Química Agrícola. S.l.: s.n.

ORTIZ ARAYA, E.F., 2008. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CAL DOLOMITA SOBRE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO Y LA ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE PIÑA (Ananas Comosus) (L) Merr. híbrido MD-2 EN FINCA GANADERA LA FLOR S.A EN RÍO CUARTO, GRECIA, COSTA RICA. . S.l.:

PIEDRAHÍTA, O., 2009. Acidez Del Suelo (Magnesio Heliconia S.A). Magnesio Heliconia S.A, vol. 14, no. cuadro 1, pp. 30.

PLASENCIA, A., 2017. Guía de estudio. Análisis de suelos. S.l.: s.n.

PRAT PEREZ, L., 1981. Importancia de la reacción del suelo. S.l.: s.n.

RAMÍREZ CARVAJAL, R., 1997. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. S.l.: s.n.

RICSE GALA, E.R., 2018. Efecto de enmiendas en un suelo ácido con cultivo de Phaseolus vulgaris L., variedad norteño - Satipo. S.l.: Universidad Nacional del Centro del Perú.

ROSAS-PATIÑO, G., PUENTES-PÁRAMO, Y.J. and MENJIVAR-FLORES, J.C., 2017. Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. Corpoica Ciencia y

Tecnología Agropecuaria, vol. 18, no. 3, pp. 529–541. ISSN 25005308.
DOI 10.21930/rcta.vol18_num3_art:742.

RUCKS, L., GARCÍA, F., KAPLÁN, A., PONCE DE LEÓN, J. and HILL, M.,
2004. Propiedades Físicas del Suelo. S.l.: s.n.

RUIZ PINEDO, V., 2011. Efecto de la dolomita en las propiedades físicas y
químicas del suelo, en el cultivo de cacao (*Theobroma Cacao* L.) bajo
condiciones de acidez, en Ricardo Palma Naranjillo. S.l.: Universidad
Nacional Agraria de la Selva.

SERFOR, 2017. ANUARIO FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (SERFOR
Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre). S.l.: s.n.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Anexo 2: Enmiendas, equipos y materiales utilizados en la investigación

Anexo 3: Mapa de ubicación de la obtención de la muestra

Anexo 4: t/ha de cada enmienda

Anexo 5: Cálculo de la densidad aparente (Da)

Anexo 6: Precio de cada enmienda

Anexo 7: Caracterización de muestra de suelo

Anexo 8: Análisis químico de la enmienda silicato di-tricálcico (Cemento)

Anexo 9: Análisis químico de enmienda Cal agrícola

Anexo 10: Análisis químico de enmienda Dolomita

Anexo 11: Análisis químico de enmienda Roca fosfórica

Anexo 12: Caracterización del suelo del tratamiento 4 - Silicato di-tricálcico

Anexo 13: Caracterización del suelo del tratamiento 3 - Silicato di-tricálcico

Anexo 14: Caracterización del suelo tratamiento 4 - Cal agrícola

Anexo 15: Caracterización del suelo tratamiento 3 - Cal agrícola

Anexo 16: Caracterización del suelo tratamiento 4 - Dolomita

Anexo 17: Caracterización del suelo tratamiento 3 - Dolomita

Anexo 18: Caracterización del suelo tratamiento 4 - Roca fosfórica

Anexo 19: Caracterización del suelo tratamiento 3 - Roca fosfórica

Anexo 20: Base de datos del experimento de medición de pH en diferentes periodos y dosis

Anexo 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA
GENERAL	GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	TIPO DE INVESTIGACIÓN
¿Cuál es efecto comparativo entre el Silicato Di-tricálcico con la Cal, Dolomita y Roca Fosfórica en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios?	Determinar el efecto comparativo entre el Silicato Di-tricalcico con la Cal, Dolomita y Roca Fosfórica en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios.	- tiempo de reacción. - enmienda. - dosis de la enmienda.	Experimental aplicada, de temporalidad longitudinal.
			DISEÑO DEL ESTUDIO
			Diseño del estudio fue experimental factorial, con distribución completamente al azar.
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿Cuál será el efecto del silicato di-tricálcico con dolomita en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios? ¿Cuál será el efecto del silicato di-tricálcico con cal agrícola en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios? ¿Cuál será el efecto del silicato di-tricálcico con roca fosfórica en la corrección en pH en suelos ácidos de Madre de Dios?	- Comparar el efecto de silicato di-tricálcico con dolomita en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios. - Comparar el efecto de silicato di-tricálcico con cal agrícola en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios. - Comparar el efecto de silicato di-tricálcico con roca fosfórica en la corrección en pH en suelos ácidos de Madre de Dios.	pH	Para la presente investigación la población comprende los suelos ácidos del sector km 70 carretera interoceánica Puerto Maldonado-Cusco, específicamente familia Mendez, Coordenadas UTM Datum Horizontal WGS Zona 19S Este 418108; Norte 8575956

Anexo 2: Enmiendas, equipos y materiales utilizados en la investigación.

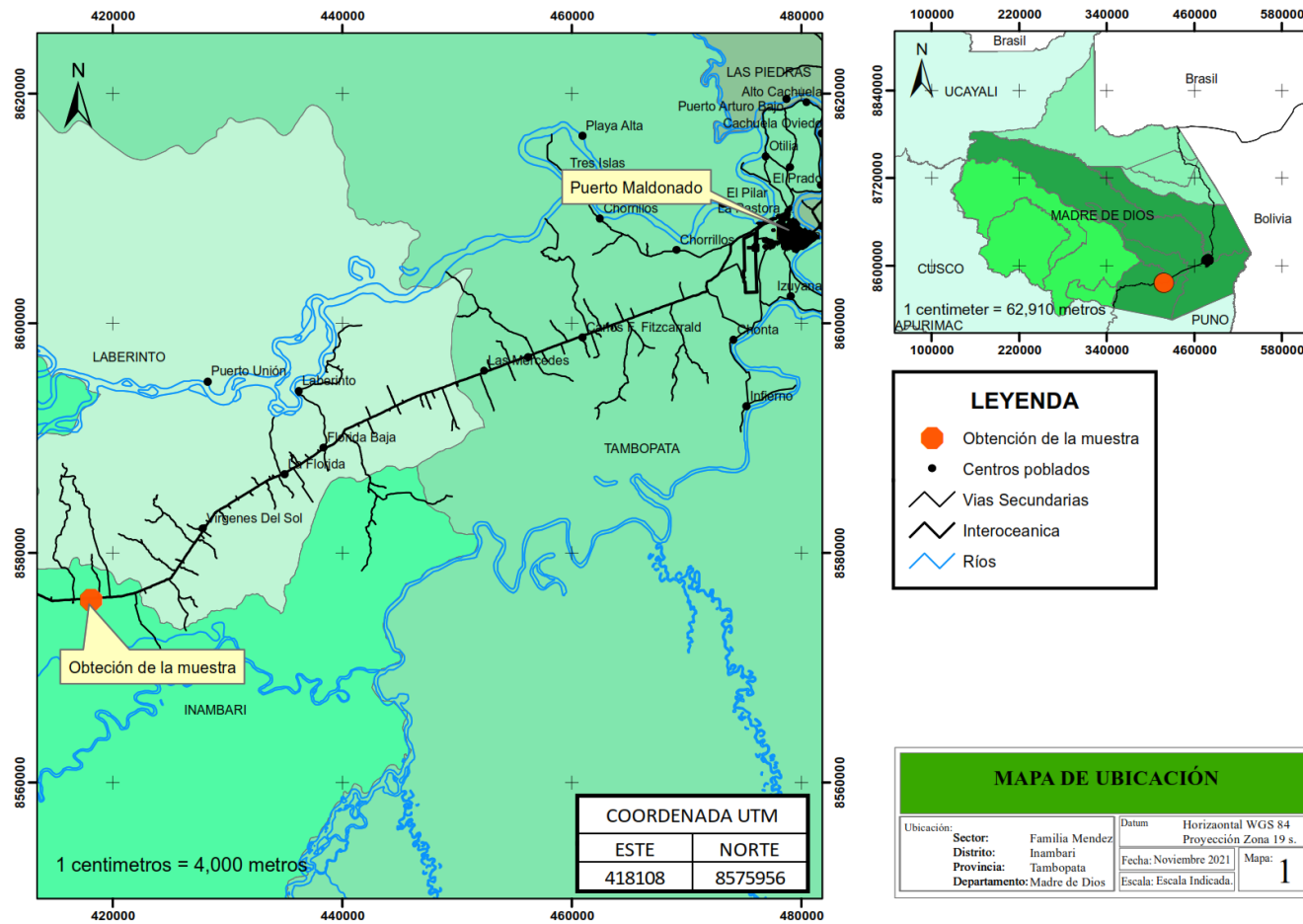
Enmiendas

- ✓ Silicato di-tricálcico
- ✓ Cal agrícola
- ✓ Dolomita
- ✓ Roca fosfórica

Equipos y Materiales

- ✓ Pala de corte
- ✓ Suelo ácido
- ✓ Computadora portátil Lenovo Ideapad I7
- ✓ Libreta de campo
- ✓ Coladores
- ✓ Peachímetro (Potenciómetro)
- ✓ Cintas de pH
- ✓ Carretilla
- ✓ Lapicero
- ✓ Sacos
- ✓ Formato de Hoja de Datos
- ✓ Tamiz N° 100
- ✓ Tamiz N° 50
- ✓ Tamiz N° 30
- ✓ Pissetas de 500 ml
- ✓ Vaguetas de vidrio
- ✓ Vaso precipitado
- ✓ Balanza digital
- ✓ Software SPSS
- ✓ Estufa de secado
- ✓ Bolsa Ziploc con sello hermético
- ✓ Baldes
- ✓ Plumón permanente
- ✓ Cuchillo
- ✓ Agua destilada
- ✓ Vaguetas para la agitación
- ✓ Solución buffer de pH 4,0
- ✓ Solución buffer de pH 6,8

Anexo 3: Mapa de ubicación de la obtención de la muestra



Anexo 4: t/ha de cada enmienda

Dosis (t/ha)	Dolomita	Silicato di- triccálcico (cemento)	Cal Agrícola	Roca Fosfórica
D1:25%(D3)	2,50	2,82	3,67	6,48
D2:50%(D3)	5,00	5,64	7,35	12,95
D3	10,01	11,27	14,69	25,91
D4:150%(D3)	10,01	16,91	22,04	38,86

Anexo 5: Cálculo de la Densidad Aparente (Da)

Fórmula	$da = \frac{\text{masa del suelo seco (g)}}{\text{volumen sin compactar (cm}^3\text{)}}$
Cálculo	$da = \frac{295,52 \text{ g}}{221,67 \text{ cm}^3}$ $da = 1,333 \text{ g/cm}^3$

Anexo 6: Precio de cada enmienda

	PRECIO POR (kg) S/.	PROPORCIÓN
Cal Agrícola (Pacífico-abonos y enmiendas)	S/1,80	2,90
Silicato di-triccálcico (Cemento Rumi)	S/0,60	1,00
Roca Fosfórica (Agrosechura)	S/1,00	1,60
Dolomita (Cropfield)	S/11,00	1,80

Anexo 7: Caracterización de muestra de suelo



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : NELSON LASTEROS
PREDIO : NELSON LASTEROS
MATRIZ : SUELO AGRICOLA

ANÁLISIS N° : 201-01S-2021
LUGAR : PTO. MALDONADO
FECHA DE RECEP. : 01/02/2021

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN
MUESTRA : MUESTRA N° 01

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	28.03	%		
Limo	38.61	%		
Arcilla	33.36	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARCILLOSO			
Porcentaje de Saturación de Agua	62.68	%	MES - 002	Gravimétrico
Carbonato de Calcio Total	< 0.01	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S.) a 25 °C.	0.15	dS / m	MES - 004	Electrométrico
pH (1/1) a Temp = 25.1 °C	4.14		MES - 005	Electrométrico
Fósforo Disponible	1.80	ppm	MES - 006	Bray I
Materia Orgánica	2.72	%	MES - 007	Walkley y Black
Nitrógeno Total	0.16	%	MES - 008	Kjeldahl
Potasio Disponible	44.80	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante: Ac. Amonio
Calcio	0.61	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	0.26	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.26	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.11	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
Aluminio + Hidrógeno	5.52	mEq / 100 g	MES - 014	KCl / Volumétrico
P.A.I	81.66	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	6.76	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático

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 prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Anexo 8: Análisis químico de la enmienda silicato di-tricálcico (Cemento)



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : NELSON LASTEROS
PREDIO : NELSON LASTEROS
MATRIZ : ENMIENDA INORGÁNICA

ANÁLISIS N° : 201-03EIS-2021

LUGAR : PTO. MALDONADO

FECHA DE RECEP. 01/02/2021

INFORME DE ANÁLISIS ENMIENDA INORGÁNICA SÓLIDA - ESPECIAL

MUESTRA : MUESTRA DE CEMENTO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Calcio Total CaO	42.81	%	MEIS - 007	FAAS
Magnesio Total MgO	2.01	%	MEIS - 008	FAAS
Potencial de Neutralización	2.28	mEq-g (H)	MEIS - 099	Volumétrico

Los resultados están expresados en muestra original.

Donde :

%: Masa / Masa

MEIS: Método Propio del Laboratorio.

FAAS: Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. 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 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

TELÉFONO: (511) 581 2261 | CELULAR: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 9: Análisis químico de enmienda Cal agrícola



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : NELSON LASTEROS
PREDIO : NELSON LASTEROS
MATRIZ : ENMIENDA ORGANICA

ANÁLISIS N° : 201-04EIS-2021
LUGAR : PTO. MALDONADO
FECHA DE RECEP. 01/02/2021

INFORME DE ANÁLISIS ENMIENDA INORGANICA SÓLIDA - ESPECIAL

MUESTRA : MUESTRA DE CAL AGRICOLA

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Calcio Total CaO	41.00	%	MEIS - 007	FAAS
Magnesio Total MgO	2.67	%	MEIS - 008	FAAS
Potencial de Neutralización	1.90	mEq-g (H)	MEIS - 099	Volumétrico

Los resultados están expresados en muestra original.

Donde :

%: Masa / Masa

MEIS: Método Propio del Laboratorio.

FAAS: Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. 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 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 10: Análisis químico de enmienda Dolomita



SOLICITANTE : NELSON LASTEROS

ANÁLISIS Nº : 201-01EIS -2021

PREDIO : NELSON LASTEROS

LUGAR : PTO. MALDONADO

MATRIZ : ENMIENDA INORGÁNICA

FECHA DE RECEP. 01/02/2021

INFORME DE ANÁLISIS ENMIENDA INORGANICA SÓLIDA - ESPECIAL

MUESTRA : MUESTRA DE DOLOMITA

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Calcio Total CaO	30.76	%	MEIS - 007	FAAS
Magnesio Total MgO	14.87	%	MEIS - 008	FAAS
Potencial de Neutralización	2.51	mEq-g (H)	MEIS - 099	Volumétrico

Los resultados están expresados en muestra original.

Donde :

%: Masa / Masa

MEIS: Método Propio del Laboratorio.

FAAS: Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.


MSc. Quím. 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 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 11: Análisis químico de enmienda Roca fosfórica



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : NELSON LASTEROS

ANÁLISIS N° : 201-02EIS -2021

PREDIO : NELSON LASTEROS

LUGAR : PTO. MALDONADO

MATRIZ : ENMIENDA INORGÁNICA

FECHA DE RECEP. 01/02/2021

INFORME DE ANÁLISIS ENMIENDA INORGANICA SÓLIDA - ESPECIAL

MUESTRA : MUESTRA DE ROCA FOSFORICA

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Calcio Total CaO	26.70	%	MEIS - 007	FAAS
Magnesio Total MgO	0.74	%	MEIS - 008	FAAS
Fósforo Total	18.13	%	MEIS - 005	Colorimétrico
Potencial de Neutralización	0.31	mEq-g (H)	MEIS - 099	Volumétrico

Los resultados están expresados en muestra original.

Donde :

%: Masa / Masa

MEIS: Método Propio del Laboratorio.

FAAS: Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. 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 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 12: Caracterización del suelo del tratamiento 4 – Silicato di-tricálcico



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : NELSON ROMARIO LASTEROS CACECERES

ANÁLISIS N° : 886-04S -2021

PREDIO : TAMBOPATA

LUGAR : PTO. MALDONADO

MATRIZ : SUELO AGRICOLA

FECHA DE RECEP. : 26/08/2021

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

MUESTRA : M4 - CET4

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	26.67	%		
Limo	39.39	%		
Arcilla	33.94	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARCILLOSO			
Carbonato de Calcio Total	< 0.01	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	1.62	dS / m	MES - 004	Electrométrico
pH (1/1) a Temp = 18.9 °C	5.51		MES - 005	Electrométrico
Fósforo Disponible	5.20	ppm	MES - 006	Olsen
Materia Orgánica	2.83	%	MES - 007	Walkley y Black
Potasio Disponible	58.60	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante: Ac. Amonio
Calcio	9.75	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	0.70	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.38	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.15	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
Aluminio + Hidrógeno	0.07	mEq / 100 g	MES - 014	KCl / Volumétrico
P.A.I	0.67	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	11.05	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático

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 prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. 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 | Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 13: Caracterización del suelo del tratamiento 3 – Silicato di-tricálcico



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : NELSON ROMARIO LASTEROS CACECERES

ANÁLISIS N° : 886-03S -2021

PREDIO : TAMBOPATA

LUGAR : PTO. MALDONADO

MATRIZ : SUELO AGRICOLA

FECHA DE RECEP. : 26/08/2021

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN
MUESTRA : M3 - CET3

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	27.70	%		
Limo	39.33	%		
Arcilla	32.97	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARCILLOSO			
Carbonato de Calcio Total	< 0.01	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	1.27	dS / m	MES - 004	Electrométrico
pH (1/1) a Temp = 18.9 °C	4.92		MES - 005	Electrométrico
Fósforo Disponible	5.20	ppm	MES - 006	Bray I
Materia Orgánica	2.55	%	MES - 007	Walkley y Black
Potasio Disponible	46.40	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante: Ac. Amonio
Calcio	5.90	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	0.56	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.35	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.12	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
Aluminio + Hidrógeno	0.67	mEq / 100 g	MES - 014	KCl / Volumétrico
P.A.I	8.77	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	7.60	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático

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 prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. 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 | Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 14: Caracterización del suelo tratamiento 4 – Cal agrícola



SOLICITANTE : NELSON ROMARIO LASTEROS CACECERES

ANÁLISIS N° : 886-01S -2021

PREDIO : TAMBOPATA

LUGAR : PTO. MALDONADO

MATRIZ : SUELO AGRICOLA

FECHA DE RECEP. : 26/08/2021

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

MUESTRA : M1 - CATH

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	27.71	%		
Limo	39.33	%		
Arcilla	32.96	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARCILLOSO			
Carbonato de Calcio Total	< 0.01	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	3.36	dS / m	MES - 004	Electrométrico
pH (1/1) a Temp = 19 °C	6.15		MES - 005	Electrométrico
Fósforo Disponible	3.40	ppm	MES - 006	Olsen
Materia Orgánica	2.21	%	MES - 007	Walkley y Black
Potasio Disponible	44.20	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante: Ac. Amonio
Calcio	12.30	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	0.80	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.37	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.11	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
Aluminio + Hidrógeno	0.15	mEq / 100 g	MES - 014	KCl / Volumétrico
P.A.I	1.08	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	13.72	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático

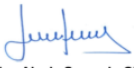
DONDE:

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 prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.


MSc. Quím. 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 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 15: Caracterización del suelo tratamiento 3 – Cal agrícola



SOLICITANTE : NELSON ROMARIO LASTEROS CACECERES
 PREDIO : TAMBOPATA
 MATRIZ : SUELO AGRICOLA

ANÁLISIS N° : 886-02S -2021
 LUGAR : PTO. MALDONADO
 FECHA DE RECEP. : 26/08/2021

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN
 MUESTRA : M2 - CAT3

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	26.69	%		
Limo	40.37	%		
Arcilla	32.94	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARCILLOSO			
Carbonato de Calcio Total	< 0.01	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	2.39	dS / m	MES - 004	Electrométrico
pH (1/1) a Temp = 18.9 °C	5.13		MES - 005	Electrométrico
Fósforo Disponible	4.20	ppm	MES - 006	Bray I
Materia Orgánica	2.59	%	MES - 007	Walkley y Black
Potasio Disponible	40.60	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante:Ac. Amonio
Calcio	8.65	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	0.80	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.31	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.10	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
Aluminio + Hidrógeno	0.15	mEq / 100 g	MES - 014	KCl / Volumétrico
P.A.I	1.48	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	10.02	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático

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 prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.


 MSc. Quím. 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 | Celular: 991 692 563
 Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 16: Caracterización del suelo tratamiento 4 - Dolomita



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : NELSON ROMARIO LASTEROS CACECERES

ANÁLISIS N° : 886-06S -2021

PREDIO : TAMBOPATA

LUGAR : PTO. MALDONADO

MATRIZ : SUELO AGRICOLA

FECHA DE RECEP. : 26/08/2021

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

MUESTRA : M6 - DT4

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	26.71	%		
Limo	38.34	%		
Arcilla	34.95	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARCILLOSO			
Carbonato de Calcio Total	< 0.01	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	1.49	dS / m	MES - 004	Electrométrico
pH (1/1) a Temp = 18.9 °C	5.53		MES - 005	Electrométrico
Fósforo Disponible	3.40	ppm	MES - 006	Olsen
Materia Orgánica	2.28	%	MES - 007	Walkley y Black
Potasio Disponible	38.80	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante: Ac. Amonio
Calcio	6.45	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	2.97	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.33	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.10	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
Aluminio + Hidrógeno	0.07	mEq / 100 g	MES - 014	KCl / Volumétrico
P.A.I	0.75	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	9.93	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático

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 prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.


MSc. Quím. 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 | Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 17: Caracterización del suelo tratamiento 3 - Dolomita



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : NELSON ROMARIO LASTEROS CACECERES

ANÁLISIS N° : 886-055-2021

PREDIO : TAMBOPATA

LUGAR : PTO. MALDONADO

MATRIZ : SUELO AGRICOLA

FECHA DE RECEP. : 26/08/2021

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

MUESTRA : M5 - DT3

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	26.68	%		
Limo	38.39	%		
Arcilla	34.93	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARCILLOSO			
Carbonato de Calcio Total	< 0.01	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	1.13	dS / m	MES - 004	Electrométrico
pH (1/1) a Temp = 18.9 °C	5.12		MES - 005	Electrométrico
Fósforo Disponible	4.20	ppm	MES - 006	Bray I
Materia Orgánica	2.41	%	MES - 007	Walkley y Black
Potasio Disponible	40.20	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante: Ac. Amonio
Calcio	4.94	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	2.60	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.31	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.10	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
Aluminio + Hidrógeno	0.44	mEq / 100 g	MES - 014	KCl / Volumétrico
P.A.I	5.29	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	8.39	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático

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 prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. 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 Cafieta, Lima - Perú
Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 18: Caracterización del suelo tratamiento 4 – Roca fosfórica



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : NELSON ROMARIO LASTEROS CACECERES

ANÁLISIS N° : 886-08S -2021

PREDIO : TAMBOPATA

LUGAR : PTO. MALDONADO

MATRIZ : SUELO AGRICOLA

FECHA DE RECEP. : 26/08/2021

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN
MUESTRA : M8 - RT4

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	29.66	%		
Limo	37.39	%		
Arcilla	32.95	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARCILLOSO			
Carbonato de Calcio Total	< 0.01	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	2.25	dS / m	MES - 004	Electrométrico
pH (1/1) a Temp = 18.9 °C	4.49		MES - 005	Electrométrico
Fósforo Disponible	250.80	ppm	MES - 006	Bray I
Materia Orgánica	2.69	%	MES - 007	Walkley y Black
Potasio Disponible	43.20	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante: Ac. Amonio
Calcio	5.92	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	0.49	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.95	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.11	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
Aluminio + Hidrógeno	1.70	mEq / 100 g	MES - 014	KCl / Volumétrico
P.A.I	18.56	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	9.18	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático

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 prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. 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 | Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 19: Caracterización del suelo tratamiento 3 – Roca fosfórica



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : NELSON ROMARIO LASTEROS CACECERES

PREDIO : TAMBOPATA

MATRIZ : SUELO AGRICOLA

ANÁLISIS N° : 886-07S -2021

LUGAR : PTO. MALDONADO

FECHA DE RECEP. : 26/08/2021

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

MUESTRA : M7 - RT3

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	26.70	%		
Limo	38.32	%		
Arcilla	34.98	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARCILLOSO			
Carbonato de Calcio Total	< 0.01	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	1.86	dS / m	MES - 004	Electrométrico
pH (1/1) a Temp = 18.9 °C	4.43		MES - 005	Electrométrico
Fósforo Disponible	212.00	ppm	MES - 006	Bray I
Materia Orgánica	2.72	%	MES - 007	Walkley y Black
Potasio Disponible	42.20	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante:Ac. Amonio
Calcio	5.28	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	0.53	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.74	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.11	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
Aluminio + Hidrógeno	2.22	mEq / 100 g	MES - 014	KCl / Volumétrico
P.A.I	25.01	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	8.88	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático

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 prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.


MSc. Quím. 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 | Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 20: Base de datos del experimento de medición de pH en diferentes periodos y dosis

		SILICATO DI-TRICALCICO				CAL AGRÍCOLA				DOLOMITA				ROCA FOSFÓRICA			
	DÍAS	15	45	90	145	15	45	90	145	15	45	90	145	15	45	90	145
		pH															
TRATAMIENTO 1	R1	5,01	5,04	5,06	4,61	4,92	4,90	4,94	4,68	4,93	4,92	5,13	4,77	4,78	4,87	4,86	4,60
	R2	4,85	4,84	4,94	4,57	4,74	4,74	4,75	4,68	4,90	4,90	5,01	4,77	4,63	4,65	4,80	4,58
	R3	4,82	4,86	4,93	4,58	4,78	4,45	4,83	4,68	4,88	4,70	4,87	4,65	4,57	4,64	4,71	4,48
	$\bar{X}$	4,89	4,91	4,98	4,59	4,81	4,70	4,84	4,68	4,90	4,84	5,00	4,73	4,66	4,72	4,79	4,55
TRATAMIENTO 2	R1	4,93	5,00	4,94	4,65	4,86	4,84	4,89	4,76	5,12	5,13	5,08	4,83	4,63	4,58	4,70	4,63
	R2	5,09	5,07	5,06	5,03	4,89	4,80	4,90	4,85	5,13	5,09	5,14	4,79	4,51	4,65	4,73	4,59
	R3	5,09	5,04	5,06	4,67	4,88	4,89	4,91	4,82	5,12	5,10	5,11	4,79	4,52	4,61	4,74	4,56
	$\bar{X}$	5,04	5,04	5,02	4,78	4,88	4,84	4,90	4,81	5,12	5,11	5,11	4,80	4,55	4,61	4,72	4,59
TRATAMIENTO 3	R1	5,31	5,26	5,24	4,65	5,27	5,21	5,32	5,19	5,57	5,57	5,40	5,18	4,59	4,64	4,69	4,55
	R2	5,53	5,42	5,44	5,17	5,47	5,39	5,45	5,40	5,71	5,72	5,55	5,28	4,64	4,62	4,74	4,67
	R3	5,51	5,45	5,47	5,18	5,46	5,41	5,45	5,52	5,72	5,78	5,71	5,37	4,64	4,64	4,76	4,62
	$\bar{X}$	5,45	5,38	5,38	5,00	5,40	5,34	5,41	5,37	5,67	5,69	5,55	5,28	4,62	4,63	4,73	4,61
TRATAMIENTO 4	R1	5,76	5,69	5,74	5,75	5,91	6,04	5,87	5,94	6,05	6,11	5,95	5,78	4,59	4,72	4,80	4,76
	R2	6,00	6,02	5,94	5,80	6,04	6,21	6,03	6,16	6,29	6,32	6,15	5,96	4,56	4,69	4,84	4,72
	R3	6,11	6,10	5,98	5,78	6,24	6,23	6,30	6,04	6,40	6,45	6,25	5,66	4,64	4,75	4,87	4,80
	$\bar{X}$	5,96	5,94	5,89	5,78	6,06	6,16	6,07	6,05	6,25	6,29	6,12	5,80	4,60	4,72	4,84	4,76