



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

#### Carrera de Ingeniería Agronómica

**Efecto de dos dosis de encalado sobre el control de la acidez de un suelo y su influencia en el crecimiento, desarrollo y producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el sector carboncillo del cantón Saraguro**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

#### AUTOR:

Edison Xavier Beltrán Montoya

#### DIRECTOR:

Ing. Klever Iván Granda Mora PhD.

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 18 de agosto del 2023

PhD. Klever Iván Granda Mora

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### C E R T I F I C O:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Efecto de dos dosis de encalado sobre el control de la acidez de un suelo y su influencia en el crecimiento, desarrollo y producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el sector carboncillo del cantón Saraguro**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrónomo**, de la autoría del estudiante **Edison Xavier Beltrán Montoya**, con **cédula de identidad Nro.1105344772**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



PhD. Klever Iván Granda Mora

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Edison Xavier Beltrán Montoya**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula: 1105344772

Fecha: 23 de octubre de 2023.

Correo: [edison.beltran@unl.edu.ec](mailto:edison.beltran@unl.edu.ec)

Teléfono: 0995585612

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Edison Xavier Beltrán Montoya**, declaro ser el autor del Trabajo de Titulación denominado: **Efecto de dos dosis de encalado sobre el control de la acidez de un suelo y su influencia en el crecimiento, desarrollo y producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el sector Carboncillo del cantón Saraguro**, como requisito para optar por el título de: **Ingeniero Agrónomo**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los treinta días del mes de octubre del dos mil veintitrés.

**Firma:**



**Autor:** Edison Xavier Beltrán Montoya

**Cédula:** 1105344772

**Dirección:** Demetrio Aguilera y Jorge Icaza - Loja

**Correo electrónico:** [edison.beltran@unl.edu.ec](mailto:edison.beltran@unl.edu.ec)

**Celular:** 0995585612

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director de Trabajo de Titulación:** Ing. Klever Iván Granda Mora. PhD

## **Dedicatoria**

Los resultados del presente Trabajo Investigativo se los dedico a mi familia. Porque este honor no solo a mí me pertenece, cada faceta no hubiese sido posible sin el apoyo de personas muy importantes en mi vida. Principalmente, a mi madre, hermana y a mis abuelos, que me han inspirado, me han alentado y tolerado.

“El fracaso es una opción. Si las cosas no están fallando, no estás innovando lo suficiente”

Elon Musk

*Gracias a todos*

*Edison Xavier Beltrán Montoya*

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradezco a la Universidad Nacional de Loja y, la Carrera de Ingeniería Agronómica por la oportunidad que me brindaron para obtener una formación de calidad.

A la vez, quiero agradecer enormemente a Pablo Montoya, propietario de la finca donde se llevó a cabo el trabajo de campo.

Científicamente hablando, a mi director de Trabajo de Titulación, Ing. Iván Granda PhD por la orientación brindada en el desarrollo de esta investigación.

*Edison Xavier Beltrán Montoya*

## Índice de contenido

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenido</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas .....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
<b>1</b> <b>Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Resumen</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1</b> <b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b> <b>Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b> <b>Marco teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1    Suelo .....	6
4.2    ¿Como medir la fertilidad de los suelos?.....	6
4.2.1    Capacidad de intercambio catiónico .....	6
4.2.2    Saturación de bases .....	6
4.2.3    Acidez de los suelos.....	7
4.2.3.1    Acidez intercambiable .....	7
4.2.3.2    Naturaleza de la acidez .....	8
4.2.4    pH del suelo .....	9
4.3    Encalado del suelo .....	9
4.3.1    Reacciones de la cal en el suelo .....	10
4.4    Cultivo de la papa .....	10
4.4.1    Origen de la papa .....	10
4.4.2    Características de la variedad seleccionada .....	11
4.4.3    Producción a nivel nacional .....	11

<b>5</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>12</b>
5.1	Ubicación y descripción del sitio experimental .....	12
5.2	Unidad experimental .....	12
5.2.1	Distribución del esquema en campo .....	13
5.3	Metodología general .....	13
5.4	Metodología para el primer objetivo.....	15
5.5	Metodología para el segundo objetivo.....	16
<b>6</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>18</b>
6.1	Comportamiento del pH.....	18
6.2	Comportamiento de la acidez.....	18
6.3	Disponibilidad de nutrientes .....	19
6.3.1	Disponibilidad de nutrientes a los 40 DDA .....	19
6.3.2	Disponibilidad de nutrientes a los 80 DDA .....	19
6.4	Capacidad de intercambio catiónico .....	20
6.5	Saturación de bases .....	20
6.6	Porcentaje de emergencia .....	21
6.7	Altura de la planta .....	21
6.8	Días a la floración .....	22
6.9	Días a la cosecha .....	22
6.10	Número de tubérculos por planta.....	23
6.11	Peso de tubérculos por planta .....	23
6.12	Rendimiento.....	24
<b>7</b>	<b>Discusion .....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>33</b>
<b>9</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>34</b>
<b>10</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>35</b>
<b>11</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>47</b>



## Índice de tablas

Tabla 1.	Tratamientos utilizados en el sitio de experimentación “Carboncillo”, Loja, Ecuador.....	13
Tabla 2.	Resultados de análisis de suelo realizado en el área de estudio previo a la aplicación de enmiendas.....	14
Tabla 3.	pH promedio, luego de la aplicación de enmiendas, sector “Carboncillo”, cantón Saraguro.....	18
Tabla 4.	Resultados de la acidez intercambiable frente al encalado del suelo, sector “Carboncillo”, cantón Saraguro .....	18
Tabla 5.	Disponibilidad de MO, macro y micronutrientes luego de la corrección de la acidez, sector “Carboncillo”, cantón Saraguro a los 40 DDA.....	19
Tabla 6.	Disponibilidad de MO, macro y micronutrientes luego de la corrección de la acidez, sector “Carboncillo”, cantón Saraguro a los 80 DDA.....	19
Tabla 7.	Resultados de la capacidad de intercambio cationico (CIC) frente al encalado del suelo, sector “Carboncillo”, canton Saraguro .....	20
Tabla 8.	Resultados de la saturacion de bases (% V) frente al encalado del suelo, sector “Carboncillo”, canton Saraguro .....	20
Tabla 9.	Altura de la planta en el cultivo de papa a los 30, 60 y 90 días despues de la siembra (DDS) .....	21

## Índice de figuras

Figura 1.	Ubicación del área de estudio.....	12
Figura 2.	Croquis de la distribución de los tratamientos en campo.....	13
Figura 3.	Porcentaje de emergencia a los 26 días después de la siembra.....	21
Figura 4.	Días a la floración del cultivo de papa.....	22
Figura 5.	Días a la cosecha.....	22
Figura 6.	Número de tubérculos por planta.....	23
Figura 7.	Peso promedio de tubérculos por planta.....	23
Figura 8.	Rendimiento en kg/ha del cultivo de papa.....	24

## **Índice de anexos**

Anexo 1. Resultados de análisis de suelos por tratamiento .....	47
Anexo 2. Determinación de las dosis de encalado.....	47
Anexo 3. Resumen del plan de fertilización .....	48
Anexo 4. Evidencias fotograficas .....	54
Anexo 5. Análisis ANOVA y Test de Tukey al 95% .....	55
Anexo 6. Cetificado de traducción del abstract .....	59

## **1 Título**

**Efecto de dos dosis de encalado sobre el control de la acidez de un suelo y su influencia en el crecimiento, desarrollo y producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el sector Carboncillo del cantón Saraguro**

## 2 Resumen

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo de importancia mundial, sin embargo, la acidez de los suelos limita la producción. El objetivo de la presente investigación fue: Determinar el efecto de dos dosis de encalado sobre el control de la acidez de un suelo y su influencia en el crecimiento, desarrollo y producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el sector Carboncillo del cantón Saraguro. Por lo tanto, se evaluó el comportamiento de la acidez y disponibilidad de nutrientes a los 40 y 80 días después de la aplicación de encalantes y se trabajó con dosis de 4,4 t ha<sup>-1</sup> y 8,3 t ha<sup>-1</sup> de hidróxido de calcio y silicato de calcio más un testigo con cuatro repeticiones bajo un diseño en bloque completamente al azar; no obstante, cuando los datos obtenidos cumplieron los supuestos se realizó pruebas de comparación múltiple de *Tukey*, y los datos que no cumplieron con los supuestos, fueron sometidos a Modelos lineales generales con prueba de comparación de *LSD Fisher*. Siendo así, el mayor incremento de pH y la mayor reducción de la acidez intercambiable se registró con la aplicación de 8,3 t ha<sup>-1</sup> de hidróxido de calcio que además incrementó significativamente el rendimiento. Por otra parte, el encalado no influyó sobre: MO, N, sobre los días a la cosecha y el número de tubérculos por planta.

**Palabras clave:** Carboncillo, suelo ácido, pH del suelo, hidróxido de calcio, silicato de calcio, papa.

## 2.1 Abstract

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is a crop of worldwide importance, however, soil acidity limits production. The objective of this research was: To determine the effect of two doses of liming on the control of soil acidity and its influence on the growth, development and production of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the Carboncillo area of Saraguro canton. Therefore, the behavior of acidity and nutrient availability was evaluated at 40 and 80 days after the application of liming agents and worked with doses of 4.4 t ha<sup>-1</sup> and 8.3 t ha<sup>-1</sup> of calcium hydroxide and calcium silicate plus a control with four repetitions under a completely randomized block design; however, when the data obtained met the assumptions, Tukey's multiple comparison tests were performed, and the data that did not meet the assumptions were subjected to general lineal models with LSD Fisher's comparison test. Thus, the greatest increase in pH and the greatest reduction in exchangeable acidity was recorded with the application of 8.3 t ha<sup>-1</sup> of calcium hydroxide, which also significantly increased yield. On the other hand, liming did not influence on: MO, N, on days to harvest and number of tubers per plant.

**Key words:** *carbonate, acid soil, pH of the soil, calcium hydroxide, calcium silicate, potato.*

### 3 Introducción

La papa ha sido un cultivo de importancia no solo para el Ecuador, si no a nivel mundial ([Racines Jaramillo et al., 2021](#)); de hecho, mundialmente, la papa es la cuarta especie más cultivada después del arroz, trigo, y maíz ([Lucioli et al., 2022](#)) y ocupó el séptimo lugar en producción a nivel nacional según Mora Quilismal et al. ([2021](#)). Dicho esto, las cifras más recientes, mencionan que mundialmente se cultiva  $17 \times 10^6$  ha de papa en todo el mundo y la producción mundial de papa representó  $370 \times 10^6$  t ([FAO, 2021](#)). Por otra parte, SIPA ([2023](#)) registra que en Ecuador durante el 2022 se produjo  $251,433.39 \text{ t ha}^{-1}$  sobre una superficie de  $17,926.10$  hectáreas con un rendimiento de  $14,03 \text{ t ha}^{-1}$ .

Generalmente, en nuestro país, el cultivo de papa se ha establecido en la región sierra y se considera como un constituyente básico en la dieta de los ecuatorianos, convirtiéndose en un cultivo de alto valor económico y alimenticio ([Pumisacho & Sherwood, 2002](#); [Racines Jaramillo et al., 2021](#)). Sin embargo, su producción puede limitarse por factores bióticos como abióticos ([Kwenda et al., 2016](#); [Dahal et al., 2019](#)). Cabe destacar que, entre sus factores limitantes está la acidez de los suelos ([Herrera & Scott, 1993](#); [Espinosa et al., 2022](#)).

De hecho, aproximadamente un 40 % de tierras dedicadas a la agricultura mundialmente, tienen un pH ácido menor a 5,5 ([Đalović et al., 2012](#)); mientras que, en el Ecuador la acidez representa un 23,9 % del total de suelos ([Espinosa et al., 2022](#)). Habitualmente, la acidificación del suelo ocurre espontáneamente en la naturaleza como resultado de la meteorización de material parental, alta pluviometría, zonas con altos contenidos de materia orgánica; también, como consecuencia de la aplicación de fertilizantes nitrogenados de reacción ácida, por la agricultura de alta extracción de bases sin reposición y por el sobre encalado que desproporciona los cationes ([Bernier & Alfaro, 2006](#); [Espinosa & Molina, 2015](#); [Toledo, 2016b](#) [Bojórquez-Quintal et al., 2017](#); [Espinosa et al., 2022](#)). De cualquier forma, la acidez disminuye la fertilidad ([Costillo, 2013](#)).

Siendo así, el encalado corrige los problemas de acidez ([Calva & Espinosa, 2017](#)), al mismo tiempo, incrementa la disponibilidad de nutrientes y mejora la actividad microbiana ([Osorno & Osorno, 2010](#)). Por lo general, para encalar los suelos ácidos se utilizan carbonatos, óxidos, hidróxidos, silicatos de calcio y/o magnesio ([Bernier & Alfaro, 2006](#); [Espinosa & Molina, 2015](#); [Toledo, 2016b](#)). De tal manera, el silicato de calcio e hidróxido de calcio tienen relevancia en esta investigación, tomando como referencia los reportes de Cruz & Macal ([2018](#)), Castro & Guerrero ([2018](#)), Fernández et al., ([2009](#)) donde se evidenció que los dos

productos neutralizan significativamente la acidez del suelo, y mejoran la disponibilidad de nutrientes.

Siendo el caso, es evidente que en la provincia de Loja no se reportan investigaciones relacionadas con la temática propuesta para este ensayo. Por lo tanto, esta investigación pretende proporcionar información basada en los resultados de la experimentación en campo, para que otros productores e investigadores puedan obtener rendimientos más satisfactorios. En cierta medida, para esclarecer el efecto de los encalantes se plantearon los siguientes objetivos:

### **Objetivos:**

#### **General**

Determinar el efecto de dos dosis de encalado sobre el control de la acidez de un suelo y su influencia en el crecimiento, desarrollo y producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el sector Carboncillo del cantón Saraguro.

#### **Específicos**

- Determinar el efecto de dos dosis de encalado sobre un suelo agrícola del sector Carboncillo y su influencia sobre la disponibilidad de nutrientes a los 40 y 80 días después de la aplicación.
- Evaluar la influencia de dos dosis de encalado sobre el crecimiento, desarrollo y producción de papa (*Solanum tuberosum* L.).



## 4 Marco teórico

### 4.1 Suelo

El suelo es un recurso natural que debe ser preservado de manera sostenible ([Amézqueta, 1999](#); [Cruz et al., 2004](#); [Navarro García & Navarro García, 2013](#)). Además, es uno de los hábitats megadiversos de la Tierra ([Briones, 2014](#); [Gardi et al., 2014](#)) que se ha formado con el tiempo como resultado de la desintegración de rocas; asimismo, los suelos están compuestos por una fase sólida, líquida y gaseosa que da soporte a las plantas ([López, 2006](#)). No obstante, en Ecuador existe una diversidad de suelos ([Calva & Espinosa, 2017](#)) y en cualquiera de los casos, el manejo debe ser adecuado con el conocimiento previo de la relación entre la mineralogía, clasificación y fertilidad del suelo ([Espinosa et al., 2022](#)).

### 4.2 ¿Como medir la fertilidad de los suelos?

La fertilidad del suelo, es la capacidad que tiene un suelo para administrar nutrientes y agua a las plantas en ausencia de inhibidores o elementos tóxicos ([Bünemann et al., 2018](#)). De tal manera, la fertilidad del suelo se mide a través de indicadores físicos, químicos, biológicos y de relieve ([Segueda et al., 2011](#)); entonces, los indicadores químicos son: pH, acidez, conductividad eléctrica, MO, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y disponibilidad de nutrientes ([Barra, 1999](#); [Segueda et al., 2011](#)). No obstante, para ello se debe partir de una evaluación en intervalos de tiempo ([Huber et al., 2001](#)) para anticipar las mejores decisiones en el manejo del suelo ([Bünemann et al., 2018](#)).

#### 4.2.1 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico es un indicador de fertilidad ([Olorunfemi et al., 2016](#); [Bueno Buelvas & Fernández Lizarazo, 2019](#)), puesto que nos indica la capacidad que tiene un suelo para almacenar nutrientes en sus coloides; es decir, la CIC mide la cantidad de cargas negativas del suelo ([Khaledian et al., 2017](#); [Emamgholizadeh et al., 2023](#)). Suelos con alta CIC son muy fértiles, mientras que los suelos de baja CIC son pobres, esto porque los nutrientes no se adhieren a los coloides y están expuestos en la solución del suelo, por lo tanto, son lavados fácilmente con el agua de la lluvia o riego ([Chávez, 2015](#); [Toledo, 2016b](#)).

#### 4.2.2 Saturación de bases

La CIC indica la cantidad de cargas negativas que tiene el suelo ([Emamgholizadeh et al., 2023](#)), aunque, no muestra cuáles son esos elementos y que cantidad están ocupando ([Toledo, 2016b](#)). Para determinar estos elementos se utilizan ciertos índices como la “saturación de bases”, dicho método consiste en la suma de cationes como el calcio, magnesio,

potasio y sodio, dividida entre la CIC o CICE, según sea el caso, y multiplicada por 100 para obtener un porcentaje ([Fageria & Nascente, 2014](#); [Toledo, 2016b](#)).

#### 4.2.3 *Acidez en los suelos*

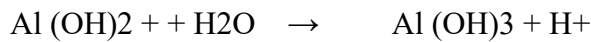
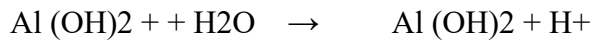
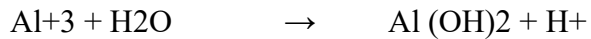
América Latina como resultado de la variedad de materiales parentales, tiene una diversidad de suelos ([Fageria & Nascente, 2014](#); [Espinosa & Molina, 2015](#)); en este sentido, no se puede dejar a un lado a Ecuador donde la diversidad de suelos es independiente en la Costa, Sierra y Oriente ([Espinosa et al., 2022](#)). Entonces resulta que, en nuestro país, la formación de los Andes en etapas geológicas pasadas modificaron drásticamente las condiciones edafoclimáticas de la Sierra y sus adyacentes, sumado a ello la actividad volcánica que dio lugar a suelos con arcillas de carga variable o permanente ([Espinosa et al., 2022](#)). Desde el punto de vista agrícola, los suelos ácidos representan un factor limitante en la producción de cultivos ([Marin & Lora, 1974](#); [Espinosa et al., 2022](#)) y como consecuencia de esa variedad de suelos no se puede hacer una recomendación general para encalar todos los suelos ácidos ([Sanchez Torres, 2012](#); [Espinosa & Molina, 2015](#)).

Según Bernier & Alfaro ([2006](#)), la acidez del suelo se clasifica en:

- a) **Acidez activa:** hidrógeno ( $H^+$ ) disociado en la solución del suelo y proveniente de diferentes fuentes.
- b) **Acidez intercambiable:** hidrógeno y aluminio intercambiables ( $H^+$  y  $Al^{3+}$ ) retenido en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas
- c) **Acidez no intercambiable:** hidrógeno en enlace covalente en la superficie de las arcillas de carga variable.
- d) **Acidez potencial:** acidez intercambiable + acidez no intercambiable.

**4.2.3.1 Acidez intercambiable.** En suelos con  $pH < 5$ , el factor más limitante para las plantas es la toxicidad del  $Al^{3+}$  y su derivado  $H^+$  ([Campillo & Sadzawka, 1999](#); [Alvarado & Fallas, 2004](#); [Bernier & Alfaro, 2006](#); [Espinosa & Molina, 2015](#)). En otras palabras, lo antes mencionado es el resultado de la meteorización de los silicatos de aluminio de las arcillas que puede tener su origen en las cargas permanentes de las arcillas o se pueden originar a partir de la disociación de iones  $H^+$  en los grupos  $OH^-$ ; sin embargo, los protones también pueden tener otros orígenes en el caso de los suelos ácidos ([Casierra Posada & Aguilar Avendaño, 2007](#)). En este sentido, al hidrolizarse, las formas monoméricas del (Al) liberan (H) que contribuye a

la acidificación de la solución del suelo ([Campillo & Sadzawka, 1999](#); [Bernier & Alfaro, 2006](#); [Espinosa & Molina, 2015](#)), reacciones que se ilustran a continuación:



Sin duda alguna, el aluminio es un elemento abundante en los suelos, comprende el 7,1 % de la corteza terrestre ([Campillo & Sadzawka, 1999](#)) y es tan reactivo y tóxico que limita la absorción de agua y nutrientes ([Blancaflor et al., 1998](#); [Kochian et al., 2004](#); [Panda et al., 2009](#)), puesto que, el sitio de toxicidad del Al se localiza en el ápice de la raíz donde se inhibe la división celular ([Sivaguru & Horst, 1998](#); [Sivaguru et al., 1999](#); [Matsumoto, 2000](#); [Barcelo & Poschenrieder, 2002](#); [Kochian et al., 2004](#); [Panda et al., 2009](#)), afectando todo el metabolismo de la planta ([Méndez et al., 2016](#)). Sin embargo, en suelos muy ácidos, no solo el  $\text{Al}^{3+}$  y el  $\text{H}^+$  son tóxicos, también pueden ser el hierro (Fe) y el manganeso (Mn) ([Espinosa & Molina, 2015](#); [Toledo, 2016b](#)). A fin de cuentas, los principales mecanismos de adaptación de las plantas están correlacionados con la tolerancia de las especies ([Campillo & Sadzawka, 1999](#); [Méndez et al., 2016](#)) y la utilización de productos enalantes ([Zapata Hernández, 2004](#)).

**4.2.3.2 Naturaleza de la acidez.** Existen varios procesos por lo que se produce la acidez del suelo:

**Alta caída pluviométrica.** El peso del agua de la lluvia arrastra consigo nutrientes hasta los estratos más profundos del suelo ([Conti, 1998](#); [Toledo, 2016b](#)). Particularmente, se lixivian los cationes intercambiables como él: Ca, Mg, K y Na, dejando espacios libres que luego son ocupados por el hidrógeno  $\text{H}^+$  del agua o de reacciones químicas que causan acidez; por otra parte, éste  $\text{H}^+$  se adhiere a la superficie de los coloides desplazando y remplazando al  $\text{Al}^{3+}$  que luego es absorbido por las plantas y otra parte de  $\text{Al}^{3+}$  remplaza los espacios vacíos que dejaron los cationes lavados ([Prat Pérez, 1981](#); [Bernier & Alfaro, 2006](#); [Toledo, 2016b](#)).

**Altos contenidos de materia orgánica.** La materia orgánica por acción de los microorganismos se descompone produciendo anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) transformándose en bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) que a la vez libera hidrogeno, mismo que acidifica el suelo ([Campillo & Sadzawka, 1999](#); [Bernier & Alfaro, 2006](#)).

**Uso de fertilizantes de reacción ácida.** Los fertilizantes nitrogenados en forma de amonio son los causantes de la acidificación, por acción de reducción biológica los amónicos se transforman en nitratos y a la vez liberan  $\text{H}^+$ , debido a que las plantas prefieren nitratos en

su nutrición; a menos que, las plantas consuman directamente el amonio y no liberen  $H^+$  ([Espinosa et al., 2022](#); [Bernier & Alfaro, 2006](#); [Espinosa & Molina, 2015](#)).

**Acción extractora de las plantas.** Zonas donde se realiza agricultura intensiva corren el peligro de acidificar el suelo ([Sánchez, 1987](#); [Taboada & Lavado, 2009](#)); dado que, las plantas absorben cationes y a cambio liberan  $H^+$  para mantener el equilibrio en su interior, lo que reduce el pH del suelo ([Prat Pérez, 1981](#); [Campillo & Sadzawka, 1999](#); [Sanchez Torres, 2012](#); [Vázquez & Millán, 2017](#)), aunque esto es evidente en suelos neutros o alcalinos ([Espinosa et al., 2022](#)).

#### 4.2.4 *pH del suelo*

El potencial de hidrógeno o pH, revela la concentración de iones H en la solución del suelo ([Toledo, 2016b](#)). De este modo, el pH se mide en una escala de 1 a 14, siendo 7 la neutralidad donde la concentración de hidrógeno ( $H^+$ ) e hidroxilo ( $OH^-$ ) son iguales, de manera que un  $pH < 7$  es ácido con elevadas concentraciones de iones H mientras que, un  $pH > 7$  es alcalino e incrementa la concentración de iones  $OH^-$  ([Marin & Lora, 1974](#); [Campillo & Sadzawka, 1999](#); [Rigoberto et al., 2002](#); [Toledo, 2016b](#)). De tal manera, cada unidad de cambio del pH corresponde a una variación de diez veces la concentración, de este modo, un suelo con pH 6,5 es diez veces menos ácido que uno de 5,5 y cien veces menos que un pH 4,5 ([Angélica, 1998](#); [Campillo & Sadzawka, 1999](#); [Espinosa et al., 2022](#)).

Dicho esto, el pH influye sobre la disponibilidad de nutrientes ([Marin & Lora, 1974](#); [Osorio, 2012b](#); [Gutiérrez & Restrepo, 2019](#)). Y ese sentido, aunque las plantas acepten un amplio rango, prefieren un pH cercano al neutro porque es donde la mayoría de nutrientes están disponibles ([Prat Pérez, 1981](#)). En tal caso, en los suelos ácidos, el Ca, Mg, Mo y P pueden causar deficiencias nutricionales porque no suelen estar disponibles mientras que, el Al, Mn y Fe pueden ser tóxicos; por otra parte, en los suelos alcalinos la disponibilidad de Fe, Zn, B, Mn y P disminuye mientras que el Na puede ser tóxico, limitando el crecimiento de las plantas ([Osorio, 2012b](#); [Toledo, 2016b](#)).

### 4.3 **Encalado del suelo**

A principios del siglo XX ya era objetivo de estudio el encalado de suelos, pero fue a mitad del mismo siglo cuando se definió la importancia para el control de la acidez del suelo ([Alvarado & Fallas, 2004](#)). El encalado consiste en la aplicación de los carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio con distinto poder de neutralización ([Campillo & Sadzawka, 2010](#); [Espinosa & Molina, 2015](#); [Toledo, 2016b](#)). Sin duda alguna, el encalado tiene

efectos positivos para la sostenibilidad agrícola ([Haynes & Naidu, 1998](#)); a medida que el pH del suelo aumenta: neutraliza la acidez, proporciona calcio y/o magnesio como nutrientes, mejora la actividad microbiana del suelo, aumenta la disponibilidad de nutrientes, mejora la estructura del suelo e incrementa el rendimiento y calidad de las cosechas ([Marin & Lora, 1974](#); [Rigoberto et al., 2002](#); [Osorno & Osorno, 2010](#); [Osorio, 2012a](#)).

#### **4.3.1 Reacciones de la cal en el suelo.**

La efectividad de cualquier material encalante, radica en el tiempo de incubación ([Bernier & Alfaro, 2006](#)), de hecho, cuanto más fino es el material, más rápida será su reacción; sin embargo, también se debe considerar la pureza química y contenido de otros nutrientes ([Ortega, 1985](#); [Campillo & Sadzawka, 2010](#)). De este modo, los óxidos e hidróxidos, al tener una textura más fina, son mucho más efectivos que el silicato de calcio, la cal dolomítica y la calcita ([Toledo, 2016b](#)). A pesar de ello, los materiales encalantes deben ser aplicados al suelo con anticipación, este tiempo puede variar desde los 20 a 30 días ([Osorno & Osorno, 2010](#); [Osorio, 2012a](#)) o incluso de 4 a 6 meses ([Bernier & Alfaro, 2006](#)).

Por lo general, es preferible incorporar la cal en los primeros 15 a 20 cm del suelo y en condiciones de humedad para su mayor efectividad ([Osorno & Osorno, 2010](#); [Toledo, 2016b](#)), de todas maneras, no hay limitaciones en cuanto a la época de aplicación. Conviene aclarar que, en ese caso, la cal se hidroliza con el agua de la solución suelo disociándose en iones calcio, ion bicarbonato y iones oxidrilos ( $\text{OH}^-$ ). Por un lado, el ion bicarbonato y los iones H tienen una fuerte afinidad, y en este punto, los bicarbonatos atraen al H del complejo coloidal para formar ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) que es inestable y rápidamente se disocia en anhídrido carbónico; por otro lado, el Ca pasa a ocupar los sitios liberados por el H y los iones ( $\text{OH}^-$ ) se unen al  $\text{Al}^{3+}$  para precipitarlo en forma de hidróxido de aluminio [ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ] que no es tóxico ([Bernier & Alfaro, 2006](#); [Osorio, 2012a](#)).

### **4.4 Cultivo de papa**

#### **4.4.1 Origen de la papa**

La papa es una planta originaria de América del Sur, y la mayor diversidad genética es posible encontrarla en el cinturón Andino ([Montaldo, 1984](#); [Pumisacho & Velásquez, 2009](#)). Sin embargo, se cree que este cultivo fue domesticado entre Perú y Bolivia ([Pumisacho & Sherwood, 2002](#)).

#### **4.4.2 Características de la variedad seleccionada**

La variedad superchola es el resultado del cruzamiento realizado entre las variedades *Curipamba* negra x *Solanum demissum* y clon resistente con comida amarilla x chola seleccionada, liberada en 1984 por el señor Germán Bastidas ([Andrade, 1998](#); [Pumisacho & Sherwood, 2002](#)).

La variedad superchola se adapta a climas templado-frío sobre los 2950 m s.n.m., además, es una variedad tardía que se cosecha a los 180 días con un periodo de dormancia de 80 días y un follaje extremadamente frondoso con un rendimiento de aproximadamente 30 t/ha ([Pumisacho & Sherwood, 2002](#)). El cultivo tiene un hábito de crecimiento erecto, hojas de color verde intenso, floración morada arriba del follaje con un largo pedúnculo ([Pumisacho & Velásquez, 2009](#)). Por otra parte, la variedad superchola es tolerante al nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*) y medianamente resistente a la roya (*Puccinia pittieriana*); sin embargo, es susceptible a la lancha (*Phytophthora infestans*) ([Andrade, 1998](#); [Pumisacho & Sherwood, 2002](#))

#### **4.4.3 Producción de papa a nivel nacional**

A nivel nacional, la papa ocupa el primer lugar en producción de raíces y tubérculos dicho eso, en 2022 se produjo 14 t ha<sup>-1</sup> de papa a nivel nacional mientras que a nivel provincial se obtuvieron las siguientes cifras: Carchi, 4,14 t ha<sup>-1</sup>; Imbabura, 16,40 t ha<sup>-1</sup>; Pichincha 14,10 t ha<sup>-1</sup>; Cotopaxi, 13,41 t ha<sup>-1</sup>; Tungurahua, 13,04 t ha<sup>-1</sup>; Bolívar, 11,70 t ha<sup>-1</sup>; Chimborazo, 9,11 t ha<sup>-1</sup>; Cañar 3,77 t ha<sup>-1</sup>; Azuay, 4,15 t ha<sup>-1</sup> y en la provincia de Loja el rendimiento oscila entre las 2,96 t ha<sup>-1</sup> según cifras de SIPA ([2023](#)). Definitivamente, Loja representa el rendimiento más bajo a nivel nacional.

## 5 Metodología

### 5.1 Ubicación y descripción del sitio experimental

Esta investigación se llevó a cabo en la Finca “Montoya” del sector Carboncillo con una latitud de 3° 32' 0" S, longitud 79° 15' 0" O y una altitud de 2 883 m s.n.m, localizada a 16 km al norte del centro cantonal de Saraguro. La temperatura del lugar oscila entre 9 a 18 °C, velocidad del viento 10 km/h, precipitación media anual de 790 mm y una humedad relativa entre el 60 y 80 % respectivamente, correspondiendo a una formación ecológica de bosque húmedo montano bajo (bhMb).

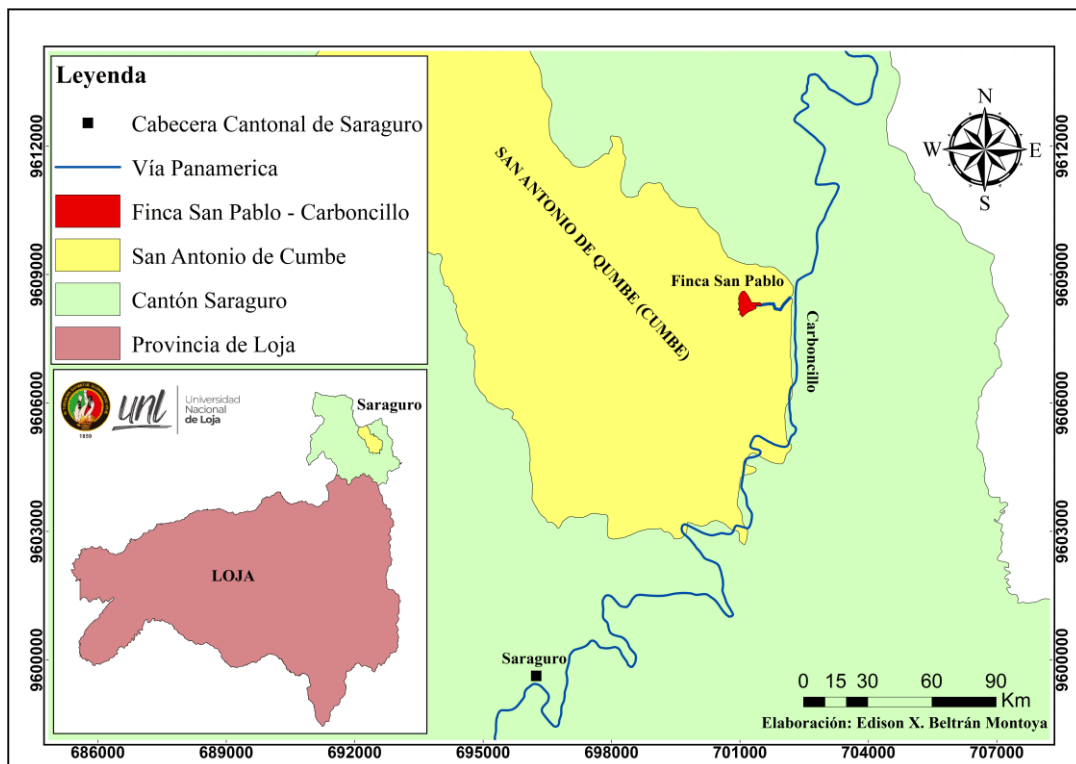


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

### 5.2 Unidad experimental

#### 5.2.1 Diseño experimental de estudio

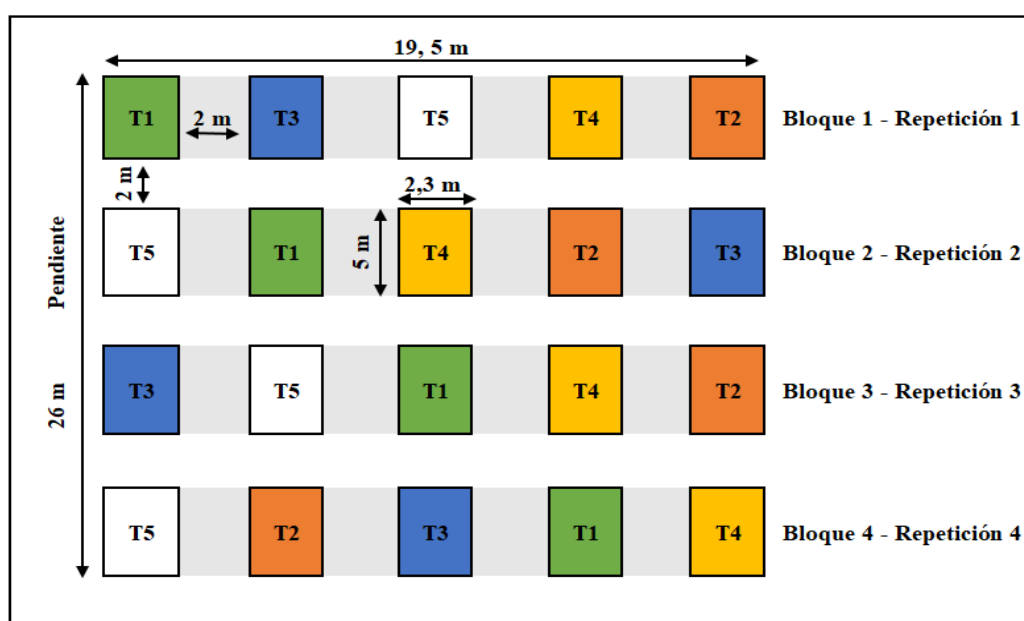
El ensayo se desarrolló bajo un diseño en bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro tratamientos más un testigo y cuatro repeticiones, dando un total de 20 unidades experimentales (UE) como se muestra en la figura 2. Para tal caso, en un área de 507 m<sup>2</sup> se trazaron 4 bloques en horizontal debido a la pendiente del terreno, si bien, cada bloque con una separación de 2 m; al mismo tiempo, se trazaron 5 parcelas por bloque, con un área de 11,5 m<sup>2</sup> y una separación de 2 m entre ellas para conservar la independencia de estudio. Así mismo, se trazaron 4 surcos por parcela con una densidad de 24 plantas por UE, con un marco de plantación de 0,4 m entre planta y 1,2 m entre surco, acogiendo sugerencias de [\(Muñoz & Cruz,](#)

1984). Para terminar, se aplicaron dos dosis de encalado, mismas que se determinaron mediante el método combinado y de Toledo (2007) como sugieren Espinoza & Molina (2015) y Toledo (2016b) como se detalla en la tabla 1.

**Tabla 1.** *Tratamientos utilizados en el sitio de experimentación. Carboncillo, Loja, Ecuador*

Tratamientos	Enmienda	Dosis/ha	Dosis/parcela
T1	Silicato de calcio	4,4 ton/ha	13,8 Kg/parcela
T2	Silicato de calcio	8,3 ton/ha	26,4 kg/parcela
T3	Hidróxido de calcio	4,4 ton/ha	13,8 Kg/parcela
T4	Hidróxido de calcio	8,3 ton/ha	26,4 kg/parcela
T5	Testigo	0 ton/ha	0 kg/parcela

### 5.2.2 Distribución del esquema en campo



**Figura 2.** *Croquis de la distribución de los tratamientos en campo.*

### 5.3 Metodología general

Para la implementación del ensayo se utilizó semilla propia de la zona, variedad *superchola* cosechada en campañas anteriores; simultáneamente, el material seleccionado fue sometido a un periodo de tres meses de dormancia. Al mismo tiempo, al material en dormancia se le aplicó 50 g de malatión por quintal de semilla para evitar posibles proliferaciones de plagas. De igual modo, dos meses antes de la siembra se colectaron 25 submuestras aleatorias a una profundidad de 0,25 m correspondiente a la capa arable del suelo y se homogenizaron para obtener una muestra compuesta con la recomendación de Marchán et al (2009). Estas muestras se enviaron al laboratorio de suelos de AGROCALIDAD y al laboratorio de Suelos



y Aguas de la Universidad Nacional de Loja (UNL), donde se determinaron parámetros como los que se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Resultados del análisis del suelo realizado en el área de estudio previo a la aplicación de las enmiendas.

Parámetro	Método	Valor	Unidad	Determinación
pH a 25 °C	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	4,71		
Bases totales	Cálculo PEE/SFA/14	5,78	cmol/kg	
Saturación de bases	Cálculo PEE/SFA/14	16,31	%	
CIC	Cálculo PEE/SFA/14	35,44	cmol/kg	
Conductividad eléctrica	Conductímetro PEE/SFA/08	0,189	dS/m	
Acidez intercambiable	Volumétrico PEE/SFA/27	16,58	meq/100 g	
Aluminio intercambiable	Volumétrico PEE/SFA/27	8,56	meq/10 g	
Materia orgánica	Volumétrico PEE/SFA/09	14,72	%	
Nitrógeno	Volumétrico PEE/SFA/09	0,74	%	AGROCALIDAD
Fósforo	Colorimétrico PEE/SFA/11	14,3	mg/kg	
Potasio	Absorción Atómica PEE/SFA/12	0,29	cmol/kg	
Calcio	Absorción Atómica PEE/SFA/12	4,36	cmol/kg	
Magnesio	Absorción Atómica PEE/SFA/12	0,49	cmol/kg	
Hierro	Absorción Atómica PEE/SFA/13	871	mg/kg	
Manganeso	Absorción Atómica PEE/SFA/13	14,9	mg/kg	
Cobre	Absorción Atómica PEE/SFA/13	1,41	mg/kg	
Zinc	Absorción Atómica PEE/SFA/13	3,99	mg/kg	
Textura	Bouyoucos PEE/SFA/20	Franco Arenoso		
Densidad aparente	Cilindro	0,5	g/cm <sup>3</sup>	UNL
Taxonomía	Inceptisol – <i>andic dystrudepts</i>			SIG Tierras

Posteriormente, los resultados obtenidos permitieron determinar el requerimiento de los materiales encalantes a base de hidróxido de calcio y silicato de calcio que fueron aplicados 35 días antes de la siembra como sugiere Osorio (2012a); al mismo tiempo, los resultados permitieron la implementación de un plan de fertilización.

Antes que nada, la preparación del suelo se efectuó dos meses antes de la siembra como sugiere Román Cortez & Hurtado (2002), de modo que, el arado o rompe del terreno se realizó con tractor y el cruce con yunta para romper todos los terrones. Así pues, un día antes de la siembra se trazaron los surcos y se limpiaron el día de la siembra a una profundidad de 0,15 m; por otra parte, al fondo de cada surco se aplicó 0,5 kg a chorro continuo de una mezcla de sulfato de magnesio, 10-30-10 y muriato de potasio con un recubrimiento de una fina lámina de tierra donde se depositaron dos tubérculos de semilla a 0,4 m de distancia por golpe. Y por último, se recubrieron los surcos con una lámina de tierra de aproximadamente 10 cm como sugiere Araujo et al (2021).

Al transcurso de los 30 días después de la siembra (DDS), se realizó una aplicación foliar preventiva con 25,3 g de PROCYMOX® para la lancha (*Phytophthora infestan*) a base de Mancozeb y Cymoxanil y 20 ml de CURACRON® para el control de polillas guatemaltecas a base de Profenofos conjuntamente con 10 ml de fijador (AGROPEGA®) a base de Etoxilado de Alquifento por 20 litros de agua. De manera análoga, a los 37 DDS se realizó un retape donde se aplicó 0,1 kg de fertilizantes alrededor de cada surco con una mezcla de sulfato de magnesio y 10-30-30. Por otra parte, el aporque se realizó a los 56 DDS, para ello se aplicó 1 kg de fertilizante alrededor de cada surco con una mezcla de nitrato de calcio y muriato de potasio.

Al término de los dos primeros meses, cada semana se aplicó 80 g de PATRON® para la lancha a base de Dimetomorph y Mancozeb, 50 ml de CONQUEST® para la paratrisosa a base de Thiametoxam y Lambdacihalotrina y 60 ml de AGROPEGA® en 80 litros de agua. Luego, en plena floración, cada semana se aplicó 40 ml de DIABOLO® para los minadores a base de Dimetoato, 50 ml de CONQUEST® para la paratrisosa, fertilizante Metalosate de Zn conjuntamente con 60 ml de AGROPEGA® en 100 litros de agua. Finalmente, cada 15 días después de la floración se aplicó 50,7 g de PROCYMOX® para la lancha, 50 ml de CONQUEST® para la paratrisosa, 10.14 ml de KOMPRESSOR para la polilla guatemalteca a base de Diflubenzurom y Lambda Cyhalothrim, 50 g de KELATEX® de Mg para las deficiencias que se presentaron conjuntamente con 60 ml AGROPEGA® en 100 litros de agua.

Desafortunadamente, no fue posible la aplicación de riego por incidentes en el sistema de riego, por lo que el ensayo fue dependiente del temporal como un cultivo de secano. Por otra parte, los deshierbes se llevaron a cabo cada 15 días para evitar posibles proliferaciones de plagas.

#### **5.4 Metodología para el primer objetivo:**

Mediante los resultados de análisis de suelo se evaluó el efecto de la aplicación de encalantes en cada tratamiento, para finalmente comprobar que tratamiento fue mejor sobre algunas propiedades químicas del suelo.

**Determinar el efecto de dos dosis de encalado sobre un suelo agrícola del sector Carboncillo y su influencia sobre la disponibilidad de nutrientes a los 40 y 80 días después de la aplicación.**

##### **5.4.1 Comportamiento de la acidez del suelo**

Mediante análisis de suelo se evaluó el comportamiento del pH y acidez intercambiable del suelo a los 40 y 80 días después de la aplicación (DDA) de enmiendas encalantes como en el estudio de Cruz y Macal (2018). Hay que recalcar que los análisis se realizaron a cada tratamiento con su respectiva repetición.

#### **5.4.2 *Evaluar la disponibilidad de nutrientes***

Anticipadamente, al ensayo, se realizó un análisis de suelo compuesto, sin embargo, a los 40 y 80 DDA se realizaron análisis de suelo elementales por cada tratamiento y repetición en los laboratorios de AGROCALIDAD.

#### **5.4.3 *Evaluación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC)***

La CIC se determinó a los 40 y 80 DDA por tratamiento con su respectiva repetición. Siendo el caso, para ello, se sumó cationes como: K + Ca + Mg + Al y se expresó en cmol/kg como en el manual de ASA (2020).

#### **5.4.4 *Evolución de la saturación de bases.***

La saturación de bases se determinó a los 40 y 80 DDA por tratamiento con su respectiva repetición. Siendo el caso, % V se calculó mediante la siguiente expresión como propone ASA (2020):  $\% V = \{ (Ca + Mg + K) / CIC \} \times 100$ .

### **5.5 Metodología para el segundo objetivo:**

#### ***Evaluar la influencia de dos dosis de encalado sobre el crecimiento, desarrollo y producción de papa.***

Mediante la recolección de datos se evaluó el efecto de la aplicación de encalantes en cada tratamiento, para finalmente comprobar que tratamiento fue mejor en cuánto al rendimiento.

#### **5.5.1 *Porcentaje de Emergencia***

Cuidando la independencia de estudio, se contaron 8 plantas emergidas a los 26 DDS por UE y se expresó en porcentaje, modificando el estudio de Ojeda et al., (2010).

#### **5.5.2 *Días a floración***

Se registró el número de DDS hasta la aparición del 50 % de botones florales por unidad experimental.

#### **5.5.3 *Altura de planta***

Se midió la altura desde el ras del suelo hasta el ápice de la planta a los 30, 60 y 90 DDS como el estudio de Cevallos ([2013](#)).

#### **5.5.4 Días a la cosecha**

Se contaron los DDS hasta que cada parcela presento el 75% de senescencia como el estudio de Ojeda et al., ([2010](#)).

#### **5.5.5 Número de tubérculos por planta**

Se conto los tubérculos con base a una muestra de 8 plantas por parcela, se sumó el total y luego se tomó el promedio de los datos obtenidos como Meza ([2013](#)).

#### **5.5.6 Peso de tubérculos por planta**

Se peso los tubérculos por planta con base a una muestra de 8 plantas por parcela y se expresó en kilogramos de tubérculos por planta como Ortega Montoya ([2023](#)).

#### **5.5.7 Rendimiento**

El rendimiento se obtuvo mediante la siguiente expresión como en el estudio de Meza ([2013](#)):  $Rdto (kg/ha) = \{Peso \text{ de la parcela (kg)}/Área \text{ de la parcela (m}^2)\} \times 10\,000 \text{ m}^2$ . Para lo cual, se consideraron 8 plantas por UE.

### **5.6 Análisis estadístico**

Los datos registrados en campo se sometieron a un análisis de varianza ANOVA con un p-valor <0,05 para verificar si los tratamientos fueron significativos; en tal caso, los valores significativos se sometieron a verificación de supuestos y posteriormente a pruebas de comparación múltiple de *Tukey* con intervalos de confianza del 95 %. Sin embargo, a los 80 DDA, elementos como el Ca, Mg, Fe y Zn no cumplieron con la homogeneidad de varianza mediante *Test de Levene*, por lo tanto, fueron sometidos a Modelos lineales generales y mixtos con dos agrupaciones para la prueba de *LSD Fisher* con intervalos de confianza del 95%. Para tal efecto, la tabulación de datos se llevó a cabo en *InfoStat*.

## 6 Resultados

### 6.1 Comportamiento del pH

El pH del suelo fue afectado significativamente a los 40 y 80 DDA con la aplicación de la relación 8,3 t ha<sup>-1</sup> de hidróxido de calcio (Tabla 3).

**Tabla 3.** *pH promedio luego de la aplicación de enmiendas, sector "Carboncillo", cantón Saraguro.*

Tratamiento	pH Inicial	pH a los 40 DDA	pH a los 80 DDA
T1 (4,4 ton ha <sup>-1</sup> de silicato de calcio)		4,69c	4,65bc
T2 (8,3 ton ha <sup>-1</sup> de silicato de calcio)		4,67c	4,55c
T3 (4,4 ton ha <sup>-1</sup> de hidróxido de calcio)	4,71	4,98b	4,86b
T4 (8,3 ton ha de hidróxido de calcio)		5,49a	5,66a
T5 (Testigo)		4,71c	4,71bc

**Fuente:** *Análisis del laboratorio AGROCALIDAD. Medias con letras en común en columna no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ).*

### 6.2 Comportamiento de la acidez

En la tabla 4, se evidenció que T4 fue significativo en la reducción de la acidez intercambiable a los 40 y 80 DDA. No obstante, a los 40 DDA, solo T4 fue significativo en la reducción del Al; por otra parte, a los 80 DDA, la reducción del Al no fue significativo para T3 y T4, aunque, T4 mostró la media más alta.

**Tabla 4.** *Resultados de la acidez intercambiable frente al encalado del suelo, sector "Carboncillo", cantón Saraguro.*

Tratamiento					
Componente	T1	T2	T3	T4	T5
Acidez intercambiable inicial (meq/100 g)			16,58		
Acidez intercambiable los 40 DDA (meq/100 g)	12,38c	14,73cd	7,75b	1,71a	16,58d
Acidez intercambiable los 80 DDA (meq/100 g)	8,87c	9,69c	5,98b	0,34a	16,58d
Aluminio inicial (meq/100 g)			8,56		
Aluminio a los 40 DDA (meq/100 g)	5,21c	6,45d	3,18b	0,48a	8,56e
Aluminio a los 80 DDA (meq/100 g)	1,88c	1,55bc	0,91ab	0,15a	8,56d

**Fuente:** *Análisis del laboratorio AGROCALIDAD. Medias con letras en común en fila no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ).*

### 6.3 Disponibilidad de nutrientes

#### 6.3.1 Disponibilidad a los 40 DDA

Después de la aplicación de materiales encalantes, los valores no muestrearon diferencia significativa en los parámetros de: MO, N y Zn. Por otra parte, elementos como: P, K, Ca, Mg, Fe y Cu mostraron diferencias significativas en al menos un tratamiento (Tabla 5).

**Tabla 5.** Disponibilidad de MO, macro y micronutrientes luego de la corrección de acidez, sector "Carboncillo", cantón Saraguro a los 40 DDA.

Tratamientos Elementos	Inicio	T1	T2	T3	T4	T5
MO (%)	14,72A	16,31	16,62	15,39	15,77	14,72
N (%)	0,74A	0,81	0,83	0,77	0,79	0,74
P (mg/kg)	14,3M	21,35ab	25, 60a	19,25abc	12,53c	14,30bc
K (cmol/kg)	0,29M	0,69a	0, 75a	0, 61a	0, 63a	0,29b
Ca (cmol/kg)	4,36A	5,94c	6,44c	9,57b	16, 21a	4,36c
Mg (cmol/kg)	0,49M	0,86ab	1,01a	0,78abc	0,66bc	0,49c
Fe (mg/kg)	871A	1117,90bc	1289,53c	922,20b	522, 70a	871ab
Mn (mg/kg)	14,9M	15,01ab	18,32b	9,38a	9,72ab	14,90ab
Cu (mg/kg)	1,41M	2,61c	2,69c	2,44bc	2,11b	1,41a
Zn (mg/kg)	3,99M	4,56	4,51	3,82	3,33	3,99

**Fuente:** Análisis del laboratorio AGROCALIDAD. Medias con letras en común en fila no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ).

**Valores antes del ensayo (Inicio).** A: alto M: medio B: bajo

#### 6.3.2 Disponibilidad a los 80 DDA

Después de la aplicación de materiales encalantes, los valores no muestran diferencias significativas en los parámetros de: MO, N y P. Por otra parte, elementos como: K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn mostraron diferencias significativas (Tabla 6).

**Tabla 6.** Disponibilidad de MO, macro y micronutrientes luego de la corrección de acidez, sector "Carboncillo", cantón Saraguro a los 80 DDA.

Tratamientos Elementos	Inicio	T1	T2	T3	T4	T5
MO (%)	14,72A	16,23	16,65	15,62	16,02	14,75
N (%)	0,74A	0,81	0,83	0,78	0,80	0,74
P (mg/kg)	14,3M	17,63	23,08	21,10	18,10	14,30
K (cmol/kg)	0,29M	0,57a	0, 68a	0, 54a	0, 63a	0,29b
Ca (cmol/kg)	4,36A	4,93cd	5,25c	7,61b	17,11a	4,36d

Mg (cmol/kg)	0,49M	0,41a	0,56a	0,40a	0,20b	0,49a
Fe (mg/kg)	871A	1090,30cd	1238,88d	923,33bc	393,65a	871,00b
Mn (mg/kg)	14,9M	15,74b	17,82b	12,63ab	7,86a	14,90b
Cu (mg/kg)	1,41M	2,39b	2,31b	2,35b	1,65a	1,41a
Zn (mg/kg)	3,99M	1,94b	1,98b	1,67ab	1,60a	3,99c

**Fuente:** Análisis del laboratorio AGROCALIDAD. Medias con letras en común en fila no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ).

**Valores antes del ensayo (Inicio).** A: alto M: medio B: bajo

#### 6.4 Capacidad de intercambio catiónico

La CIC del suelo fue afectada significativamente a los 40 y 80 DDA con la aplicación de la relación 8,3 t ha<sup>-1</sup> de hidróxido de calcio (Tabla 7).

**Tabla 7.** Resultados de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) frente al encalado del suelo, sector "Carboncillo", cantón Saraguro

Tratamiento	CIC inicial	CIC a los 40 DDA	CIC a los 80 DDA
T1		12,70b	7,80c
T2	13,7	14,68b	8,05c
T3		14,15b	9,48c
T4		17,95a	18,10a
T5		13,70b	13,70b

**Fuente:** Análisis del laboratorio AGROCALIDAD. Medias con letras en común en columna no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ )

#### 6.5 Saturación de bases

En la tabla 8 se muestra que a los 40 DDA solo T4 es significativo; sin embargo, a los 80 DDA T3 y T4 no fueron significativos, aunque la media más alta se registró en T4.

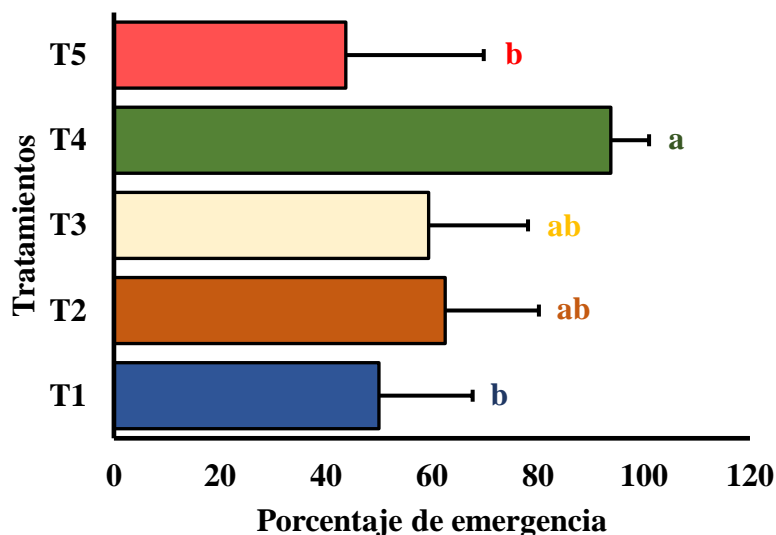
**Tabla 8.** Resultados de la saturación de bases (% V) frente al encalado del suelo, sector "Carboncillo", cantón Saraguro.

Tratamiento	% V inicial	% V a los 40 DDA	% V a los 80 DDA
T1		58,25c	75,30c
T2	37,5	56,10c	81,13bc
T3		77,43b	90,68ab
T4		97,23a	99,18a
T5		37,5d	37,5d

**Fuente:** Análisis del laboratorio AGROCALIDAD, 2023. Medias con letras en común en columna no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ).

## 6.6 Porcentaje de emergencia

El análisis de varianza mediante la prueba paramétrica de Tukey con un nivel de significancia de  $P < 0,05$  reveló que el tratamiento T4, T3 y T2 no presentaron diferencias significativas; sin embargo, T4 presentó la media mayor y estadísticamente es diferente de T1 y T5 como se evidencia en la figura 3.



**Figura 3.** Porcentaje de emergencia a los 26 días después de la siembra. Las líneas sobre las barras, representan la desviación estándar.

## 6.7 Altura de la planta

T4 fue significativo al evaluar la altura de la planta a los 30 DDS. Por otra parte, a los 60 DDS, T4, T2 y T3 no fueron significativos; del mismo modo, a los 90 DDS, T4, T2 y T3 no fueron significativos. Sin embargo, a los 60 y 90 DDS, T4 presentó las medias superiores (Tabla 9).

**Tabla 9.** Altura de la planta en el cultivo de papa a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (DDS).

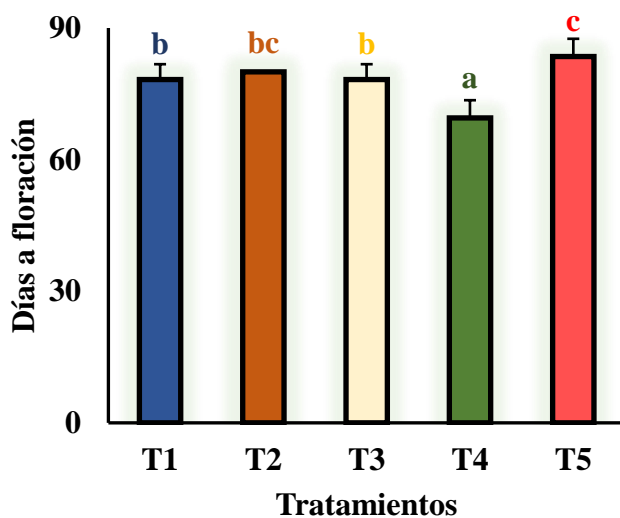
Tratamientos	Altura de planta en (cm)		
	30 días	60 días	90 días
T1	9,33b	63,75b	115,50bc
T2	11,33b	68,00ab	119,25ab
T3	11,25b	67,25ab	119,75ab
T4	19,90a	83,50a	130,25a
T5	7,13b	57,50b	103,50c

Medias con letras en común en vertical no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).



## 6.8 Días a la floración

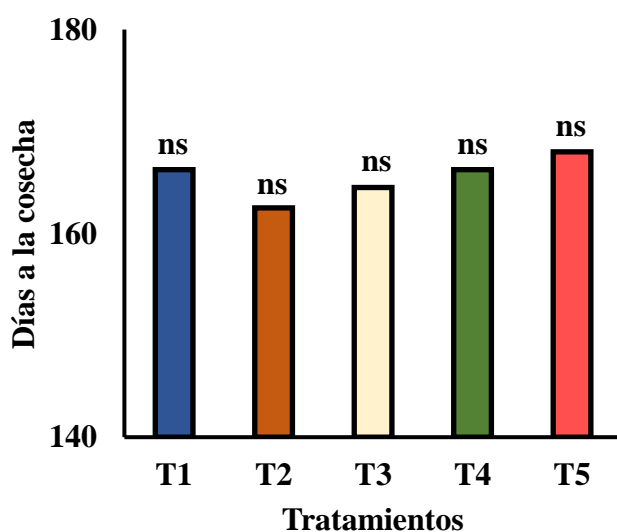
T4 fue estadísticamente distinto a los demás tratamientos, llegando a floración a los 69 DDS, lo que indica que con la aplicación de la relación 8.3 t ha<sup>-1</sup> de hidróxido de calcio se tuvo mayor precocidad (Figura 4).



**Figura 4.** Días a floración del cultivo de papa. Las líneas sobre las barras, representan la desviación estándar.

## 6.9 Días a la cosecha

Los días transcurridos desde la siembra hasta la cosecha, fueron desde los 147 días hasta los 175; sin embargo, ningún tratamiento presentó significancia (Figura 5).



**Figura 5.** Días a la cosecha.

### 6.10 Número de tubérculos por planta

La aplicación de encalantes no influyó sobre sobre ningún tratamiento como se aprecia en la figura 6.

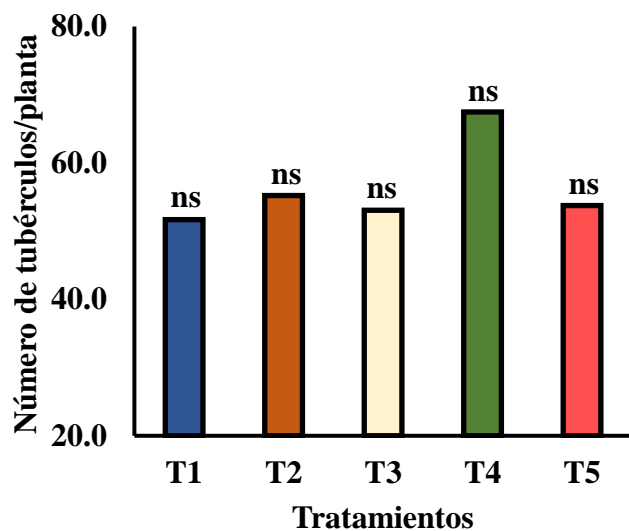


Figura 6. *Número de tubérculos por planta.*

### 6.11 Peso de tubérculos por planta (kg)

Cuando se aplicó la relación 8,3 t ha de hidróxido de calcio se alcanzó el valor más alto y fue estadísticamente superior a los demás tratamientos (Figura 7).

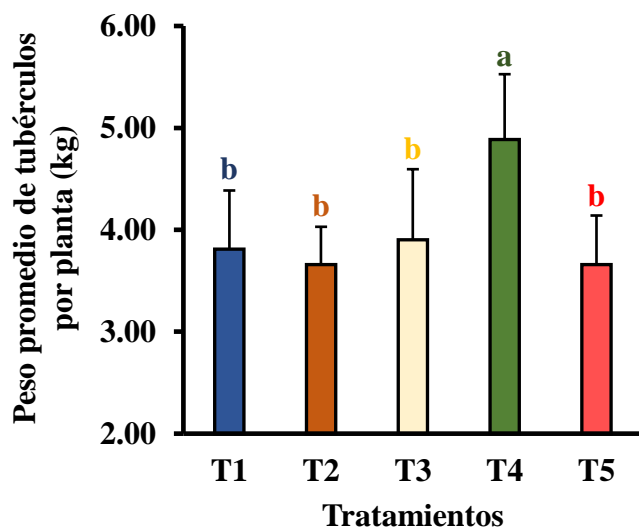
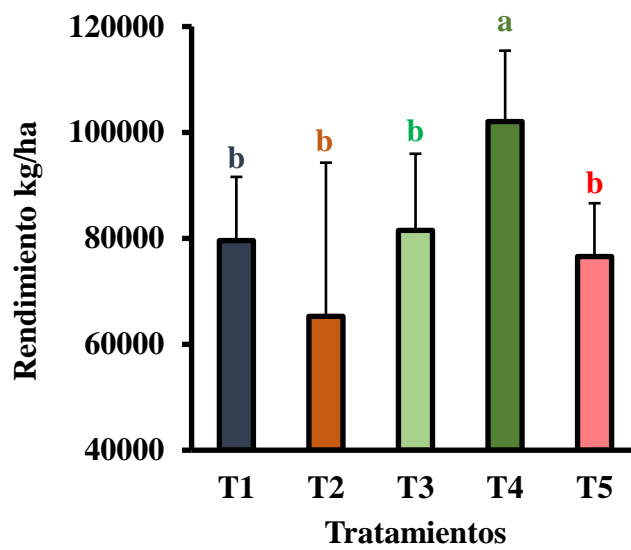


Figura 7. *Peso promedio de tubérculos por planta. Las líneas sobre las barras, representan la desviación estándar.*

### 6.12 Rendimiento (kg/ha)

El rendimiento agrícola fue positivamente afectado por la aplicación de la relación 8,3 t ha<sup>-1</sup> de hidróxido de calcio (Figura 8).



**Figura 8.** Rendimiento en kg/ha del cultivo de papa. Las líneas sobre las barras, representan la desviación estándar.

## 7 Discusión

En muchos lugares del mundo, la producción agrícola es crítica por la acidez del suelo ([Kochian et al., 2004](#); [Zhao et al., 2020](#)). En este sentido, la acidez se neutraliza con la aplicación de cal en diferentes dosis ([Sadeghian & Marín, 2020](#)) y con la aplicación de diferentes materiales ([Osorio, 2012a](#)); en ese caso, el pH influye negativamente sobre la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana ([Wan et al., 2020](#)), al mismo tiempo, cuando el pH es muy bajo ([Rahman et al., 2018](#); [Niu et al., 2020](#)) el  $Al^{+++}$  se vuelve altamente tóxico ([Gupta et al., 2013](#); [Bojórquez-Quintal et al., 2017](#)) que inhibe la absorción de agua y nutrientes ([Kochian et al., 2004](#)) y además se solubiliza el Fe y el Mn ([Suarez De & Rodriguez, 1958](#)). Por tal situación, este estudio demuestra la efectividad de dos dosis de encalado con la utilización de hidróxido de calcio ( $Ca(OH)_2$ ) y silicato de calcio ( $Ca_2O_4Si$ ) frente a la fuerte acidez de un suelo del sector Carboncillo.

El pH del suelo se incrementó significativamente con  $Ca(OH)_2$ , algo similar ocurrió con el estudio de Cruz & Macal ([2018](#)) y Giraldo et al. ([2020](#)). Por otra parte, Araya et al. ([2015](#)) al utilizar silicato de potasio ( $K_4(SiO_4)$ ), carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ) y óxido de magnesio ( $MgO$ ) en formas líquidas, el mayor incremento de pH y mayor reducción de acidez se registró con la aplicación de  $CaCO_3$  y  $MgO$ . A la vez, Alexander ([2020](#)), registró el mayor incremento de pH al combinar  $Ca(OH)_2$ , y  $CaCO_3$  y son pocos los estudios sobre el impacto de estas combinaciones ([Amoakwah et al., 2023](#)), mientras que, Quezada Moreno ([2022](#)) logró el mayor incremento de pH con el  $CaO$  respecto al  $CaCO_3$  y  $Ca_2O_4Si$  aunque no registró diferencias significativas en la reducción de la acidez.

A pesar de ello, se ha evidenciado casos donde los suelos de carga variables se resisten al cambio de pH ([Molina & Rojas, 2005](#)), algo similar reportó Ortiz et al., ([Ortiz et al., 1996](#)) al aplicar altas dosis de cal dolomita ( $CaMg(CO_3)_2$ ), lo que sugiere que son suelos con alto poder de tamponización ([Zapata Hernández, 2004](#)) y se puede atribuir a una mayor CIC, altos contenidos de MO y de Al ([Sadeghian & Marín, 2020](#)); generalmente, es característico de suelos con alto contenido de arcilla ([Raij, 2011](#)) y Andisoles ([Espinosa & Molina, 2015](#)), aunque los suelos arenosos tienen bajo poder tampón ([Sadeghian & Marín, 2020](#)). A la vez, Aguilar Acuña et al. ([2003](#)) señalaron que en un Andosol, el pH del suelo no incrementó con la aplicación de  $CaCO_3$  pero sí disminuyó la saturación de Al, por lo que es preciso determinar dosis de cal que neutralicen al Al aunque no incrementen el pH ([Pinzón et al., 1980](#)).

En todo caso, el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  demostró ser más efectivo que el  $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$  y esto se puede atribuir al poder relativo de neutralización total (PRNT) y los óxidos e hidróxidos tienen mayor PRNT porque son más finos que los silicatos y carbonatos ([ASA, 2020](#); [Espinosa & Molina, 2015](#)). Por un lado, los hidróxidos aportan Ca como nutriente y son más efectivos porque liberan iones  $\text{OH}^-$  a la solución suelo ([Bernier & Alfaro, 2006](#); [Espinosa & Molina, 2015](#)). Por otra parte, los silicatos aportan: Si, P, Ca, Mg, Mn Na, Al y Fe como nutrientes y liberan iones  $\text{SiO}_3^{2-}$  de lenta reacción ([Espinosa & Molina, 2015](#)) que captan iones H del suelo y neutralizan la acidez ([Villacorta Bardales, 2015](#)) al formar hidroxialuminosilicatos  $(\text{AlOSi}(\text{OH})_3)^{2+}$  ([Cocker et al., 1998](#)); aunque también, puede neutralizar la acidez al generar cargas repulsivas ([SEPHU, 2015](#)).

La neutralización de la acidez era de esperarse, está ampliamente registrado en la literatura ([Prado & Natale, 2005](#)); sobre todo, el efecto tóxico del Al ([Zapata Hernández, 2004](#); [Ortiz-Araya, 2008](#); [Bojórquez-Quintal et al., 2017](#)). No obstante, la neutralización del Al con  $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$  no fue significativo y a causa de ello, discrepamos con SEPHU ([2015](#)) y Rodríguez ([2018](#)) porque además, no se neutralizó al Fe ni al Mn y mucho menos se elevó al pH. Mientras se neutralizó Al, Fe y Mn con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , el Fe y Mn incrementaron con las dosis de  $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$  representando un peligro para la mayoría de cultivos ([Méndez & Bertsch, 2012](#)).

Partiendo de esa premisa, en el sector Carboncillo, el Al, Mn y Fe son un problema; no obstante, la productividad en suelos ácidos ([Rahman et al., 2018](#)), tiene relación con la tolerancia al Al ([Klug et al., 2011](#); [Yang et al., 2013](#)), lo que implica un mayor o menor uso de cal ([Marin & Lora, 1974](#)) o enmiendas orgánicas ([Mendoza Dávalos et al., 2021](#)). Por otra parte, no todos los suelos ácidos necesitan cal, ni todos los suelos deben llevarse al mismo pH ([Adams, 1984](#)) ya que un sobre encalado puede desbalancear relaciones Ca: Mg: K ([Ministerio, 2005](#)). En todo caso, si el pH del suelo está en un rango de 5,5 a 7,0 y no presenta toxicidad de aluminio, no se debería encalar ([Angélica, 1998](#)). De hecho, la cal puede neutralizar la acidez parcial o totalmente y al mismo tiempo puede elevar o no el pH del suelo ([Osorio, 2012a](#)).

Teniendo en cuenta lo anterior, Hewitt ([1949](#)) consideró a *Solanum tuberosum* como una especie tolerante, a su vez, Lee ([1971](#)) señaló que la tolerancia de algunas variedades de papa puede estar dada por la habilidad en que absorben Mg y K, puesto que el Mg mejora la fitotoxicidad del Al ([Bose et al., 2011](#)) y en realidad, la tolerancia de las plantas está dada por dos mecanismos de adaptación: por un lado, poseen un mecanismo de exclusión del Al donde la planta expulsa ácidos orgánicos para desintoxicar mediante la quelación al Al y por otra

parte, permiten el transporte de Al a las células de la raíz y al mismo tiempo lo secuestran en vacuolas u otros orgánulos para desintoxicarlo ([Jing et al., 2023](#)). En ese caso, la papa tolera un rango de pH de 4.1 a 7.1 ([Marin & Lora, 1974](#); [ICA., 1992](#); [Mengel & Kirkby, 2000](#); [Castellanos, 2014](#)) representando un gran potencial productivo en suelos ácidos ([Ausilio & Magra, 2018](#)) y, aunque la mayoría de plantas son susceptibles a la toxicidad del Al ([Sade et al., 2016](#)), las leguminosas suelen ser las más afectadas ([Vázquez & Millán, 2017](#); [Ausilio & Magra, 2018](#)); de cualquier forma, el uso de variedades tolerantes resolvería el problema de toxicidad causada por Al en todo el mundo ([Miftahudin et al., 2021](#)).

El Al afecta al crecimiento de la raíces, mientras que el Mn afecta a los brotes de las plantas causando clorosis y necrosis; sin embargo, las plantas han desarrollado mecanismos para desintoxicar al Mn, incluida la reducción de la actividad de  $Mn^{2+}$  en el apoplasto y oxidación en los tejidos vegetales inactivos ([Jing et al., 2023](#)). También, los suelos ácidos son ricos en Fe inorgánico soluble ([Mengel & Kirkby, 2000](#)) y la reducción del Fe es dependiente del pH del suelo ([Mengel & Kirkby, 2000](#)); por otra parte, el exceso de hierro en las plantas puede incrementar la formación de radicales de oxígeno fitotóxicos que degradan a las proteínas de la membrana celular y además dificulta la absorción del P y Mn ([Dobermann & Fairhurst, 2001](#)). A pesar de ello, las plantas han desarrollado mecanismos que permiten sobreponerse al efecto tóxico del Fe, por un lado, las plantas poseen un poder oxidativo expulsando  $O_2$  desde la parte aérea aunque un desbalance de (K, Si, P, Ca y Mg puede reducir el efecto oxidante, y otro mecanismo es la retención de Fe en los tejidos de la raíz (oxidación de  $Fe^{2+}$  y la precipitación como  $Fe^{3+}$ ) ([Dobermann & Fairhurst, 2001](#)).

El suelo de estudio es un franco arenoso y posee alto contenido de MO y eso se debe a los climas fríos ([Pérez-Trujillo et al., 2022](#)), aunque no está mineralizada ([Guadarrama-Nonato et al., 2018](#)), no obstante, la textura no afecta la mineralización de la MO ([Scott et al., 1996](#)). Se ha visto MO alta a bajos niveles pH ([Mora et al., 2016](#); [Cruz-Macías et al., 2020](#)) y este comportamiento depende del origen del suelo ([Mora et al., 2016](#)); en ese sentido, Pérez Trujillo et al. ([2022](#)) señalaron que la MO fue superior cuando la acidez intercambiable fue más alta y esto representa una alerta para los productores de papa al momento de usar fertilizantes. No obstante, en algunos suelos con un pH < 5.5 el Al no representa ningún problema por el alto contenido de MO, que puede disociar los grupos carboxilos ( $-COOH$ ) ([Méndez & Bertsch, 2012](#)). De cualquier forma, las enmiendas mejoran la mineralización ([Bernier & Alfaro, 2006](#); [Sadeghian & Marín, 2020](#)) y la disponibilidad de N ([Torella et al., 2007](#)); si bien, sus efectos toman tiempo en ser detectados ([Galantini et al., 2007](#)) razón por la que nuestros resultados no

fueron significativos para MO, N y P en ningún tratamiento. Hay que aclarar que, la liberación de N y otros nutrientes depende de la mineralización e inmovilización producida por descomponedores ([Salas et al., 2003](#)) y en suelos extremadamente ácidos, se reduce la actividad biológica ([Casierra Posada & Aguilar Avendaño, 2007](#)).

El encalado mejora el suministro de Ca, Mg y P y disminuye la disponibilidad de Mn, Cu y Zn ([Pérez et al., 2011](#)). Por ese lado, la aplicación de silicio al suelo optimiza la nutrición de elementos como P, K y Zn ([Furcal-Beriguete & Herrera-Barrantes, 2013](#)). Así fue que, en el estudio Antonangelo et al. ([2022](#)) al aplicar  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$  y silicato de magnesio ( $\text{MgSiO}_3$ ), disminuyó la acidez intercambiable, incrementó el pH y también el contenido de Ca, Mg y Si. De ahí resulta que, los silicatos han demostrado tener efecto positivo sobre la restauración de la fertilidad de los suelos a través del tiempo al elevar la CIC, mejorar el contenido de Ca, P, Mg y otros elementos ([Furcal-Beriguete, 2012](#)).

Por lo general, en niveles bajos de pH la solubilidad Al y Fe favorece la fijación del P ([Suarez De & Rodriguez, 1958](#); [López-Arredondo et al., 2014](#)), al mismo tiempo, forman fosfatos de Al y Fe y en suelos alcalinos puede formar fosfato de Ca, y ninguna de estas formas es soluble para las plantas ([Méndez & Bertsch, 2012](#)) algunas veces, los óxidos de hierro absorben los fosfatos con más fuerza y los inceptisoles son fuertes fijadores de fosfatos ([Mengel & Kirkby, 2000](#)). Esto quiere decir que, al elevar el pH se puede reducir la fijación de P ([Ortiz et al., 1996](#)) nativo o el aplicado ([Ministerio, 2005](#)) y la solubilidad del fósforo se adquiere cuando el pH está en un rango de 5.5 a 6.5 ([Méndez & Bertsch, 2012](#)); sin embargo, Bernier y Alfaro ([2006](#)) manifiestan que la cal no libera al P de formas insolubles o fijadas, solo ayuda a que sea más asimilable el P aplicado. Por otra parte, Vallejo & Alvarado Ochoa ([2011](#)) señalan que los minerales que contienen Si, pueden transformar el fósforo no disponible a formas disponibles y especialmente en altas dosis ([Hilario Espinoza, 2019](#)). En cualquiera de los casos, con ninguna enmienda el P fue significativo a los 80 DDA, a lo mejor esto tiene relación con la mineralización de la MO ([Mengel & Kirkby, 2000](#)). Pese a ello, con la aplicación de  $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$  se presentaron las dos medias superiores. Los problemas del fósforo, son una de las características de los suelos donde se cultiva papa en Ecuador y Colombia ([Barrera, 1998](#); [Pumisacho & Sherwood, 2002](#)).

A su vez, el K mejoró con la aplicación de enmiendas, sin embargo, no presentó diferencias significativas en ningún tratamiento a los 80 DDA con respecto al testigo. No obstante, con altas dosis de cal en ocasiones el K tiende a disminuir por el antagonismo entre

Ca y K como ocurrió en la investigación de Pinzón et al. (1980). Por otra parte, a los 90 DDA Rosas Patiño et al., (2019) notó un valor decreciente de K al aplicar CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> en épocas de lluvia en un suelo con textura franco arcillo arenoso y en ese sentido Mendel & Kirkby (2000) señalan que los suelos orgánicos y arenosos tienen tendencia a lixiviar al K por lo que es necesario aplicar altas dosis.

Así mismo, el Ca incrementó notablemente con la aplicación de Ca (OH)<sub>2</sub> en 8 t ha<sup>-1</sup> y algo similar ocurrió en el estudio de Quezada Moreno (2022) que incrementó el contenido de Ca con CaO aunque no ocurrió lo mismo con la aplicación de MgSiO<sub>3</sub>, haciendo alusión a lo mencionado, el calcio incrementa con la aplicación de cales, algo que no ocurre con la aplicación de silicatos a corto plazo; en otras palabras, conforme aumentan las dosificaciones del cal, aumenta el Ca del suelo (Pinzón et al., 1980). Conviene subrayar que, cuando se encala se eleva el Ca del suelo, y este compite con el Al por los humatos precipitando al Al (Millán et al., 2010). Por lo general, la concentración de Ca en los suelos es 10 veces mayor que la de K aunque su absorción es menor dado que los ápices más jóvenes absorben Ca (Mengel & Kirkby, 2000).

Dicho lo anterior, cierta parte del Mg se asocia a la MO pero esta es muy pequeña y menor del 1 % del Mg total del suelo y al igual que el Ca se lixivia tan fácilmente algo predominante en suelos arenosos (Mengel & Kirkby, 2000). Cabe señalar que, el Mg no fue significativo, pese a ello, el tratamiento con las 8 t ha<sup>-1</sup> de Ca<sub>2</sub>O<sub>4</sub>Si fue el peor; quizá, esto tiene relación con la deficiencia de Mg que se presentó al inicio del ensayo cuando se determinó la relación C/Mg. Por lo tanto, hay que tener cuidado con el encalado en suelos con deficiencia de Mg, lo cual puede empeorar con la aplicación de cal (Marín & Lora, 1974) por el antagonismo (Pinzón et al., 1980; Sadeghian & Marín, 2020), en ese caso, se suele aplicar CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> para aportar Ca y Mg (Maruri García, 2000) e incluso su antagonismo puede tener relación con el K que se aplique (Barona et al., 2015). Y esta situación, puede empeorar con variedades de papa de alta extracción que generan deficiencias de Mg (Tabares Patiño et al., 2009); por lo que, es importante tomar en cuenta la relación entre bases intercambiable (Sadeghian & Marín, 2020). Por esa parte, la aplicación de silicatos resulta más efectiva de manera edáfica, algo que podría estar relacionado por deficiencias de Mg en el suelo (Rodríguez, 2018).

Llegados a este punto, la CIC parece tener relación con el material utilizado para neutralizar la acidez; en ese caso, al neutralizar la acidez e incrementar el contenido de calcio,



se elevó la CIC con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , mientras tanto, con  $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$ , la CIC disminuyó notablemente dado que si se redujo ligeramente la acidez y no incrementó el contenido de Ca. A lo mejor, la CIC tiene relación con la MO según varios reportes en Colombia ([Sadeghian & Marín, 2020](#)), de igual modo, al incrementar la CIC, el suelo tendrá mayor capacidad para almacenar al Al e H ([Pérez-Trujillo et al., 2022](#)). Por otra parte, probablemente la acidez del suelo y la saturación de bases tienen relación, o al menos eso es lo que se aprecia en los resultados, para tal caso, se evidencia que a < saturación de bases, la acidez incrementa y a > saturación de bases la acidez se reduce tal como los análisis de Bernal et al. ([2014](#)), aunque, tiene sentido con el pH también como señala Morón & La Estanzuela ([2000](#)). Por otra parte, Sadeghian & Marín ([2020](#)) señalan que una saturación de bases superior al 50 % solo ocurre cuando el pH del suelo es igual a 5,5, cosa que ocurrió solo con T4 en nuestro estudio.

Ante lo expuesto anteriormente, a los 26 DDS el mayor porcentaje de emergencia presentó la media superior con la aplicación de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  de SC, una cifra superior al 90 % que presentó Ojeda et al., ([2010](#)). Por otra parte, Ortega ([2023](#)) señala que al cultivar tres variedades en la misma zona de estudio, encontró mayor % de emergencia en la variedad chaucha y friepapa respecto a la superchola hasta los 25 DDS. Particularmente, la emergencia depende de la variedad y del manejo que se le dé a la semilla; por lo que, al sembrar semillas en brotación múltiple se garantiza un mayor porcentaje de emergencia ([Toledo, 2016a](#)), mayor número de tallos ([Alonso, 2015](#)), caso contrario ocurre con semillas viejas puesto que pueden reducir hasta el rendimiento ([Barona et al., 2015](#); [Toledo, 2016a](#)). En ese caso, las semillas pueden ser poco afectadas por Al y existe una gran variedad de respuesta en plantas del mismo género como ocurre en maíz ([Casierra-Posada et al., 2008](#)). Después de todo, a lo mejor en la germinación no influyó directamente el Al, pero si el manejo que se le dio a la semilla en el momento de la siembra, es pertinente mencionar que la semilla estuvo en brotación múltiple, y por la mala manipulación se quebrantaron algunos brotes por lo cual es posible que la emergencia fuese irregular ([Alonso, 2015](#)).

Análogamente, la altura fue superior a los 30, 60 y 90 DDS cuando las plantas se sometieron al tratamiento T4, aunque es posible que la altura tenga relación con el exceso de nitrógeno ([Valverde et al., 1998](#); [Barona et al., 2015](#)), ya que al realizar el plan de fertilización se elevó la concentración de N para ajustar el contenido de Ca. Por otra parte, en un estudio de Robinson et al. ([2019](#)), al evaluar la altura de seis genotipos de papa, la variedad superchola presentó la mayor altura; de igual manera, en el estudio de Ortega ([2023](#)), la altura de tres variedades no tuvo diferencia significativa, sin embargo, la variedad superchola presentó la

media más alta. No obstante, en el estudio de Domínguez Olmedo (2011) la variedad *superchola* mostró mayor altura con una densidad de siembra similar y en ese sentido, la altura evidenció una variabilidad exponencial dada por la frondosidad de la variedad *superchola* (Pumisacho & Sherwood, 2002).

Al mismo tiempo, al evaluar los días a la floración, se evidenció que solo T4 fue significativo y el periodo más largo mostró T5. Según Pumisacho & Sherwood (2002), son diversos los factores climáticos que estimulan la floración. Aunque, Rodríguez (1995) señala que la nutrición puede incidir sobre la floración, por ejemplo, el exceso de N aumenta la tasa de desarrollo floral e incluso la feminidad aunque no está bien definido, por otra parte, deficiencias de B producen esterilidad masculina y puede reducir la floración, incluso en condiciones favorables; para tal caso, compartimos tal premisa, ya que al hacer un ajuste en la aplicación de Ca se aplicó un exceso de N, y no basta con mencionar que en el plan de fertilización no se incluyó al B.

Por otra parte, ningún tratamiento tuvo efecto sobre el ciclo del cultivo, sin embargo, T2 acortó el periodo a la cosecha. Todo parece indicar que, T2 tuvo influencia sobre el P, dado que el P acelera la maduración (Valverde et al., 1998) y en el mismo tratamiento, el P presentó la media más alta por el efecto ya explicado anteriormente con la aplicación de  $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$ . No obstante, la variedad *superchola* tardó más tiempo en madurar en relación a otros genotipos o variedades (Casa et al., 2006; Robinson et al., 2019; Ortega Montoya, 2023) dado que la variedad es de ciclo semitardío (Pumisacho & Sherwood, 2002). Paralelamente, en otro sentido, el número de tubérculos tiene relación con la genética de la variedad, por lo que entre las variedades conocidas en nuestro país, *superchola* puede tener hasta 1960 minitubérculos por  $\text{m}^2$ , por lo que define la producción en campo (Barona et al., 2015). Sin embargo, ningún tratamiento fue significativo, aunque T4 presentó la media más alta y T1 la media más baja.

En cuanto al peso de tubérculos por planta, T4 fue significativo respecto a los demás tratamientos. En ese caso, en quince clones de papa, el peso por planta no superó ni 1,5 kg (Rivadeneira Ruales et al., 2002); así mismo, al someter cincuenta y un genotipos de papa a condiciones estresantes de sequía, Corrales et al. (2019) encontraron que aun en esas condiciones la variedad *superchola* por planta produce más de 0,5 kg. Algo similar ocurrió en el estudio de Ortega (2023) donde el peso por planta de la *superchola* fue superior a otras variedades.

A fin de cuentas, las plantas que crecen en suelos ácidos, sufren un crecimiento deficiente por toxicidades de H, Al, Mn y Fe acompañado de deficiencias de N, P, Ca y Mg, aunque la mayoría de investigaciones se han centrado en el efecto tóxico del Al ([Zhao et al., 2014](#)). A su vez, según Salas et al. ([2002](#)), los cultivos que crecen en suelos ácidos, alcanzan su mayor rendimiento cuando la saturación del Al es reducida de 10 a 30 %. En cualquiera de los casos, existieron diferencias significativas en el rendimiento de *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola* con la aplicación de los materiales encalantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, T4 fue significativo respecto a los otros tratamientos. Todo indica, que un exceso de silicio reduce el rendimiento, algo parecido sucedió en el trabajo de Gonzales et al. ([2015](#)) donde el mayor rendimiento de forraje verde en *Zea mays* L. se obtuvo con la dosis más baja de silicio pese a que las gramíneas son acumuladoras de silicio ([Exley, 1998](#)) porque poseen mecanismos para absorber Si ([Adrees et al., 2015](#)) aunque algunas dicotiledóneas presentan esas características ([Exley, 1998](#)). A lo mejor, se estima que la papa no es acumuladora de silicio teniendo en cuenta que no es nutriente esencial ([Malavolta, 2006](#); [Epstein, 2009](#)) y son las especies no acumuladoras más sensibles al exceso ([Rodríguez, 2018](#)). Por otra parte, se puede argumentar que la variedad *superchola* tiene un gran potencial productivo dada su genética ([Barona et al., 2015](#)) y eso se ha demostrado en el estudio de Ortega ([2023](#)), donde el rendimiento de la variedad *superchola* fue superior con 71 095,6 kg/ha respecto a la variedad *fripapa 99* y variedad *chaucha* en la misma finca San Pablo del sector Carboncillo con la aplicación de  $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$  y fertilizantes químicos.

En definitiva, al combinar los resultados de este estudio con la información de diferentes investigaciones, se afirma que el problema de acidez en suelos con  $\text{pH} < 7$  se puede solucionar con la aplicación de enmiendas calcáreas. En ese sentido, el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y  $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$  se pueden convertir en dos alternativas para el manejo y conservación de suelos y, por otro lado, pueden optimizar los rendimientos del cultivo de papa. Así mismo, se puede contribuir a la reducción de costos por una reducida aplicación de fertilizantes.

## 8 Conclusiones

La corrección de la acidez del suelo utilizando hidróxido de calcio en la relación 8,3 t ha<sup>-1</sup> fue superior, hasta los 80 DDA el pH incrementó de 4,71 a 5,66; de igual manera, la acidez intercambiable hasta los 80 DDA se redujo a 0,34 meq/ 100 g con una traza de aluminio de 0,15 meq/ 100 g. Por otra parte, la capacidad de intercambio catiónico hasta los 80 DDA subió a 18.10 meq/ 100 g, mientras que, la saturación de bases se incrementó a un 99,18 %.

No se observó ningún efecto de la corrección de la acidez sobre la MO, N y Zn a los 40 DDA, mientras que a los 80 DDA del encalado, no se observó ningún efecto sobre MO, N y P.

La aplicación de enmiendas influyo sobre el porcentaje de emergencia, altura de la planta, días a la floración, peso de tubérculos por planta y rendimiento; sin embargo, no se observó influencias sobre los días a la cosecha y numero de tubérculos por planta.

La corrección de la acidez de un suelo en el sector Carboncillo con la aplicación de hidróxido de calcio en la relación 8,3 t ha<sup>-1</sup> incremento significativamente el rendimiento alcanzando un máximo de 102,06 kg ha<sup>-1</sup>.

## **9 Recomendaciones**

Evaluar el comportamiento de la acidez del suelo sobre otras variedades de papa con la aplicación de hidróxido de calcio y silicato de calcio y su combinación en futuras investigaciones para comparar el rendimiento del cultivar de papa.

Evaluar el comportamiento de la acidez con la aplicación de hidróxido de calcio y silicato de calcio sobre solanáceas, gramíneas y leguminosas.

Evaluar el comportamiento de la acidez con la aplicación de hidróxido de calcio y silicato de calcio con otras dosis (4, 5, 7, 8 y 10 t ha<sup>-1</sup>) hasta llegar a un punto crítico que permita obtener respuestas claras sobre la disponibilidad de nutrientes y el rendimiento de cultivos.

## 10 Bibliografía

- Adams, F. (1984). *Acidez del suelo y encalado* (Vol. 1). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr12.2ed>
- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Zia-ur-Rehman, M., Ibrahim, M., Abbas, F., . . . Irshad, M. K. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *119*, 186-197.
- Aguilar-Acuña, J. L., López-Morgado, R., Núñez-Escobar, R., & Gardezi, A. K. (2003). Encalado y fertilización fosfatada en el cultivo de papa en un Andosol de la Sierra Veracruzana. *Terra latinoamericana*, *21*(3), 417-426.
- Alexander, P. R. A. (2020). Uso de enmiendas para disminuir la acidez de suelos en banano (Musa cavendish AAA). Tipo experimental
- Alonso, J. L. (2015). *Fisiología y manejo de tubérculos semilla de papa*.
- Alvarado, A., & Fallas, J. L. (2004). La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* Lf) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, *28*(1), 81-87.
- Amézketa, E. (1999). Soil aggregate stability: a review. *Journal of sustainable agriculture*, *14*(2-3), 83-151.
- Amoakwah, E., Shim, J., Kim, S., Lee, Y., Kwon, S., Sangho, J., & Park, S. (2023). Impact of silicate and lime application on soil fertility and temporal changes in soil properties and carbon stocks in a temperate ecosystem. *Geoderma*, *433*, 116431. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116431>
- Andrade, H. (1998). Variedades de papas cultivadas en el Ecuador.
- Angélica, S. R. (1998). Qué es el pH del suelo. 47-50.
- Antonangelo, J. A., Neto, J. F., Crusciol, C. A. C., Zhang, H., & Alleoni, L. R. F. (2022). Lime and calcium-magnesium silicate cause chemical attributes stratification in no-till fields. *Soil and Tillage Research*, *224*, 105522. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105522>
- Araujo, M., Cartagena, Y., Castillo, C., Cuesta, H., Monteros, J., Paula, N., . . . Panchi, N. (2021). Manual del cultivo de papa para pequeños productores 3era edición.
- Araya, M. A., Camacho, M. E., Molina, E., & Cabalceta, G. (2015). Evaluación de fertilizantes líquidos con silicio, calcio o magnesio sobre el crecimiento del sorgo en invernadero. *Agronomía Costarricense*, *39*(2), 47-60.
- ASA. (2020). pH/acidez y encalado-4r instructivo1

- Ausilio, A., & Magra, G. C. (2018). Corrección de la acidez de los suelos.
- Barcelo, J., & Poschenrieder, C. (2002). Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. *Environmental and Experimental Botany*, 48(1), 75-92.
- Barona, D., Mateus-Rodríguez, J., Montesdeoca, F., Andrade-Piedra, J., Kromann, P., & Otazú, V. (2015). La planta de papa: ecofisiología y nutrición mineral. *Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú*, 109-130.
- Barra, J. D. E. (1999). Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 209-219.
- Barrera, L. (1998). Fertilización del cultivo de la papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Fertilización de cultivos de clima frío. *Monómeros Colombo Venezolanos. Bogotá, Colombia*, 63-83.
- Bernal, J. H., Navas, G. E., & Hernández, R. S. (2014). Requerimientos y respuestas a la fertilización del maíz en suelos de sabanas ácidas de Colombia. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 15(5).
- Bernier, R., & Alfaro, M. (2006). Acidez de los suelos y efectos del encalado.
- Blancaflor, E. B., Jones, D. L., & Gilroy, S. (1998). Alterations in the cytoskeleton accompany aluminum-induced growth inhibition and morphological changes in primary roots of maize. *Plant Physiology*, 118(1), 159-172.
- Bojórquez-Quintal, E., Escalante-Magaña, C., Echevarría-Machado, I., & Martínez-Estévez, M. (2017). Aluminum, a Friend or Foe of Higher Plants in Acid Soils [Review]. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01767>
- Bose, J., Babourina, O., & Rengel, Z. (2011). Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants. *Journal of experimental botany*, 62(7), 2251-2264.
- Briones, M. J. I. (2014). Soil fauna and soil functions: a jigsaw puzzle [Review]. *Frontiers in Environmental Science*, 2. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00007>
- Bueno Buevas, R., & Fernández Lizarazo, J. C. (2019). La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos. *Ámbito investigativo*, 4(1), 7-12.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., De Goede, R., . . . Mäder, P. (2018). Soil quality—A critical review. *Soil biology and biochemistry*, 120, 105-125.

- Calva, C., & Espinosa, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *Siembra*, 4(1), 110-120.
- Campillo, R., & Sadzawka, A. (2010). Encalado de los suelos. Caracterización y manejo de enmiendas calcáreas. *Manejo de los Recursos Naturales en un Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados de La Araucanía. Serie Actas* (38), 61-85.
- Campillo, R., & Sadzawka, R. (1999). Acidificación de los suelos y los procesos involucrados. *Programa de recuperación de suelos degradados. Serie Reme. Instituto de investigaciones Agropecuarias CR de IR, editor. Osorno, Chile*, 93-103.
- Casa, P., Tenorio Chicaiza, F. C., & Cuesta Subía, H. X. (2006). Evaluación agronómica y resistencia a tizón tardío (*Phytophthora infestans*) de doce clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum*), en Chocalo provincia del Tungurahua.
- Casierra-Posada, F., Cárdenas-Hernández, J. F., & Roa, H. A. (2008). Efecto del aluminio sobre la germinación de semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) y de maíz (*Zea mays* L.). *Orinoquia*, 12(1), 45-56.
- Casierra Posada, F., & Aguilar Avendaño, O. (2007). Stress for aluminum in plants: reactions in the soil, symptoms in plants and amelioration possibilities. A review. *Colombian Journal of Horticultural Science*.
- Castellanos, J. Z. (2014). *Acidez del Suelo y su Corrección. Hojas Técnicas de Fertilab*.
- Castro, H., & Guerrero, J. C. (2018). Evaluación de materiales de encalado mediante pruebas de incubación en un oxisol de la altillanura colombiana. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 14-26.
- Cevallos, M. (2013). *Comportamiento agronómico de la papa (Solanum tuberosum L.) variedad superchola con la aplicación de tres tipos de abonos orgánicos en el Cantón Latacunga* (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador].
- Chávez, A. R. (2015). *Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras* Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2015.].
- Cocker, K. M., Evans, D. E., & Hodson, M. J. (1998). The amelioration of aluminium toxicity by silicon in higher plants: Solution chemistry or an in planta mechanism? *Physiologia Plantarum*, 104(4), 608-614.
- Conti, M. (1998). *Principios de edafología: con énfasis en suelos argentinos*. Orientación Gráfica Editora. <https://books.google.com.ec/books?id=aO1gAAAAMAAJ>



- Corrales, E. A., Espinosa-Córdova, E., Segovia, S., Ramos, H., Griffin, F., Romo, I., . . . Leon-Reyes, A. (2019). Evaluación del rendimiento durante el estrés de sequía en 51 genotipos de papa (*Solanum tuberosum*).
- Costillo, A. R. (2013). De los suelos e intercambio catiónico
- Cruz-Macías, W. O., Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. Á., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Chávez-Hernández, M. H., & Gordillo-Curiel, A. (2020). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Terra latinoamericana*, 38(3), 475-480.
- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2).
- Cruz, R. A., & Macal, J. A. (2018). Efecto de dos tipos de cal en el pH del suelo y en la producción de sorgo sureño, Zamorano, Honduras.
- Dahal, K., Li, X.-Q., Tai, H., Creelman, A., & Bizimungu, B. (2019). Improving Potato Stress Tolerance and Tuber Yield Under a Climate Change Scenario – A Current Overview [Review]. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00563>
- Đalović, I., Jocković, Đ., Dugalić, G., Bekavac, G., Purar, B., Šeremešić, S., & Jocković, M. (2012). Soil acidity and mobile aluminum status in pseudogley soils in the Čačak-Kraljevo Basin. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 77(6), 833-843.
- Dobermann, A., & Fairhurst, T. (2001). Toxicidad de hierro en arroz. *Informaciones Agronómicas (Ecuador)*.(Abr 2001).(43), 3-5.
- Domínguez Olmedo, D. E. (2011). Evaluación de densidades de siembra y niveles de fertilización química en la producción de semilla en tres genotipos de papa (*Solanum* spp. Mejia, Pichincha.
- Emamgholizadeh, S., Bazoobandi, A., Mohammadi, B., Ghorbani, H., & Sadeghi, M. A. (2023). Prediction of soil cation exchange capacity using enhanced machine learning approaches in the southern region of the Caspian Sea. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(2), 101876.
- Epstein, E. (2009). Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of applied Biology*, 155(2), 155-160.
- Espinosa, J., Mite, F., Alvarado Ochoa, S., & Moreno Izquierdo, J. (2022). Suelos de Ecuador - Características, Uso y Manejo. - 386.
- Espinosa, J., & Molina, E. (2015). *Acidez y encalado de los suelos (Soil acidity and liming)*. <https://doi.org/10.13140/2.1.3888.9281>

- Exley, C. (1998). Silicon in life: a bioinorganic solution to bioinorganic essentiality. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 69(3), 139-144.
- Fageria, N., & Nascente, A. (2014). Management of Soil Acidity of South American Soils for Sustainable Crop Production. In (Vol. 128, pp. 221-275). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802139-2.00006-8>
- FAO. (2021). FAOSTAT Statistics Database.
- Fernandez, F. A., Bull, L. T., Corrêa, J. C., & Crespam, D. R. (2009). Influência de silicato e calcário na decomposição de resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes ao feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 935-945.
- Furcal-Beriguete, P. (2012). Efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) var CR 4477.
- Furcal-Beriguete, P., & Herrera-Barrantes, A. (2013). Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz. *agronomía mesoamericana*, 24(2), 357-364.
- Galantini, J., Landriscini, M. R., & Hevia, C. (2007). Contenido y calidad de la materia orgánica particulada del suelo.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., . . . Montanarella, L. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe.
- Giraldo, R. D. D., Ramírez, M. C., & Castro, D. (2020). Efecto de la aplicación de las fuentes convencionales de calcio (cales) en el suelo, en la concentración de Ca en tejido y en la biomasa del pasto kikuyo. *Revista Universidad Católica de Oriente*, 31(46), 113-126.
- González, E., Ceballos, J., & Benavides, O. (2015). Producción de forraje verde hidropónico de maíz *Zea mays* L. en invernadero con diferentes niveles de silicio. *Revista de ciências agrícolas*, 32(1), 75-83.
- Guadarrama-Nonato, A., Mejía-Carranza, J., & Ramírez-Gerardo, M. G. (2018). Mineralización de la materia orgánica en suelos con manejo diferencial en cultivo de rosa. *Acta universitaria*, 28(2), 33-41.
- Gupta, N., Gaurav, S. S., & Kumar, A. (2013). Molecular basis of aluminium toxicity in plants: a review. *American Journal of Plant Sciences*, 2013.
- Gutiérrez, N., & Restrepo, F. (2019). Evaluación de correctivos de acidez en un Andisol cultivado con Aguacate “Hass”. *Suelos ecuatoriales*, 49(1), 38-44.
- Haynes, R. J., & Naidu, R. (1998). Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 51, 123-137.

- Herrera, J. E., & Scott, G. J. (1993). Factores limitantes a la producción y uso de la papa: resultados de la encuesta a los programas nacionales de América Latina. *Revista Latinoamericana de la papa*, 5(1), 122-134.
- Hewitt, E. (1949). The resolution of the factors in soil acidity. IV. The relative effects of aluminium and manganese toxicities on some farm and market garden crops (cont.). *The resolution of the factors in soil acidity. IV. The relative effects of aluminium and manganese toxicities on some farm and market garden crops (cont.)*.
- Hilario Espinoza, J. D. (2019). Fuentes y niveles de silicio en el rendimiento y en la incidencia de ojo de gallo (*Stillbum flavidum* C.) en la variedad de café catimor.
- Huber, S., Syed, B., Freudenschuss, A., Ernstsén, V., & Loveland, P. (2001). *Proposal for a European soil monitoring and assessment framework*. EEA.
- ICA. (1992). Fertilización en diversos cultivos: *Quinta aproximación*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Jing, C., Zhao, X. Q., & Shen, R. F. (2023). Molecular mechanisms of plant adaptation to acid soils: A review. *Pedosphere*, 33(1), 14-22.
- Khaledian, Y., Brevik, E. C., Pereira, P., Cerdà, A., Fattah, M. A., & Tazikeh, H. (2017). Modeling soil cation exchange capacity in multiple countries. *Catena*, 158, 194-200.
- Klug, B., Specht A Fau - Horst, W. J., & Horst, W. J. (2011). Aluminium localization in root tips of the aluminium-accumulating plant species buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). (1460-2431 (Electronic)).
- Kochian, L. V., Hoekenga, O. A., & Pineros, M. A. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 55, 459-493.
- Kwenda, S., Motlolometsi, T. V., Birch, P. R. J., & Moleleki, L. N. (2016). RNA-seq Profiling Reveals Defense Responses in a Tolerant Potato Cultivar to Stem Infection by *Pectobacterium carotovorum* ssp. *brasiliense* [Original Research]. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01905>
- Lee, C. (1971). Influence of Aluminum on Plant Growth and Mineral Nutrition of Potatoes 1. *Agronomy Journal*, 63(4), 604-608.
- López-Arredondo, D. L., Leyva-González, M. A., González-Morales, S. I., López-Bucio, J., & Herrera-Estrella, L. (2014). Phosphate nutrition: improving low-phosphate tolerance in crops. *Annual review of plant biology*, 65, 95-123.
- López, A. J. (2006). Manual de edafología. Sevilla, España: *Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla*.

- Lucioli, A., Tavazza, R., Baima, S., Fatyol, K., Burgyan, J., & Tavazza, M. (2022). CRISPR-Cas9 Targeting of the eIF4E1 Gene Extends the Potato Virus Y Resistance Spectrum of the *Solanum tuberosum* L. cv. Desirée [Original Research]. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.873930>
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas* (Vol. 1). Agronômica Ceres Sao Paulo.
- Marchán, M., Valverde, F., Novoa, V., & Pumisacho, M. (2009). Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado de suelos en el cultivo de la papa.
- Marin, G., & Lora, R. (1974). Acidez y enclamiento de los suelos.
- Maruri García, J. M. (2000). El ecalado y la efectividad del nitrógeno en dos suelos ácidos del trópico (acrisol y luvisol) del Paso del Macho, Veracruz.
- Matsumoto, H. (2000). Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants.
- Méndez, J. C., & Bertsch, F. (2012). *Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica*.
- Méndez, Y. R., Chacón, L. M., Corzo, M. H., & Angulo, H. M. R. (2016). La toxicidad por aluminio (Al<sup>3+</sup>) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. *Palmas*, 37(1), 11-23.
- Mendoza Dávalos, K., Sanabria Quispe, S., Pérez Porras, W. E., & Cosme de la Cruz, R. C. (2021). Enmiendas orgánicas y su efecto en las propiedades de suelos alto andinos cultivados con papa nativa (*Solanum goniocalyx* Juz. et Buk.). *Agroindustrial Science*.
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). Principios de nutrición vegetal.
- Meza, A. (2013). *Evaluación del Rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación de una estrategia de riego deficitario (PRD) utilizando cintas de Riego* Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola. UNALM. Lima-Perú].
- Miftahudin, M., Roslim, D. I., Fendiyanto, M. H., Satrio, R. D., Zulkifli, A., Umadiyah, E. I., . . . Gustafson, J. P. (2021). OsGERLP: A novel aluminum tolerance rice gene isolated from a local cultivar in Indonesia. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 86-99. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.019>
- Millán, G., Vázquez, M., Terminiello, A., & Santos Sbuscio, D. (2010). Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana. *Ciencia del suelo*, 28(2), 131-140.
- Ministerio, B. (2005). I Taller Nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa.

- Molina, E., & Rojas, A. (2005). Efecto del encalado en el cultivo de naranja valencia en la Zona Norte de Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 29(3), 81-95.
- Montaldo, A. (1984). Cultivo y mejoramiento de la papa. Bib. Orton IICA/CATIE.
- Mora-Quilismal, S. R., Cuaical-Galárraga, E. T., García-Bolívar, J., Revelo-Ruales, V. W., Puetate-Mejía, L. M., Aguila-Alcantara, E., & Ruiz-Sánchez, M. (2021). Biofertilización con bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de la papa. *Cultivos tropicales*, 42(2).
- Mora, J., Alcalá, M., & Rosas, M. (2016). Comportamiento de la materia orgánica y el pH con la profundidad del suelo. *XIII Encuentro Participación de la mujer en la ciencia. León, Guanajuato, México*.
- Morón, A., & La Estanzuela, S. S.-I. (2000). Alfalfa: fertilidad de suelos y estado nutricional en sistemas agropecuarios de Uruguay. *Informaciones Agronómicas del cono sur*, 8, 1-6.
- Muñoz, F., & Cruz, L. (1984). Manual del cultivo de papa.
- Navarro García, G., & Navarro García, S. (2013). *Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. Ediciones Mundi-Prensa. <https://books.google.com.ec/books?id=G-ginwEACAAJ>
- Niu, H., Leng, Y., Ran, S., Ameer, M., Du, D., Sun, J., . . . Hong, S. (2020). Toxicity of soil labile aluminum fractions and aluminum species in soil water extracts on the rhizosphere bacterial community of tall fescue. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187, 109828.
- Ojeda, M., Pérez de Camacaro, M., Rodríguez, D., Gallardo, M., & Valera, R. (2010). Evaluación hortícola, producción y calidad postcosecha de clones avanzados de papa en la localidad de Duaca, estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 22(1), 17-28.
- Olorunfemi, I., Fasinmirin, J., & Ojo, A. (2016). Modeling cation exchange capacity and soil water holding capacity from basic soil properties. *Eurasian Journal of Soil Science*, 5(4), 266-274.
- Ortega, J. (1985). Manejo de la acidez y encalamiento de los suelos.
- Ortega Montoya, J. (2023). *Efecto de la aplicación de algas fosilizadas y fertilizantes químicos en el rendimiento de tres variedades de papa (Solanum tuberosum L.) fripapa, superchola y chaucha, en el sector Carboncillo del cantón Saraguro*
- 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 SA en Río Cuarto, Grecia, Costa Rica.
- Ortiz, R., Braeuner, M., & Mac Vean, C. (1996). Acidez del suelo como causa del " Mal de Viñas" del café (*Coffea arabica* L.) en Guatemala: un estudio de invernadero. *Ceiba*, 37(2), 291-298.
- Osorio, N. (2012a). Como determinar los requerimientos de cal del suelo. *Manejo integral del suelo y nutrición vegetal*, 1(5), 1-6.
- Osorio, N. (2012b). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo integral del suelo y Nutrición vegetal*, 1(4), 1-4.
- Osorno, H., & Osorno, L. (2010). Determinación de los requerimientos de cal. *Suelos ecuatoriales*, 41(1), 29-35.
- Panda, S. K., Baluška, F., & Matsumoto, H. (2009). Aluminum stress signaling in plants. *Plant signaling & behavior*, 4(7), 592-597.
- Peñañiel Villacrés, M. E. (2009). Efecto de la aplicación edáfica del silicio en diferentes dosis, en el cultivo de la papa china (*Colocasia esculenta*) en combinación con dos niveles de abono orgánico.
- Pérez-Trujillo, E., Asado-Hurtado, A. M., & Vega-Jara, L. (2022). Relación del contenido de materia orgánica con el pH de los análisis de suelo en cinco provincias de Huánuco. *Revista Investigación Agraria*, 4(2), 46-54.
- Pérez, R. M., Martín, T. G., de Gracia, J. M. S., Hernández, M. M., & Arellano, E. P. (2011). Fertilización y corrección edáfica de suelos agrícolas con productos orgánicos. *Tecnología y desarrollo*, 9, 34.
- Pinzón, B., González, J., & Montenegro, R. (1980). Efecto del encalado en suelos ácidos de Panamá. II. Cambios en las características químicas del suelo. *Ciencia Agropecuaria*(3), 67-75.
- Prado, R. d. M., & Natale, W. (2005). Efeito da aplicação de silicato de cálcio no crescimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9, 185-190.
- Prat Pérez, L. (1981). Importancia de la reacción del suelo. Acidez: pH. Necesidad de cal. Instituto de Orientación y Asistencia Técnica del Oeste.
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Editorial Abya Yala.
- Pumisacho, M., & Velásquez, J. (2009). Manual del cultivo de papa para pequeños productores.
- Quesada Moreno, C. C. (2022). Evaluación correctiva de carbonatos, óxidos y silicatos de Ca y/o Mg en un suelo oxisol.

- Racines Jaramillo, M. R., Cuesta Subía, H. X., Rivadeneira Ruales, J. E., & Pantoja, J. L. (2021). Artículos del Noveno Congreso Ecuatoriano de la Papa.
- Rahman, M. A., Lee, S. H., Ji, H. C., Kabir, A. A.-O., Jones, C. A.-O., & Lee, K. W. (2018). Importance of Mineral Nutrition for Mitigating Aluminum Toxicity in Plants on Acidic Soils: Current Status and Opportunities. LID - 10.3390/ijms19103073 [doi] LID - 3073. (1422-0067 (Electronic)).
- Raij, B. (2011). Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. International Plant Nutrition Institute, Piracicaba. Salas M., Aumont G, Biessy G, Magnie E (1992) Effect of variety, stage of maturity and nitrate fertilization on nutritive value of sugarcane. *Anim Feed Sci Technol*, 39(3), 1992.
- Rigoberto, Z. L., Laureano, P. A., José, J. C., & José, R. M. (2002). Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México.
- Rivadeneira Ruales, J. E., Bernardi, R., & Oyarzún, P. J. (2002). Evaluaciones complementarias con grupos de evaluadores de clones de papa de la población 98 en Ecuador.
- Robinson, F. P., Ruiz, J. E. L., & León, V. J. P. (2019). Estudio de evaluación agronómica en el cultivo de papa (*Solanum* spp.) con tolerancia al déficit hídrico-Ecuador Study of agronomic evaluation in the culture of papa (*Solanum* spp.) with tolerance to the water deficit-Ecuador.
- Rodriguez, A. (1995). *Efecto del fotoperiodo sobre la nutrición mineral y la floración de plantas de papa (S. tuberosum L.)* [Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Rodriguez, C. R. M. (2018). *Efecto de silicatos de magnesio sobre rendimiento y vida de anaquel de tomate*
- Román, M., & Hurtado, G. (2002). Guía técnica: cultivo de la papa. *El Salvador: CENTA*, 13-14.
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2019). Efecto del encalado en el uso eficiente de macronutrientes para cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(1), 5-28.
- Sade, H., Meriga, B., Surapu, V., Gadi, J., Sunita, M., Suravajhala, P., & Kavi Kishor, P. (2016). Toxicity and tolerance of aluminum in plants: tailoring plants to suit to acid soils. *Biometals*, 29, 187-210.
- Sadeghian, S., & Marín, C. D. (2020). Corrección de la acidez del suelo: alteraciones químicas del suelo. *Revista Cenicafé*, 71(1), 7-20.

- Salas, A., Elliott, E., Westfall, D., Cole, C., & Six, J. (2003). The role of particulate organic matter in phosphorus cycling. *Soil Science Society of America Journal*, 67(1), 181-189.
- Salas, R. E., Smyth, T. J., Alpízar, D., Boniche, J., Alvarado, A., & Rivera, A. (2002). Corrección de la acidez del suelo con Ca y Mg y su efecto en el desarrollo del sistema radical del palmito en la etapa de previvero. *Agronomía Costarricense*, 26(2), 87-94.
- Sánchez, A. J. H. (1987). Fitogeoquímica de suelos ácidos. *Henares: revista de geología*(1), 43-52.
- Sanchez Torres, J. (2012). *Acidez de los suelos y su manejo*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18581.32486>
- Scott, N. A., Cole, C. V., Elliott, E. T., & Huffman, S. A. (1996). Soil textural control on decomposition and soil organic matter dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 60(4), 1102-1109.
- Segueda, A. N., Correa, G. V., Blanco, J. L., & Gamino, M. d. L. R. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS*, 80, 29-37.
- SEPHU. (2015). SilyCal Flow - Corrector de Silicio y Calcio de Origen Orgánico, y Protector de Rayos Solares, Insecticida y Fungicida.
- SIPA. (2023). *Cifras agroproductivas* <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Sivaguru, M., Baluška, F. e., Volkmann, D., Felle, H. H., & Horst, W. J. (1999). Impacts of aluminum on the cytoskeleton of the maize root apex. Short-term effects on the distal part of the transition zone. *Plant Physiology*, 119(3), 1073-1082.
- Sivaguru, M., & Horst, W. J. (1998). The distal part of the transition zone is the most aluminum-sensitive apical root zone of maize. *Plant Physiology*, 116(1), 155-163.
- Suarez De, F., & Rodriguez, A. (1958). *Efecto de la cal y el fósforo sobre la producción de maíz en suelos de la serie Chinchiná*.
- Tabares Patiño, E. D., Jaramillo Villegas, S., González Santamaría, L. H., & Cotes Torres, J. M. (2009). Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad DIACOL CAPIRO a la fertilización en un Andisol del Oriente Antioqueño, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(2), 5099-5110.
- Taboada, M. A., & Lavado, R. S. (2009). Alteraciones de la fertilidad de los suelos. *El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones*. FAUBA, Buenos Aires.
- Toledo, M. (2016a). El cultivo de papa en Honduras.
- Toledo, M. (2016b). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos. In: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).



- Torella, J. L., Garuzzo, R., & Faita, E. C. (2007). Efecto del encalado sobre las propiedades químicas del suelo y la germinación del trébol rojo (*Trifolium pratense*). *Argentina. Informaciones Agronómicas n°36. Pág, 14(12), 2007.*
- Vallejo, L., & Alvarado Ochoa, S. P. (2011). Rol del silicio en la fertilidad de los suelos y la nutrición vegetal.
- Valverde, F., Córdova, J. J., & Parra, R. (1998). Fertilización del cultivo de papa.
- Vázquez, M. E., & Millán, G. J. (2017). Acidez del suelo.
- Villacorta Bardales, R. O. (2015). Efecto del Silicato de Calcio Especial (Ca (OH) 5 SiO<sub>2</sub>) en la germinación y crecimiento del Pino Chuncho (*Schizolobium amazonicum*) en suelos degradados de Tingo María.
- Wan, W., Tan, J., Wang, Y., Qin, Y., He, H., Wu, H., . . . He, D. (2020). Responses of the rhizosphere bacterial community in acidic crop soil to pH: Changes in diversity, composition, interaction, and function. *Science of the Total Environment, 700*, 134418.
- Yang, L. T., Qi Yp Fau - Jiang, H.-X., Jiang Hx Fau - Chen, L.-S., & Chen, L. S. (2013). Roles of organic acid anion secretion in aluminium tolerance of higher plants. (2314-6141 (Electronic)).
- Zapata Hernández, R. D. (2004). Química de la acidez del suelo. *Facultad de Ciencias.*
- Zhao, W.-r., Li, J.-y., Jiang, J., Lu, H.-l., Hong, Z.-n., Qian, W., . . . Guan, P. (2020). The mechanisms underlying the reduction in aluminum toxicity and improvements in the yield of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) after organic and inorganic amendment of an acidic ultisol. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 288*, 106716.
- Zhao, X. Q., Chen, R. F., & Shen, R. F. (2014). Coadaptation of plants to multiple stresses in acidic soils. *Soil science, 179(10-11)*, 503-513.

## 11 Anexos

### Anexo 1. Resultados de análisis de suelos por tratamiento

Muestreo a los 40 DDA														
Tratamientos		pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al + H	Al
			%	%	mg/kg	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	mg/kg	0	mg/kg	mg/kg	meq/100 g	meq/100 g
T1	R1	4.66	15.36	0.77	17.90	0.51	3.93	0.61	1110.6	9.06	2.38	4.02	12.05	4.99
T1	R2	4.61	18.70	0.93	19.10	0.68	5.80	0.72	990	14.16	2.71	5.77	12.82	5.46
T1	R3	4.67	17.86	0.89	23.20	0.75	7.77	1.07	1128.3	18.03	2.39	4.29	12.68	5.39
T1	R4	4.81	13.30	0.66	25.20	0.80	6.25	1.02	1242.7	18.79	2.95	4.16	11.97	4.99
T2	R1	4.56	17.99	0.9	18.1	0.65	6.19	1.03	1347	20.5	2.65	6.79	16.33	6.29
T2	R2	4.56	18.46	0.92	25	0.93	7.41	1.14	1396.7	23.02	2.48	4.92	16.12	7.6
T2	R3	4.71	16.34	0.82	28.1	0.66	6.36	0.86	1422.4	17.11	3.08	3.34	14.03	6.61
T2	R4	4.83	13.67	0.68	31.2	0.76	5.81	1	992	12.63	2.55	3	12.45	5.29
T3	R1	5.02	18.97	0.95	15.1	0.53	9.39	0.55	852.8	9.84	2.39	5	7.89	3.33
T3	R2	4.86	16.34	0.82	21.7	0.82	10.17	0.95	1122.9	15.51	2.44	4.71	8.76	2.84
T3	R3	4.93	14.41	0.72	16.8	0.53	8.63	0.82	793.1	2.34	2.34	2.89	7.07	3.5
T3	R4	5.10	11.85	0.59	23.4	0.57	10.1	0.8	920	9.82	2.59	2.69	7.28	3.04
T4	R1	5.10	18.26	0.91	13.2	0.46	14.26	0.75	816.5	11.84	2.38	5.46	4.35	1.32
T4	R2	5.29	15.76	0.79	9.4	0.71	16.26	0.68	512.2	10.62	1.89	3.1	2.5	0.59
T4	R3	5.61	13.54	0.68	14.4	0.73	15.88	0.63	440.6	8.58	1.96	2.71	0	0
T4	R4	5.96	15.53	0.78	13.1	0.61	18.42	0.59	321.5	7.85	2.21	2.04	0	0
T5	R1	4.71	14.72	0.74	14.3	0.29	4.36	0.49	871	14.9	1.41	3.99	16.58	8.56
T5	R2	4.71	14.72	0.74	14.3	0.29	4.36	0.49	871	14.9	1.41	3.99	16.58	8.56
T5	R3	4.71	14.72	0.74	14.3	0.29	4.36	0.49	871	14.9	1.41	3.99	16.58	8.56
T5	R4	4.71	14.72	0.74	14.3	0.29	4.36	0.49	871	14.9	1.41	3.99	16.58	8.56

Muestreo a los 80 DDA														
Tratamientos		pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al + H	Al
			%	%	mg/kg	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	mg/kg	3.99	mg/kg	mg/kg	meq/100 g	meq/100 g
T1	R1	4.57	14.15	0.71	17.9	0.44	3.7	0.25	1109.2	9.13	2.09	1.6	9.21	2.23
T1	R2	4.63	19.98	1	19.1	0.48	4.39	0.34	902.6	14.61	2.5	1.69	9.09	1.93
T1	R3	4.65	16.37	0.82	9.4	0.69	6	0.66	1125.8	19.69	2.22	2.23	8.54	1.88
T1	R4	4.74	14.42	0.72	24.1	0.68	5.61	0.56	1223.6	19.51	2.76	2.24	8.64	1.47
T2	R1	4.52	17.62	0.88	18.1	0.65	5.24	0.58	1234.7	19.49	1.96	2.13	11.77	1.58
T2	R2	4.41	18.94	0.95	25	0.74	5.44	0.66	1218	20.72	1.9	2.21	11.02	2.24
T2	R3	4.66	14.89	0.74	23.2	0.58	4.96	0.44	1297	16.9	2.88	1.82	8.67	1.65
T2	R4	4.61	15.13	0.76	26	0.74	5.37	0.54	1205.8	14.16	2.5	1.77	7.31	0.71
T3	R1	4.91	17.82	0.89	15.1	0.49	7.83	0.23	833.9	8.74	2.56	1.6	5.26	0.13
T3	R2	4.81	16.44	0.82	19.7	0.74	7.77	0.51	988.1	13.42	2.11	1.87	7.33	1.57
T3	R3	4.91	14.96	0.75	28.1	0.45	7.3	0.39	775.9	17.2	2	1.6	6.63	0.94
T3	R4	4.81	13.24	0.66	21.5	0.49	7.55	0.48	1095.4	11.16	2.73	1.6	4.71	1.01
T4	R1	5.51	19.27	0.96	13.5	0.44	18.13	0.19	408.8	8.15	1.54	1.6	0	0
T4	R2	5.57	16.47	0.82	21.7	0.68	16.43	0.16	336.7	8.24	1.46	1.6	0	0
T4	R3	4.77	13.81	0.69	18.2	0.8	16.34	0.25	503.9	7.44	1.8	1.6	1.37	0.6
T4	R4	5.89	14.52	0.73	19	0.61	17.53	0.18	325.2	7.61	1.78	1.6	0	0
T5	R1	4.71	14.72	0.74	14.3	0.29	4.36	0.49	871	14.9	1.41	3.99	16.58	8.56
T5	R2	4.71	14.72	0.74	14.3	0.29	4.36	0.49	871	14.9	1.41	3.99	16.58	8.56
T5	R3	4.71	14.72	0.74	14.3	0.29	4.36	0.49	871	14.9	1.41	3.99	16.58	8.56
T5	R4	4.71	14.72	0.74	14.3	0.29	4.36	0.49	871	14.9	1.41	3.99	16.58	8.56

### Anexo 2. Determinación de las dosis de encalado

Aluminio de suelo	8,56 meq/100g	Densidad Ap. (gr/cm <sup>3</sup> )	0,5
CIC total	35,44 cmol/kg	Profundidad de muestreo (m)	0,25
Saturación de Al (%)	24	Superficie (m <sup>2</sup> )	10 000
Constante	1,5	Peso del suelo (kg)	1 250 000
F = 100/PN	2,5	Saturación deseada	20
PRNT (Silicato de calcio)	36,5	PRNT (Hidróxido de calcio)	99.6

$$F = 100/36,5 = 2,5$$

### Método combinado de Sánchez (1980) y Van Raij (1991)

$$t/ha = \{ [1,5 (Al - \% S. Al) * CIC] / 100 \} * f$$

$$t/ha = \{ [1,5 (8,56 - 24) * 35,45] / 100 \} * 2,5 \quad t/ha = 6$$

Se determina la dosis equivalente a Hidróxido de calcio

En 100 lb de carbonato de calcio se obtienen con 72 lb de cal apagada, entonces:

$$\text{Cantidad de cal apagada} = 6 t/ha \times 72/100$$

$$\text{Cantidad de cal apagada} = 4,4 t/ha$$

### Método propuesto por Toledo (2007)

Constante: 0,75

$$t/ha = (Al - 0,75)^2 * 10 \quad t/ha = (8,56 - 0,75)^2 * 10 \quad t/ha = 8,3$$

### Anexo 3. Resumen de plan de fertilización

#### Determinación de requerimientos

Extracción total de nutrientes por el cultivo de papa para diferentes niveles de producción										
Rendimiento (Tn/ha)	N	P2O5	K2O	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn
	kg/ha						g/ha			
50	220	50	335	95	35		900	60	4600	550

Fuente: Pumisacho y Sherwood (2002).

Entonces:

#### Se determina el N disponible

Peso del suelo = densidad aparente ( $t/m^3$ ) x profundidad de muestreo (m) x superficie ( $m^2$ )

Peso del suelo =  $0.5 \times 0.25 \text{ m} \times 10\,000 \text{ m}^2 = 1250 \text{ t}$  de suelo por hectárea

Peso del suelo =  $1\,250\,000 \text{ kg}$  de suelo

En 100 kg de suelo hay 14.72 kg de MO

En  $1\,250\,000 \text{ kg}$  de suelo hay ¿? MO =  $(1\,250\,000 \times 14.72) / 100 = 184\,000 \text{ kg}$

Teóricamente, de cada 100 kg de MO, solo 5% es N total

Siendo así:

Si  $184\,000 \text{ kg}$  de MO equivale al 100 %

Cuántos kg ¿? de MO equivale al 5 % NT =  $(5 \times 184\,000) / 100 = 9\,200 \text{ kg}$

Es decir,  $9\,200 \text{ kg}$  de MO o nitrógeno total equivale al 5 %

No obstante, del 5 % del Nt, solo el 2 % está disponible para la planta

Siendo así:

$9\,200 \text{ kg}$  de Nt equivale al 100 %

Cuántos kg ¿? De Nt equivale al 2 % N disponible =  $(2 \times 9\,200) / 100 = 184$

Es decir,  $184 \text{ kg}$  de nitrógeno está disponible.

Se determina el requerimiento del cultivo:

DN = (Requerimiento del cultivo – requerimiento de análisis) / eficiencia

$$DN = (220 - 184) / 0.5 \quad DN = 72$$

**Recomendación:** Se debe aplicar  $72 \text{ kg}$  de nitrógeno al cultivo.

### Se determina el P disponible

En este caso, el análisis da 14.3 mg/kg, pero se transforma a kg/ha

En 1 kg de suelo se tiene 14.3 mg

En 1 250 000 kg de suelo se tiene ¿?

Mg de P/ha =  $(1\ 250\ 000 \times 14.3) / 1 = 17\ 875\ 000$  o lo mismo que es: **17.9 kg de P/ha**

Por lo general, los fertilizantes vienen como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, por ello se transforma el P a P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Tengo dos moléculas:

P	31 - 2	31: Es el peso molecular del P
O	16 - 5	16: Es el peso molecular del O

$P = 31 \times 2 = 62$

$O = 16 \times 5 = 80$                        $62 + 80 = 142$

Relación directa:

En 142 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se tiene 62 kg de P

Cuantos kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se tiene en 17.9 Kg de P                       $Kg\ de\ P_2O_5 = (17.9 \times 142) / 62 = 40.9$

Es decir, se tiene 40.9 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, sin embargo, solo el 15 % está disponible:

El 40.9 kg equivalen al 100 %

Cuantos kg equivalen al 15 %                       $Kg = (15 \times 40.9) / 100 = 6.14$

Por tanto, solo 6.14 kg/ha de P están disponibles para la planta

### Se determina el requerimiento del cultivo:

$DN = (\text{Requerimiento del cultivo} - \text{requerimiento de análisis}) / \text{eficiencia}$

$DN = (50 - 6.14) / 0.25$                        $DN = 175.44$

**Recomendación:** Se debe aplicar 175.44 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> al cultivo.

### Se determina el K disponible

En el análisis tengo: 113.36 ppm, pero se transforma a Kg/ha

En 1 kg de suelo se tiene 113.361 mg de K

En 1 250 000 kg de suelo se tiene ¿? mg de K

mg de K =  $(1\ 250\ 000 \times 113.361) / 1 = 141\ 701\ 250$  o lo mismo que es: **141.7 kg de K/ha**

Por lo general, los fertilizantes vienen como K<sub>2</sub>O, por ello se transforma el k a K<sub>2</sub>O.

Tengo dos moléculas:

k	39 - 2	39: Es el peso molecular del K
O	16	16: Es el peso molecular del O

$P = 39 \times 2 = 78$

$O = 16$  no se multiplica por ningún valor, porque O está solo en K<sub>2</sub>O

$78 + 16 = 94$

Relación directa:

En 94 kg de K<sub>2</sub>O se tiene 78 kg de K

Cuantos kg de K<sub>2</sub>O se tiene en 141.7kg de P                       $Kg\ de\ K_2O = (141.7 \times 94) / 78 = 171$

Es decir, se tiene **171** kg de K<sub>2</sub>O/ha, sin embargo, solo el 20 % está disponible:

171 kg equivalen al 100 %

Cuantos kg equivalen al 20 %                       $Kg = (20 \times 171) / 100 = 34.2$

Por tanto, solo 34.2 kg/ha de K están disponibles para la planta

### Se determina el requerimiento del cultivo:

DN = (Requerimiento del cultivo – requerimiento de análisis) / eficiencia

$$DN = (335 - 34.2) / 0.5 \quad DN = 601.6$$

**Recomendación:** Se debe aplicar 601.6 kg de K<sub>2</sub>O al cultivo.

### Se determina el Mg disponible

En el análisis tengo: 59.58 ppm, pero se transforma a Kg/ha

En 1 kg de suelo se tiene 59.58 mg de K

En 1 250 000 kg de suelo se tiene ¿? mg de K

$$\text{mg de K} = (1\ 250\ 000 \times 59.58) / 1 = 74475000 \text{ o lo mismo que es: } \mathbf{74\ \text{kg de Mg/ha}}$$

Por lo general, los fertilizantes vienen como MgO, por ello se transforma el Mg a MgO.

Tengo dos moléculas:

Mg	24	24: Es el peso molecular del Mg
O	16	16: Es el peso molecular del O

Mg = 24 no se multiplica por ningún valor, porque O está solo en MgO

O = 16 no se multiplica por ningún valor, porque O está solo en MgO

$$24 + 16 = 40$$

Relación directa:

En 40 kg de MgO se tiene 24 kg de Mg

Cuantos kg de MgO se tiene en 74 kg de P  $\text{Kg de K}_2\text{O} = (74 \times 40 / 24 = \mathbf{123}$

Es decir, se tiene 123 kg de MgO/ha, sin embargo, solo el 2 % está disponible:

123 kg equivalen al 100 %

Cuantos kg equivalen al 2 %  $\text{Kg} = (2 \times 123) / 100 = 2.5$

Por tanto, solo 2.5 kg/ha de Mg están disponibles para la planta

### Se determina el requerimiento del cultivo:

DN = (Requerimiento del cultivo – requerimiento de análisis) / eficiencia

$$DN = (35 - 2.5) / 0.4 \quad DN = 81.25$$

**Recomendación:** Se debe aplicar 81.25 kg de MgO al cultivo.

### Se determina el Ca disponible

En el análisis tengo: 873.74 ppm, pero se transforma a Kg/ha

En 1 kg de suelo se tiene 873.74 mg de Ca

En 1 250 000 kg de suelo se tiene ¿? mg de Ca

$$\text{mg de Ca} = (1\ 250\ 000 \times 873.74) / 1 = 1092175000 \text{ o lo mismo que es: } \mathbf{1092\ \text{kg de Ca/ha}}$$

Por lo general, los fertilizantes vienen como CaO, por ello se transforma el Ca a CaO.

Tengo dos moléculas:

Ca	40	40: Es el peso molecular del Ca
O	16	16: Es el peso molecular del O

Mg = 24 no se multiplica por ningún valor, porque O está solo en MgO

O = 16 no se multiplica por ningún valor, porque O está solo en MgO

$$40 + 16 = 56$$

Relación directa:

En 56 kg de CaO se tiene 40 kg de Ca  
Cuantos kg de CaO se tiene en 1092 kg de Ca  $\text{Kg de CaO} = (1092 \times 56) / 40 = 1529$   
Es decir, se tiene 1529 kg de CaO/ha, sin embargo, solo el 2 % está disponible:

1529 kg equivalen al 100 %  
Cuantos kg equivalen al 2 %  $\text{Kg} = (2 \times 1529) / 100 = 30.6$   
Por tanto, solo 30.6 kg/ha de CaO están disponibles para la planta

### Se determina el requerimiento del cultivo:

$\text{DN} = (\text{Requerimiento del cultivo} - \text{requerimiento de análisis}) / \text{eficiencia}$

$\text{DN} = (95 - 30.6) / 0.4$   $\text{DN} = 161$

**Recomendación:** Se debe aplicar 161 kg de CaO al cultivo.

Entonces, se debe aplicar lo siguiente:

Dosis de nutriente	Kg/ ha
N	72
P2O5	175.4
K2O	602
MgO	81.3
CaO	161

### Calculo para la aplicación de fertilizantes

Primero se debe tener en cuenta que fuente se va aplicar y cuál es la concentración de elementos en cada producto comercial

Fuentes disponibles	N	P	K	Ca	S	B	Mg
Muriato de potasio			60				
Nitrabor	15			26		0.3	
10-30-10	10	30	10				
Sulfato de magnesio					20		27

Los nutrientes en los productos comerciales pueden estar en forma elemental, como óxidos u otros, por ello, es importante verificar antes de hacer los cálculos.

#### 1. Cálculos para el Mg con sulfato de magnesio

En 100 kg de sulfato de magnesio hay 27 kg de MgO

A cuantos kg de sulfato de magnesio equivale 81.3 kg de MgO

**$\text{Kg de sulfato} = (100 \times 81.3) / 27 = 301.1$**

También se aplica azufre

En 100 kg de sulfato de magnesio hay 20 kg de S

¿Ahora en 301 kg de sulfato de magnesio, cuantos kg de S hay?

$\text{Kg de S} = (20 \times 301) / 100 = 60.2$

Cálculo en qq/ha

1 saco que sulfato tiene 50 kg de peso

A cuantos sacos de sulfato equivale 301.1 kg de peso

$\text{Sacos/ha} = (301.1 \times 1) / 50 = 6$

## 2. Cálculos para el Ca con Nitrabor (nitrato de calcio).

En 100 kg de Nitrabor hay 26 kg de CaO  
A cuantos kg de Nitrabor equivale 161 kg de CaO

$$\text{Kg de Nitrabor} = (100 \times 161) / 26 = 619.2$$

También se aplica nitrógeno

En 100 kg de Nitrabor hay 15 kg de N  
¿Ahora en 619.2 kg de Nitrabor, cuantos kg de N hay?  
Kg de N =  $(15 \times 619.2) / 100 = 92$

También se aplica boro

En 100 kg de Nitrabor hay 0.3 kg de B  
¿Ahora en 619.2 kg de Nitrabor, cuantos kg de B hay?  
Kg de B =  $(0.3 \times 619.2) / 100 = 1.9$

Cálculo en qq/ha

1 saco que Nitrabor tiene 50 kg de peso  
A cuantos sacos de Nitrabor equivale 619.2 kg de peso  
Sacos/ha =  $(619.2 \times 1) / 50 = 12.3$

## 3. Cálculos para el NPK con 10-30-10

En 100 kg de 10-30-10 hay 30 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
A cuantos kg de 10-30-10 equivale 175.4 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
**Kg de 10-30-10 =  $(100 \times 175.4) / 30 = 585$**

También se aplica nitrógeno

En 100 kg de 10-30-10 hay 10 kg de N  
¿Ahora en 585 kg de 10-30-10, cuantos kg de N hay?  
Kg de N =  $(10 \times 585) / 100 = 58.5$

También se aplica potasio

En 100 kg de 10-30-10 hay 10 kg de B  
¿Ahora en 585 kg de 10-30-10, cuantos kg de B hay?  
Kg de K =  $(10 \times 585) / 100 = 58.5$

Cálculo en qq/ha

1 saco que 10-30-10 tiene 50 kg de peso  
A cuantos sacos de 10-30-10 equivale 585 kg de peso  
Sacos/ha =  $(585 \times 1) / 50 = 11.7$

## 4. Cálculos para el NPK con 10-30-10

El cultivo requiere 602 kg de P<sub>2</sub>O, sin embargo, con el 10-30-10 ya se determinó 58.8 kg

Por tanto;  $602 - 58.8 = 543.2$

Entonces, necesito determinar cuántos kg de muriato se debe aplicar para llegar a 543.2

En 100 kg de muriato hay 60 kg de K<sub>2</sub>O  
A cuantos kg de muriato equivale 543.2 kg de K<sub>2</sub>O

**Kg de muriato de potasio = (100 x 543.2) / 60 = 905.3**

Cálculo en qq/ha

1 saco que muriato tiene 50 kg de peso  
 A cuantos sacos de muriato equivale 905.3 kg de peso  
 Sacos/ha = (905.3 x 1) / 50 = 18.1

Resumen de fertilizantes a aplicar:

Fertilizantes a usar	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	S	B
Sulfato de magnesio					81.3	60.2	
Nitrabor	94.4			161.0			1.9
10-30-10	58.5	175.4	58.5				
Muriato de potasio			543.2				
Sumatoria	152.8	175.4	601.7	161.0	81.3	60.2	1.9

Fertilizantes a usar	kg/ha	qq/ha	qq/507 m2	kg/507 m2
Sulfato de magnesio	301.2	6.0	0.3	15.3
Nitrabor	629.1	12.6	0.6	31.9
10-30-10	584.8	11.7	0.6	29.6
Muriato de potasio	905.4	18.1	0.9	45.9

**Fraccionamiento**

Fertilizantes a usar	kg/507	Siembra	Retape	Aporque
Sulfato de magnesio	15	7	8	
Nitrabor	32			38
10-30-10	30	29	1	
Muriato de potasio	46	7		39
Suma	123	43	8.9	76.9

Siembra	Retape	Aporque
<b>Mezcla para cada aplicación (kg)</b>		
43	8.9	76.9
<b>Aplicación por parcela (kg)</b>		
2.2	0.4	3.8
<b>Aplicación por surco (kg)</b>		
0.5	0.1	1.0



**Anexo 4. Evidencias fotográficas**



Anexo 4.1. *Encalado de suelo*



Anexo 4.2. *Siembra del cultivo de papa*



Anexo 4.4. *Retape del cultivo*



Anexo 4.5. *Aporque del cultivo*



Anexo 4.6. *Control fitosanitario*



Anexo 4.7. Cosecha

**Anexo 5.** Resultado del análisis Anova, Test de Tukey al 95%.

**Tabla 10.** Análisis de varianza para el parámetro de emergencia

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9625.50	7	960.79	2.27	0.0616
Tratamiento	5771.30	4	1492.83	4.22	0.0231
Repetición	754.20	3	251.40	0.71	0.5638
Error	4242.30	12	353.53		
Total	10967.80	19			

**Tabla 11.** Prueba de Tukey para el parámetro de emergencia.

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 42.37757

Error: 353.5250 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.		
T4	94.00	4	9.40	A	
T2	62.75	4	9.40	A	B
T3	59.50	4	9.40	A	B
T1	50.25	4	9.40		B
T5	44.00	4	9.40		B

**Tabla 12.** Análisis de varianza para el parámetro de altura a los 30 DDS.

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	373.59	7	53.37	7.76	0.0011
Tratamiento	357.29	4	89.32	12.99	0.0003
Repetición	16.31	3	5.44	0.79	0.5221
Error	82.49	12	6.87		
Total	456.08	19			

**Tabla 13.** Prueba de Tukey para el parámetro de altura a los 30 DDS.

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 5.90919

Error: 6.8739 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.
T4	19.60	4	1.31 A
T2	11.33	4	1.31 B
T3	11.25	4	1.31 B
T1	9.33	4	1.31 B
T5	7.13	4	1.31 B

**Tabla 14.** Análisis de varianza para el parámetro de altura a los 60 DDS.

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1982.90	7	283.27	10.20	0.0003
Tratamiento	1476.50	4	369.13	13.30	0.0002
Repetición	506.40	3	168.80	6.08	0.0093
Error	333.10	12	27.76		
Total	2316.00	19			

**Tabla 15.** Prueba de Tukey para el parámetro de altura a los 60 DDS.

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 11.87470

Error: 27.7583 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.
T4	83.50	4	2.63 A
T2	68.00	4	2.63 B
T3	67.25	4	2.63 B
T1	63.75	4	2.63 B
T5	57.50	4	2.63 B

**Tabla 16.** Análisis de varianza para el parámetro de altura a los 90 DDS.

F. V.	SC	el	CM	F	p-valor
Modelo	1881.25	7	268.75	16.51	<0.0001
Tratamiento	1482.30	4	370.58	22.77	<0.0001
Repetición	398.95	3	132.98	8.17	0.0031
Error	195.30	12	16.28		
Total	2076.55	19			

**Tabla 17.** Prueba de Tukey para el parámetro de altura a los 90 DDS.

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 9.09257

Error: 16.2750 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.
T4	130.25	4	2.02 A
T3	119.75	4	2.02 B
T2	119.25	4	2.02 B
T1	115.50	4	2.02 B
T5	103.50	4	2.02 C

**Tabla 18.** Análisis de varianza para el parámetro de días a la floración.

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	534.10	7	76.37	14.37	0.0001

Tratamiento	426.30	4	106.58	20.08	<0.0001
Repetición	107.80	3	35.93	6.77	0.0064
Error	63.70	12	5.31		
Total	597.80	19			

**Tabla 19.** Prueba de Tukey para el parámetro de días a la floración.

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 5.19284

Error: 5.3083 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.		
T4	69.50	4	1.15	A	
T3	78.25	4	1.15		B
T1	78.25	4	1.15		B
T2	80.00	4	1.15		B C
T5	83.50	4	1.15		C

**Tabla 20.** Análisis de varianza para el parámetro de días a la cosecha.

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1623.30	7	231.90	10.63	0.0003
Tratamiento	69.50	4	17.38	0.80	0.5498
Repetición	1553.80	3	517.93	23.75	<0.0001
Error	261.70	12	21.81		
Total	1885.00	19			

**Tabla 21.** Análisis de varianza para el parámetro de numero de tubérculos por planta.

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	818.85	7	116.98	1.88	0.1612
Tratamiento	676.30	4	169.08	2.71	0.0807
Repetición	142.55	3	47.52	0.76	0.5365
Error	747.70	12	62.31		
Total	1566.55	19			

**Tabla 22.** Análisis de varianza para el parámetro de peso de tubérculos por planta.

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.54	7	1.08	8.84	0.0006
Tratamiento	4.23	4	1.06	8.68	0.0016
Repetición	3.31	3	1.10	9.04	0.0021
Error	1.46	12	0.12		
Total	9.00	19			

**Tabla 23.** Prueba de Tukey para el parámetro de peso de tubérculos por planta.

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 0.84407

Error: 0.1403 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.		
T4	4.88	4	0.19	A	
T3	3.90	4	0.19		B
T1	3.80	4	0.19		B
T2	3.65	4	0.19		B
T5	3.65	4	0.19		B

**Tabla 24.** *Análisis de varianza para el parámetro de peso de rendimiento.*

<b>F. V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	366794294.68	7	52399184.95	9.13	0.0005
Tratamiento	204663975.69	4	51165993.92	8.91	0.0014
Repetición	162130318.98	3	54043439.66	9.41	0.0018
Error	68904538.87	12	5742044.91		
Total	435698833.54	19			

**Tabla 25.** *Prueba de Tukey para el parámetro de rendimiento.*

*Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 17.74329*

*Error: 61.9750 gl: 12*

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E. E.</b>	
T4	33989.13	4	1198.13	A
T3	27145.68	4	1198.13	B
T1	26506.53	4	1198.13	B
T5	25502.18	4	1198.13	B
T2	25452.19	4	1198.13	B

**Anexo 6.** *Certificado de traducción del Abstract.*



**CERTIFICADO DEL RESUMEN**

Yo, **Maholy Katherine Morocho Merino**, portadora de la cedula de Identidad N°:1104677131. Licenciada en Ciencias de la Educación Especialidad Idioma Inglés. Certifico la traducción al idioma inglés el resumen del Trabajo de Titulación denominada: **“Efecto de dos dosis de encalado sobre el control de la acidez de un suelo y su influencia en el crecimiento, desarrollo y producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el sector carboncillo del cantón Saraguro”**, perteneciente al señor **Edison Xavier Beltrán Montoya**, esta corresponde al texto original en español.

A la parte interesada muy atentamente,



---

**Maholy Katherine Morocho Merino**

Licenciada en Ciencias de la Educación Especialidad Idioma Inglés  
Registro N° 1008-2016-1695982 SENECYT.