

# **Evaluación de tres métodos para determinar requerimiento de cal y correlación con curvas de incubación, en suelos ácidos de Honduras**

**Luis Fernando Gómez Villamizar  
Juan David Mantilla Salazar**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**  
Noviembre, 2014

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

# **Evaluación de tres métodos para determinar requerimiento de cal y correlación con curvas de incubación, en suelos ácidos de Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingenieros Agrónomos en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Luis Fernando Gómez Villamizar**  
**Juan David Mantilla Salazar**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2014

# **Evaluación de tres métodos para determinar requerimiento de cal y correlación con curvas de incubación, en suelos ácidos de Honduras**

Presentado por:

Luis Fernando Gómez Villamizar  
Juan David Mantilla Salazar

Aprobado:

---

Gloria E. Arévalo, M. Sc.  
Asesora Principal

---

Renán Pineda, Ph.D.  
Director  
Departamento de Ciencia y  
Producción Agropecuaria

---

Carlos A. Gauggel Ph. D.  
Asesor

---

Raúl H. Zelaya, Ph.D.  
Decano Académico

---

Dania Pamela Oliva, Ing. Agr.  
Asesora

---

Moisés Sanchez, Ing. Quim.  
Asesor

## **Evaluación de tres métodos para determinar requerimiento de cal y correlación con curvas de incubación, en suelos ácidos de Honduras.**

**Luis Fernando Gómez Villamizar  
Juan David Mantilla Salazar**

**Resumen:** Existen diferentes métodos para hacer recomendaciones de cal y es necesario definir el que se ajusta mejor a suelos ácidos de la Región. El objetivo de este estudio fue evaluar tres métodos de recomendación del requerimiento de cal, por correlación con curvas de incubación, en suelos ácidos de Honduras. Se seleccionaron 65 muestras de la base de datos del laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano (LSZ), con pH máximo de 6.5, separadas en rangos de 0.5. Se determinó: pH en agua 1:1, pH en KCl, Al intercambiable y textura. En cada suelo se determinó la necesidad de cal por los métodos de Adams & Evans, Al intercambiable y el método LSZ. Se realizaron curvas de encalamiento mediante incubaciones con dosis crecientes de cal para cada suelo. Con las curvas se obtuvieron ecuaciones de regresión lineal para determinar la cal requerida para llevar el pH a 6.5. Este valor se comparó con los resultados determinados con cada método. Los resultados se analizaron con el programa SAS<sup>®</sup>, con separación de medias ( $P \leq 0.05$ ) por Duncan. Las variables del suelo fueron correlacionadas con cada método, utilizando un modelo lineal con una correlación de Pearson con un valor de  $r \geq 0.600$ . El método más acertado fue el utilizado por LSZ, que no presentó diferencia significativa con las curvas de encalamiento. Ninguno de los métodos se ajusta para suelos ácidos con porcentajes de arcilla  $< 20\%$ . Se recomienda validar los resultados con pruebas de campo.

**Palabras clave:** CIC, encalamiento.

**Abstract:** There have been set some lab methods in order to make lime recommendations and it is necessary to determine which one makes better estimates on acid soils of the region. We evaluate three methods to determine the soil lime requirements through correlation with incubation curves on acid soils in Honduras. We selected 65 soil samples from the data base of the soil lab of Zamorano, with a maximum pH of 6.5, and we divide them in ranges of 0.5. We determined: pH in water 1:1, pH with KCl, exchangeable Al and texture. For each sample of soil we determined lime requirement through Adams & Evans, exchangeable Al and LSZ. We did liming curves using soil and lime in incubation with increasing doses of lime for each of the samples. Using these curves we obtain linear regression equations to determine the needed quantity to elevate the soil pH to 6.5. We compared this value with the results obtained from each of the methods. A mean separation by Duncan ( $P < 0.05$ ) in SAS<sup>®</sup> was used for the statistical analysis. The variables were correlated with the methods using Pearson correlation coefficient of  $r \geq 0.600$ . The most accurate method was the LSZ, which didn't have significant difference with the liming curves. None of the methods fixed for acid soils with  $< 20\%$  of clay. We recommend to validate these results through field testing.

**Key words:** CIC, liming.

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>13</b>
<b>4 CONCLUSIONES.....</b>	<b>20</b>
<b>5 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>21</b>
<b>6 LITERATURA CITADA.....</b>	<b>22</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>24</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Requisito de cal agrícola para elevar el pH del suelo a 6.0 a una profundidad de 15 cm. usando el método del buffer de Adams & Evans (Sims 1996). Tabla ajustada de la original por los autores. ....	9
2. Necesidad de enclamiento para cambiar la reacción del suelo (pH). Gauggel, 2003 .....	11
3. Clasificación de la dosificación de cal agrícola en el experimento de curvas de incubación en el laboratorio de suelos de la EAP Zamorano, Honduras.. ....	12
4. Comparación de cuatro métodos para corregir acidez de los suelos evaluados con dosis media de Cal (CaCO <sub>3</sub> equivalente).....	13
5. Ecuaciones para determinar la cal necesaria en suelos de Honduras con diferente pH y textura. ....	15
6. Ajuste recomendado para el método postulado por Gauggel en 2003. ....	15
7. Correlación entre pH con: pH <sub>KCl</sub> , CICE, CICE estimada, Al, acidez estimada y saturación de aluminio (SAI), en suelos ácidos de la región central de Honduras.....	16
8. Correlación entre pH <sub>KCl</sub> con: CICE, CICE estimada, Al, acidez estimada y saturación de aluminio (SAI), en suelos ácidos de la región central de Honduras.....	16
9. Correlación entre Al con: acidez estimada y saturación de aluminio (SAI), en suelos ácidos de la región central de Honduras.....	17
10. Correlación entre acidez estimada con: Saturación de aluminio (SAI), CICE y CICE estimada, en suelos ácidos de la región central de Honduras.....	17
11. Correlación entre porcentaje de arcilla con: CICE y CICE estimada, en suelos ácidos de la región central de Honduras.....	17
12. Correlación entre la incubación con: Aluminio (Al), saturación de aluminio (SAI), acidez estimada, pH y pH <sub>KCl</sub> , en suelos ácidos de la región central de Honduras. ....	18
13. Correlación entre el método Adams & Evans con: Aluminio (Al), saturación de aluminio (SAI), acidez estimada, pH y pH <sub>KCl</sub> , en suelos ácidos de la región central de Honduras. ....	18
14. Correlación entre el método de aluminio intercambiable con: Aluminio (Al), saturación de aluminio (SAI), acidez estimada, pH y pH <sub>KCl</sub> , en suelos ácidos de la región central de Honduras.....	19
15. Correlación entre el método LSZ con: Aluminio (Al), saturación de aluminio (SAI), acidez estimada, pH y pH <sub>KCl</sub> , en suelos ácidos de la región central de Honduras.....	19

Figuras	Página
1. Interpolación para muestra de suelo #989 con pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub> de 4.00 y pH <sub>Buffer</sub> de 6.27.....	10

2. Extrapolación para muestra de suelo #1002 con  $pH_{H_2O}$  de 3,87 y  $pH_{Buffer}$  de 6.96..... 10
3. Curva de enclamiento para suelo con  $pH < 4$  y contenido de arcilla entre 20 y 28%.... 14
4. Curva de enclamiento para suelo con  $pH$  entre 6.00 - 6.49 arcilla  $> 28\%$ .... 14

## Anexos

Página

1. Valores de cal recomendados según cada método. ....	24
2. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre 20 y 28% y $pH > 4$ .....	26
3. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre 20 y 28% y $pH$ 4.00 a 4.49.. ..	26
4. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre 20 y 28% y $pH$ 4.50 a 4.99.. ..	26
5. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre 20 y 28% y $pH$ 5.00 a 5.49.. ..	27
6. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre 20 y 28% y $pH$ 5.50 a 5.99.. ..	27
7. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre 20 y 28% y $pH$ 6.00 a 6.49.. ..	27
8. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla $< 20\%$ y $pH > 4.00$ .....	28
9. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre $< 20$ y $pH$ 4.00 a 4.49.....	28
10. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla $< 20\%$ y $pH$ 4.50 a 4.99.....	28
11. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre $< 20\%$ y $pH$ 5.00 a 5.49.. ..	29
12. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla $< 20\%$ y $pH$ 5.50 a 5.99.....	29
13. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla $< 20\%$ y $pH$ 6.00 a 6.49.....	29
14. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre $> 20\%$ y $pH$ 5.00 a 5.49.. ..	30
15. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla $> 20\%$ y $pH$ 5.50 a 5.99.....	30
16. Curva de enclamiento para suelo con porcentaje de arcilla $> 20\%$ y $pH$ 6.00 a 6.49.....	30

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los suelos ácidos ocupan el 30% de la superficie terrestre libre de hielos, lo que representa un extenso territorio cultivable (Von Uexküll y Mutert 1995), los problemas generados en el suelo por procesos de acidificación califican como el principal factor degradante en zonas tropicales y templadas (Baligar y Fageria 1997).

Según FAO 2014 los suelos ácidos se refieren aquellos cuyo pH tiene un valor inferior a 5.5 durante la mayor parte del año. Están asociados generalmente a toxicidades (Aluminio) y deficiencias (Molibdeno) y otras condiciones restringentes para las plantas.

El pH del suelo, usualmente referido como el factor de intensidad de la acidez del suelo, refleja la cantidad de acidez presente en la solución del suelo y sirve como un indicador de la situación ácido-base del suelo. El manejo óptimo del suelo para cualquier propósito requiere que el pH sea ajustado a un rango aceptable; por lo tanto es necesario definir métodos rápidos y precisos para evaluar la cantidad de material encalante requerido para tener un efecto sobre el pH del suelo son esenciales. Dentro de las condiciones asociadas a un suelo adecuadamente encalado están: una adecuada saturación de bases de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la neutralización de elementos potencialmente fitotóxicos (Al, Fe, Mn), la reducción en solubilidad de elementos trazas peligrosos en suelos residuales enmendados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) y el aumento de actividad microbiana (Sims 1996).

Los suelos ácidos limitan a la planta en su crecimiento y al mismo tiempo reducen la disponibilidad de elementos fundamentales para su nutrición. Un suelo ácido se genera por una fuente de iones  $H^+$  presentes en el suelo, que generalmente provienen de la disociación del ácido carbónico. El encalado con calcio tiene como propósito fundamental corregir la acidez y aportar calcio aprovechable para la planta (Perdomo y Hampton 1970).

El concepto de acidez en el suelo ha venido evolucionando durante muchos años, hoy en día es bien conocido que la acidez de un suelo no solamente es dependiente del grado de saturación con respecto al calcio, sino que también puede provenir de otras fuentes tales como materiales húmicos, arcillas presentes en el suelo, hidróxidos de hierro y aluminio y algunos compuestos solubles (Luna 1971).

Durante la evolución de la agricultura y con el paso del tiempo se han venido generando inquietudes acerca de la mejor forma de determinar la cantidad adecuada de cal para

corregir problemas de acidez en el suelo, diversos métodos y teorías han sido postulados por diferentes autores y científicos en el transcurso de los años<sup>1</sup>.

El requerimiento de cal está definido como la cantidad de cal agrícola o de otro material básico necesario para aumentar el pH del suelo de una condición ácida inaceptable a un valor considerado óptimo para el uso deseado del suelo. También se refiere como al factor de capacidad de la acidez del suelo porque representa esa fracción del total de acidez del suelo (soluble e intercambiable) que debe ser neutralizada para alcanzar un pH deseado del suelo. Por lo tanto es una indicación de la capacidad del suelo a resistir un cambio en el pH cuando se añade la cal (Sims 1996).

Los requerimientos de cal son mayores normalmente para suelos formados de materiales parentales más ácidos bajo condiciones de meteorización intensa. La acidificación del suelo ocurre cuando la remoción de cationes básicos (Ca, Mg) de suelos, debido a erosión, lixiviación y absorción de la planta, ocurre más rápido que la disolución natural de rocas y minerales (meteorización) que contienen estas bases que las puedan reponer. Mientras los cationes básicos son removidos del suelo, cationes ácidos como  $H^+$ ,  $Al^{3+}$  y  $Fe^{3+}$  los reemplazan en los lugares de intercambio de cationes y en la solución del suelo (Sims 1996).

Un número de factores complejos e interrelacionados afectan el requerimiento de cal de un suelo, incluyendo la naturaleza de la acidez, la secuencia de neutralización (el rango de pH entre el inicial y el pH deseado del suelo), propiedades físicas y químicas del suelo y cualquier consideración analítica relacionadas con la precisión y cantidad reproducible de requerimiento de cal, ya sea por un test de suelo de metodología rápida o por un método que demande más tiempo en laboratorio, invernadero o en campo (Sims 1996).

Para que el efecto de la cal en el cambio de pH sea bueno se debe mezclar completamente el material en los primeros 15-20 cm de suelo, utilizando el arado, rastra o cualquier otro implemento. De esta forma se logra mezclar el material con la capa del suelo donde se concentran las raíces activas de la mayoría de los cultivos (Espinoza 1999).

La habilidad de un suelo ácido a resistir un cambio en el pH cuando es encalado, es una medida de su capacidad buffer y está mayormente influenciado por el porcentaje y el tipo de minerales de arcilla y la cantidad de materia orgánica del suelo presente. Suelos altos en arcilla y/o materia orgánica tienen buena capacidad buffer, mayor CICE y por lo tanto van a necesitar mayor cantidad de cal para tener un efecto en el cambio de pH, en comparación con suelo pobres en capacidad buffer. La textura también puede contribuir a la acidificación del suelo por su interacción con la lixiviación. Suelos con texturas finas tienen mayor capacidad de retención de agua y tasas bajas de percolación y generalmente tasas menores de pérdida de cationes básicos (Sims 1996).

El estudio desarrollado evaluó tres métodos para determinar el nivel de encalamiento necesario para corregir el pH de suelos ácidos, estos métodos fueron Adams & Evans, el

---

<sup>1</sup>. Arévalo, G. 2014. Encalamiento. Honduras, EAP Zamorano. Comunicación Personal.

método usado en el laboratorio de suelos de Zamorano (LSZ) y presencia de aluminio intercambiable, así también se evaluaron las variables e interacciones entre los factores químicos y físicos que influyen al hacer una recomendación de encalamiento.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización del estudio.** El experimento se realizó en el laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. Ubicado en el Valle del Yeguaré, departamento de Francisco Morazán, Honduras. El estudio tuvo una duración de 23 semanas durante las cuales se utilizaron las instalaciones del laboratorio y diversos equipos para determinar las variables utilizadas en este estudio.

El experimento se realizó en dos fases, en la primera se seleccionaron las muestras de las cuales no se logró obtener la procedencia exacta, sin embargo la mayoría de clientes del LSZ proceden de la región central de Honduras. A partir de 3626 muestras registradas en la base de datos del registro de muestras del año 2013 - 2014 del laboratorio de suelos, las cuales ya fueron analizadas y contaban ya con resultados de pH, materia orgánica, bases y algunas tenían datos de textura. Estas muestras fueron clasificadas por rangos de pH <4.00, 4.00 a 4.49, 4.5 a 4.99, 5.00 a 5.49, 5.5 a 5.99 y de 6.00 a 6.49

A las muestras seleccionadas y clasificadas en cada una de las categorías descritas previamente se les realizó la medición de variables propias de la acidez suelo tales como:  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , CIC, Aluminio intercambiable y porcentaje de arcilla presente en el suelo. Los resultados de cada una de las muestras fueron usados para determinar el requerimiento de cal sugerido por tres métodos para neutralizar la acidez.

**Medición de pH.** El método que fue utilizado para la medición de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  está referido por (Sparks 1996) y se describe a continuación:

La medición del pH se realizó haciendo uso del potenciómetro con electrodos de vidrio en una mezcla peso/volumen de 1:1. Las soluciones más usadas para realizar esta medición son  $\text{H}_2\text{O}$  y KCl, para este estudio se utilizó el  $\text{H}_2\text{O}$  destilada para hacer la medición del pH de la muestra de suelo. El KCl fue utilizado para medir el pH potencial, en donde el catión  $\text{K}^+$  desplaza a otros cationes como el  $\text{H}^+$  y el  $\text{Al}^{+3}$  que se encuentran adheridos a las arcillas. Estos cationes quedan suspendidos en la solución y de esta manera se pueden medir con el potenciómetro.

El KCl utilizado en la medición se preparó a una concentración de 1N para lo cual se pesaron 74,5 g de KCl y se colocaron en un frasco volumétrico de 1 L y se aforó con agua destilada hasta completar el volumen del mismo.

Se utilizaron dos sustancias buffer con un pH conocido de 4.00 y 7.00 que se utilizaron para calibrar el potenciómetro previo a la utilización del mismo.

Para medir el  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  se pesaron 20 g de suelo y mezclaron con 20 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{KCl}$  respectivamente y de esta forma se obtuvo la relación 1:1 suelo: agua o solución (peso/volumen).

**Determinación de la acidez intercambiable del suelo ( $\text{Al}^{3+} \text{H}^+$ ).** El método de Aluminio intercambiable se basa en la premisa de que la acidez intercambiable del suelo está compuesta por  $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$  en diferentes proporciones.

La acidez intercambiable fue obtenida de dos formas:

- Acidez intercambiable estimada.

El pH del suelo permite realizar una estimación de la acidez intercambiable ( $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{H}^+$ ) del suelo. Si el pH se encuentra en el rango de 4 a 4.5 se estima un valor de 3  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ , con pH de 4.5 a 5 se asigna un valor de 1.3  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ , en suelos con pH de 5 a 5.5 se asigna un valor de 0.1  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  y para suelos con pH mayor a 5.5 se asigna un valor de 0  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  (Oliva Escobar 2009).

- Extracción del aluminio intercambiable

Para remover la acidez se utilizaron 25 ml de  $\text{KCl}$  1N en 10 g de suelo, posteriormente se agitó la muestra y se filtró pasándola un frasco de 50 ml. Se lavó el suelo del filtro con cinco porciones de 5 ml de  $\text{KCl}$  1N y se mezcló para tener una muestra homogénea.

A continuación se extrajeron 25 ml del extracto obtenido a un recipiente, este fue colocado en el autotitulado, el cual haciendo uso de  $\text{NaOH}$  al 0.005 tituló la muestra y arrojó los valores de titulación para  $\text{H}^+$  y  $\text{Al}^{3+}$  (Bertsch y Bloom 1996).

Los valores obtenidos del autotitulado se convirtieron a  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  utilizando las ecuaciones [1] y [2].

$$\text{Al cmol}_c/\text{kg} = (H + \text{Al}) \times 0.05 \quad [1]$$

$$H \text{ cmol}_c/\text{kg} = H \times 0.05 \quad [2]$$

Dónde:

H = Volumen de  $\text{NaOH}$  usado para titular  $\text{H}^+$

Al = Volumen de  $\text{NaOH}$  usado para titular  $\text{Al}^{3+}$

**Capacidad de intercambio catiónico.** La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una variable importante que define la carga eléctrica de las arcillas y de la materia orgánica del suelo. Esta medición se realizó de dos formas, una de ellas fue en el laboratorio haciendo uso del destilador de Kjendahl y una bomba de vacío. El otro método es un cálculo realizado con los elementos bases presentes y adheridos a las arcillas.

La importancia de la CIC radica en que con ella se calcula el porcentaje de saturación de bases o cantidad relativa de bases en el suelo para determinar su fertilidad (Arévalo y Gauggel).

- CIC determinada con Acetato de Amonio 1N

Procedimiento:

- a. Se pesaron 2 g de suelo seco para cada una de las muestras a ser evaluadas, el suelo se colocó en un frasco plástico y se le agregaron 15 ml de solución de acetato de amonio 1N con un pH de 7.00, luego la muestra se tapó y se agitó por aproximadamente 5 minutos. La mezcla de suelo y acetato de amonio se dejó reposar hasta el día siguiente.
- b. Al día siguiente se agitó suavemente y transfirió el suelo a un embudo Buchner y se lavó el suelo usando 35 ml de solución de acetato de amonio adicionándolo lentamente en pequeñas porciones.
- c. Se analizaron las bases intercambiables por absorción atómica.
- d. El suelo fue lavado con tres porciones de 10 ml de etanol al 95% lentamente y con baja succión.
- e. Se aplicó vacío con una bomba para extraer todo el etanol y se descartó el filtrado.
- f. El filtrado fue recogido y se tomaron 10 ml, luego fue destilado por el método de Kjeldahl y se determinó el amonio que había sido retenido por el suelo en los sitios de intercambio. Este amonio fue calculado al titular con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.01 N y registrar el volumen de ácido gastado en la titulación.

- Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE)

Este método consistió en tomar los datos de las bases y el aluminio e hidrógeno retenido en las cargas del suelo, estos datos de las bases como (Mg, Na, Ca y K), existían previamente en el laboratorio para las muestras y se encontraban en ppm. Para el cálculo estos datos se convirtieron a  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  de la siguiente forma:

$$\text{ppm de Mg}/120 = \text{Mg cmol}_c/\text{kg}$$

$$\text{ppm de Na}/230 = \text{Na cmol}_c/\text{kg}$$

$$\text{ppm de Ca}/200 = \text{Ca cmol}_c/\text{kg}$$

$$\text{ppm de K}/390 = \text{K cmol}_c/\text{kg}$$

Las cantidades de aluminio e hidrógeno también fueron tenidas en cuenta para este cálculo, y su medición se realizó haciendo uso del autotitador.

El cálculo de la CICE se realizó haciendo uso de la ecuación [3].

$$CICE = \sum Bases + Acidez Intercambiable [3]$$

### Métodos de determinación de requerimiento de cal.

- A partir de aluminio intercambiable

Una vez obtenidos los datos en cmol<sub>c</sub>/kg de H<sup>+</sup> y Al<sup>+3</sup> se utilizó para calcular la necesidad de cal la ecuación [4] la cual contempla la neutralización de un determinado porcentaje de saturación de acidez en relación con la CICE del suelo multiplica por una constante que cubre los factores que limitan la eficiencia de la reacción química y el Al<sup>+3</sup> no intercambiable (Molina 1998).

$$CaCO_3 \text{ t/ha} = \frac{1.5 (SAL-RAS)(CICE)}{100} \times f [4]$$

SAL: Saturación de aluminio existente en el suelo determinado con la ecuación [5]

$$SAL = Al^{+3} \div CICE [5]$$

RAS: % de saturación de acidez máximo recomendado para el cultivo. Para el estudio se utilizó un RAS de 0.

CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva.

f: 100/PRNT (Poder relativo de neutralización total)

PRNT: Equivalente químico × Eficiencia Granulométrica (100% en el caso de este estudio).

El método presentado anteriormente está referido por Molina 1998.

- Adams & Evans

El método de Adams & Evans utiliza un buffer de pH 8.0 el cual en contacto con la muestra de suelo, cambia su pH debido a la insaturación de bases (Sims 1996).

Para el procedimiento de elaboración del buffer se pesaron 20 g de P-nitrofenol y se diluyeron en aproximadamente 400 ml de agua tibia. En otro recipiente se pesaron 15 g de ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) y se diluyeron en aproximadamente 30 ml de agua caliente. Luego de mezclar las dos soluciones y se aforó con agua destilada hasta llegar a 1 litro.

En otro recipiente de volumen de dos litros se agregaron 74 g de KCl y 10.5 de KOH, los cuales se disolvieron en 500 ml de agua destilada. Finalmente se mezclaron las dos soluciones en un recipiente volumétrico de 2 litros y se aforó hasta completar el volumen. El pH de 8.00 fue ajustado usando KCl y KOH.

Se pesaron 20 g de suelo de cada muestra y 30 ml del buffer creado. Esto se mantuvo en agitación por cuatro minutos y finalmente se realizó la medición de pH con el potenciómetro.

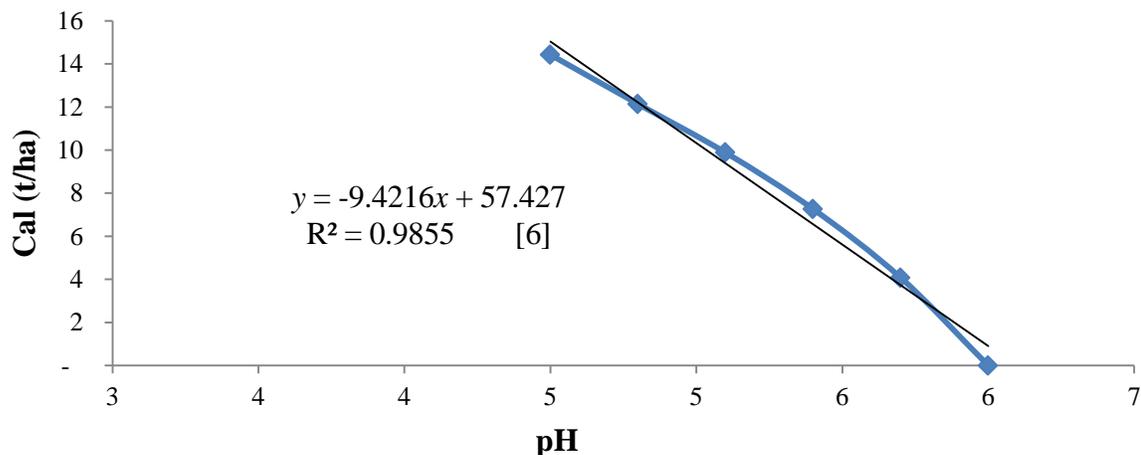
Por otra parte se mezclaron 20 g de suelo con 20 ml de agua destilada, para mantener la relación 1:1 (peso/volumen) y se realizó nuevamente una medición de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ .

Los valores que se obtuvieron para el  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{pH}_{\text{Buffer}}$  fueron ubicados en el cuadro 1.

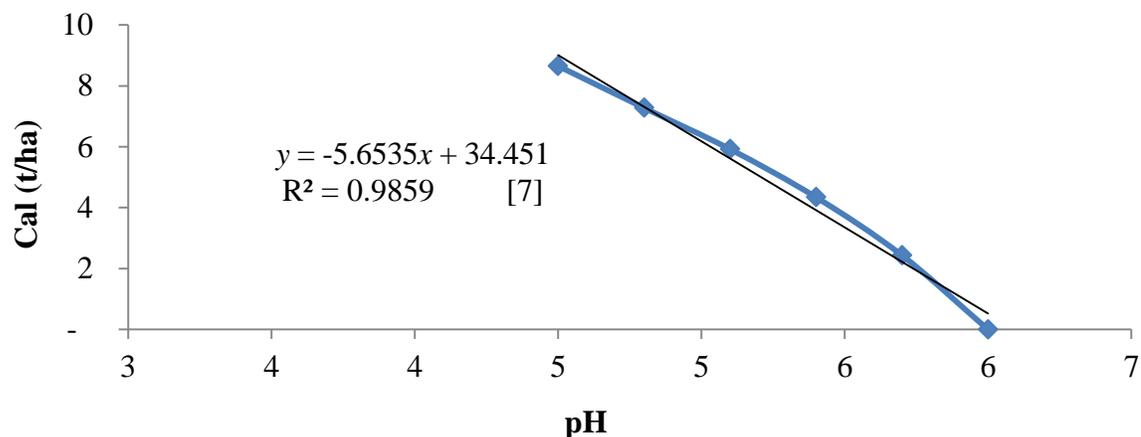
**Cuadro 1.** Requisito de cal agrícola para elevar el pH del suelo a 6.0 a una profundidad de 15 cm. usando el método del buffer de Adams & Evans (Sims 1996). Tabla ajustada de la original por los autores.

	pH suelo en agua															
	6.0	5.9	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5
Buffer pH	t/Ha															
8.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.95	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
7.90	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8
7.85	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2
7.80	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.5	1.6	1.6
7.75	0.0	0.1	0.3	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
7.70	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.4	2.5
7.65	0.0	0.2	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.6	1.8	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6	2.7	2.9
7.60	0.0	0.3	0.6	0.9	1.1	1.5	1.7	1.9	2.0	2.2	2.5	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3
7.55	0.0	0.3	0.7	1.0	1.3	1.6	1.8	2.1	2.4	2.6	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7
7.50	0.0	0.3	0.8	1.1	1.5	1.8	2.0	2.4	2.6	2.8	3.0	3.3	3.5	3.7	3.9	4.2
7.45	0.0	0.4	0.9	1.2	1.6	1.9	2.2	2.6	2.8	3.1	3.4	3.6	3.8	4.0	4.3	4.6
7.40	0.0	0.4	0.9	1.3	1.8	2.1	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	3.9	4.2	4.4	4.7	4.9
7.35	0.0	0.6	1.0	1.5	1.9	2.4	2.7	3.0	3.4	3.7	3.9	4.3	4.5	4.8	5.1	5.4
7.30	0.0	0.6	1.1	1.6	2.1	2.5	2.9	3.3	3.6	3.9	4.3	4.6	4.8	5.2	5.5	5.8
7.25	0.0	0.6	1.2	1.8	2.2	2.7	3.1	3.5	3.9	4.3	4.6	4.9	5.3	5.5	5.8	6.2
7.20	0.0	0.7	1.2	1.9	2.4	2.9	3.4	3.8	4.2	4.5	4.9	5.3	5.6	6.0	6.3	6.6
7.15	0.0	0.7	1.3	2.0	2.6	3.0	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.6	6.0	6.3	6.6	7.1
7.10	0.0	0.8	1.5	2.1	2.7	3.3	3.7	4.3	4.7	5.2	5.5	6.0	6.3	6.6	7.1	7.5
7.05	0.0	0.8	1.6	2.2	2.8	3.5	3.9	4.5	4.9	5.4	5.8	6.3	6.6	7.1	7.4	7.9
7.00	0.0	0.8	1.6	2.4	3.0	3.6	4.2	4.7	5.2	5.7	6.2	6.5	7.0	7.4	7.9	8.3

Debido a que en el cuadro 1 no se encuentran valores de  $pH_{\text{Buffer}}$  inferiores a 7.00 ni valores  $pH_{\text{H}_2\text{O}}$  inferiores a 4.5, estos valores se calcularon a través de una extrapolación lineal. Por otra parte los valores de  $pH_{\text{Buffer}}$  disminuyen cada 0.05 y los de  $pH_{\text{H}_2\text{O}}$  disminuyen cada 0.1; los valores intermedios entre estos rangos de pH fueron calculados usando interpolación lineal. Se usó el programa Excel 2010 para determinar la curva de variación de pH y las ecuaciones de regresión con un  $R^2$  mayor a 0.8. Las figuras 1 y 2 ilustran un ejemplo interpolación y extrapolación respectivamente.



**Figura 1.** Interpolación para muestra de suelo #13-989 con  $pH_{\text{H}_2\text{O}}$  de 4.00 y  $pH_{\text{Buffer}}$  de 6.27.



**Figura 2.** Extrapolación para muestra de suelo #13-1002 con  $pH_{\text{H}_2\text{O}}$  de 3.87 y  $pH_{\text{Buffer}}$  de 6.96.

- Método usado por el laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

El método usado en el laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana (LSZ) está basado en la propuesta diseñada por Gauggel, 2003<sup>2</sup> (cuadro 2), en el que utiliza tres variables para determinar la dosis de cal recomendada; textura, pH y la mineralogía del suelo. Para inferir la mineralogía lo hace calculando la CIC de la arcilla usando la ecuación [8].

$$CICar = \frac{(CICE - CIC mo)}{\%Ar} \quad [8]$$

En donde:

CICar: Capacidad de intercambio catiónico de la arcilla.

CICE: Es la capacidad de intercambio catiónico efectiva.

CICmo: Es la capacidad de intercambio catiónico de la materia orgánica.

**Cuadro 2:** Necesidad de encalamiento para cambiar la reacción del suelo (pH) según la textura. Gauggel, 2003<sup>2</sup>.

Cambio de pH deseado en la capa arable	Cal Agrícola (t/ha)					
	Arena	Franco arenoso	Franco o Franco limosos	Franco arcillo limoso	Franco arcilloso	Orgánico
4.0 - 6.5	2.9	5.6	7.8	9.4	11.2	21.3
4.5 - 6.5	2.5	4.7	6.5	7.8	9.4	18.1
5.0 - 6.5	2	3.8	5.1	6.3	7.4	14.1
5.5 - 6.5	1.3	2.9	3.8	4.5	5.2	9.6
6.0 - 6.5	0.7	1.6	2	2.5	2.7	4.9

<sup>2</sup> Gauggel C. 2003. Propuesta para determinar la necesidad de cal de suelos ácidos. Curso de Manejo de suelos y nutrición vegetal. Presentación de clase EAP Zamorano, Honduras.

**Incubación y curvas de encalamiento.** La incubación hizo parte de la fase dos del estudio e implicó mezclar un mismo peso de 20 g de suelo de cada una de las muestras con diferentes cantidades de Hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) las cuales se dejaron por cuatro semanas en el laboratorio en condiciones de humedad, a 25°C aproximadamente, para que la reacción química pudiera darse de forma adecuada (Sims 1996).

Las muestras se dejaron incubando cubiertas de papel aluminio durante 28 días, con un agujero para permitir aireación y se revisó periódicamente la humedad de cada muestra, adicionando 2 ml de agua destilada cuando fue necesario.

El criterio para determinar la dosificación de cal para cada muestra fue la textura, agrupándolas por familias texturales gruesas, medias y finas (cuadro 3).

**Cuadro 3.** Clasificación de la dosis de cal agrícola aplicada en el experimento de curvas de incubación en el laboratorio de suelos de la EAP Zamorano (LSZ), Honduras.

Grupo Textural	Dosis de Cal (t/ha)		
Gruesas (FL, A, AF, F, FA)	0	2	4
Medias (FAr, FArL, FArA)	0	3	6
Finas (Ar, ArA, ArL)	0	5	10

FL. Franco limoso. A. Arenoso. AF. Arena Franca. F. Franco. FA. Franco Arenoso. FAr. Franco Arcilloso. FArL. Franco Arcillo Limoso. FArA. Franco Arcillo Arenoso. Ar. Arcilloso. ArA. Arcillo Arenoso. ArL. Arcillo Limoso.

Se realizaron tres repeticiones para cada una de las dosis de cada una de las muestras, obteniendo un total de 9 incubaciones por muestra, es decir 549 incubaciones en total. Finalmente con base en la respuesta de los cambios de pH se obtuvo la curva de efectividad de encalamiento para cada grupo de suelo y se obtuvo también la ecuación lineal para cada una de estas curvas, la cual se aplicó respectivamente para cada una de las muestras contenida en cada rango con las cuales se realizó el cálculo de la cal necesaria para llevar el pH de cada muestra a 6.5.

**Análisis Estadístico.** Se realizó una separación de medias por el método Duncan para comparar los métodos de recomendación de cal con los resultados obtenidos mediante la incubación. También se realizó un análisis de correlación entre las variables pH, % de arcilla, con la cantidad de cal requerida según incubación y los tres métodos de recomendación de cal: Adams & Evans, Al intercambiable y el método de laboratorio propuesto por Gauggel 2003, con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$  y un valor de  $r \geq 0.600$ . Esto fue determinado por medio del software de análisis estadístico, SAS<sup>®</sup> statistical analysis system.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comparar las dosis medias de cal recomendadas a través cada uno de los métodos, se observó que el método más acertado en cuanto a recomendación de cal (t/ha) fue el método usado en el laboratorio de suelos de Zamorano (LSZ) propuesto por Gauggel 2003 (cuadro 4).

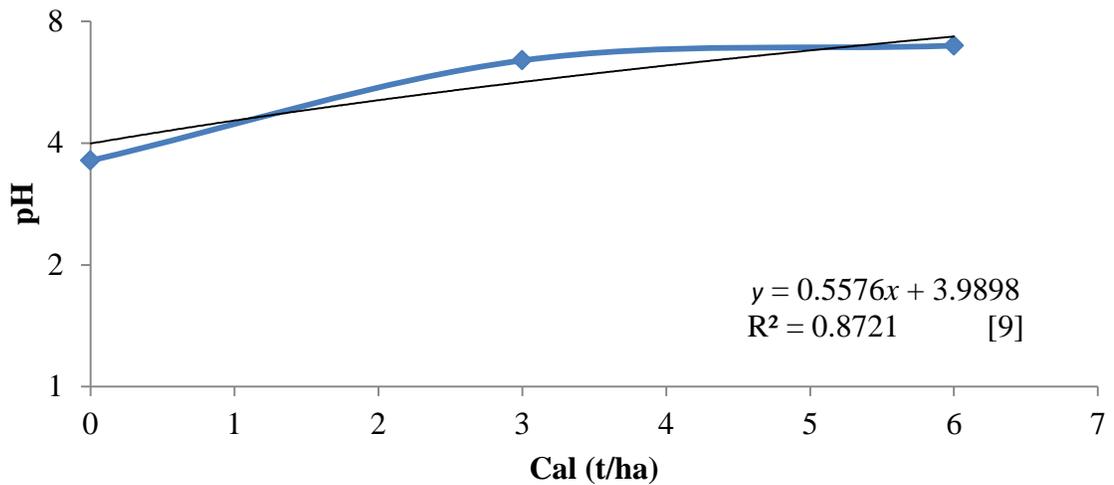
**Cuadro 4.** Comparación de cuatro métodos para corregir acidez con dosis media de Cal (CaCO<sub>3</sub> equivalente), en suelos ácidos de la región central de Honduras.

Método de recomendación de Cal.	Total de muestras	Cal (t/ha)		
		Arcilla en el suelo (%)		
		<20	20 -28	>28
Adams & Evans	6.94 a <sup>‡</sup>	5.00 a <sup>‡</sup>	6.94 a <sup>‡</sup>	6.94 a <sup>‡</sup>
LSZ	3.98 b	4.16 a	3.97 b	3.97 a
Incubación	3.05 b	2.42 b	3.04 b	3.04 a
Aluminio Intercambiable	1.01 c	0.67 c	1.00 c	1.00 b
CV	97	62	88	71

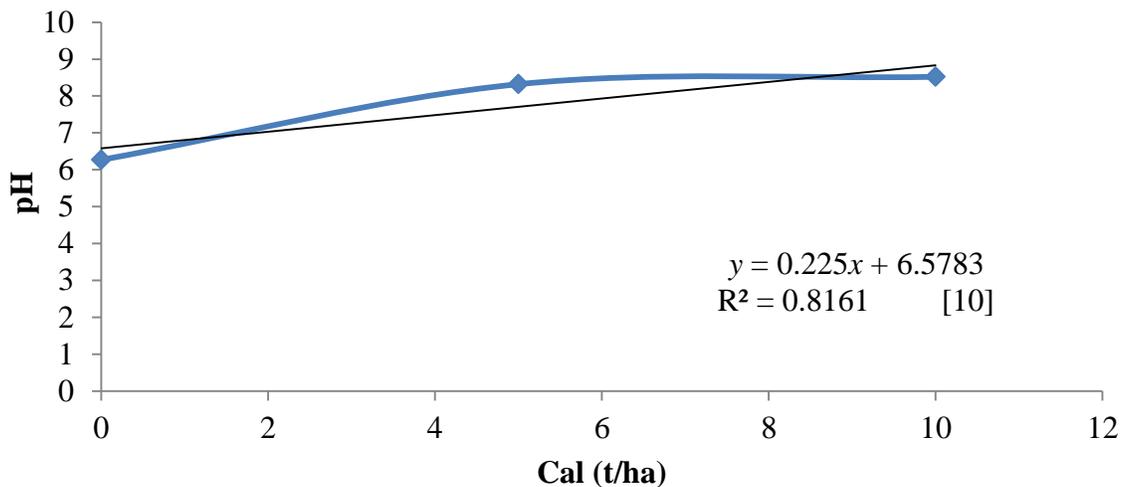
<sup>‡</sup>Media aritmética. †Separación de medias entre tratamientos valores con una misma letra en la misma columna no difieren estadísticamente ( $P \geq 0.05$ ) según prueba Duncan. LSZ. Laboratorio de suelos de Zamorano. CV. Coeficiente de variación.

Para la totalidad de las muestras el método del laboratorio no presentó diferencia significativa a lo ocurrido en las incubaciones realizadas en el laboratorio. Por otra parte para las muestras con un contenido de arcilla menor al 20%, no existió diferencia entre el método postulado por Adams & Evans y el método usado en el laboratorio, sin embargo ninguno de estos dos métodos se ajustó a lo ocurrido en las incubaciones. Para las muestras con un contenido de arcilla entre 20 y 28 % nuevamente el método usado en el laboratorio fue el método más acertado. Finalmente para muestras con un contenido de arcilla mayor al 28% no existió diferencia entre el método postulado por Adams & Evans y el método usado en el laboratorio, ambos métodos se ajustaron a lo ocurrido en las incubaciones.

**Curvas de encalamiento.** Se clasificaron cada uno de los grupos texturales con su respectiva dosificación de cal en rangos de pH <4.00, 4.00 a 4.49, 4.5 a 4.99, 5.00 a 5.49, 5.5 a 5.99 y de 6.00 a 6.49, y se obtuvo cada una de las curvas de encalamiento con su respectiva fórmula lineal y su  $R^2$  como en los ejemplo que se muestra en la figura 3 y 4.



**Figura 3.** Curva de encalamiento para suelo ácido con pH <4 y contenido de arcilla entre 20 y 28%, de la región central de Honduras.



**Figura 4.** Curva de encalamiento para suelo ácido con pH entre 6.00 - 6.49 y contenido de arcilla > 28%, de la región central de Honduras.

Se utilizaron las ecuaciones obtenidas en donde la variable “y” es el pH y la variable “x” toneladas de cal por hectárea, para obtener la cantidad de cal necesaria para llevar el pH a 6.50. Las ecuaciones de cada una de las curvas obtenidas para los suelos este estudio, se muestran en el cuadro 5.

**Cuadro 5.** Ecuaciones para determinar la cal necesaria en suelos con diferente pH y porcentaje de arcilla, de la región central de Honduras.

Suelo			
% Ar	pH	Ecuación	R <sup>2</sup>
< 20	< 4.00	$y = 0.7339x + 4.1619$	0.906
	4.00 - 4.49	$y = 0.665x + 4.8371$	0.842
	4.50 - 4.99	$y = 0.6079x + 5.0978$	0.872
	5.00 - 5.49	$y = 0.5764x + 5.6831$	0.815
	5.50 - 5.99	$y = 0.585x + 6.1154$	0.814
	6.00 - 6.49	$y = 0.3929x + 6.5769$	0.804
20 - 28	< 4.00	$y = 0.5576x + 3.9898$	0.872
	4.00 - 4.49	$y = 0.4999x + 4.8389$	0.827
	4.50 - 4.99	$y = 0.4376x + 5.0839$	0.893
	5.00 - 5.49	$y = 0.4082x + 5.499$	0.805
	5.50 - 5.99	$y = 0.3944x + 6.1794$	0.817
	6.00 - 6.49	$y = 0.3162x + 6.3126$	0.825
> 28	5.00 - 5.49	$y = 0.2433x + 5.8556$	0.732
	5.50 - 5.99	$y = 0.242x + 5.865$	0.821
	6.00 - 6.49	$y = 0.225x + 6.5783$	0.816

$y$ =pH del suelo,  $x$ =cal en toneladas por hectárea.

Utilizando las ecuaciones del cuadro anterior y haciendo la variable “ $y$ ” igual a 6.50 se puede despejar “ $x$ ” para determinar la cantidad de cal necesaria para llevar el suelo al pH ideal.

**Propuesta de corrección.** Para los suelos con contenido de arcilla <20% los resultados obtenidos en las incubaciones no fueron similares a lo recomendado por Gauggel en 2013. Basado en lo obtenido en las curvas de enclamiento de las incubaciones a continuación se presenta una propuesta para corregir la dosis de cal adecuada para neutralizar la acidez de suelos franco arenosos (cuadro 6).

**Cuadro 6.** Ajuste recomendado para el método postulado por Gauggel 2003 para los suelos de textura franco arenosa.

Cambio en el pH deseado	Cal Agrícola (t/ha) para suelos franco Arenosos
4.0-6.5	2.5
4.5-6.5	2.3
5.0-6.5	1.4
5.5-6.5	0.6
6.0-6.5	0.1

El pH se deriva de la presencia de aluminio, en relación inversa ya que a mayor cantidad de aluminio en el suelo menor va a ser el pH. También existe una alta correlación entre la acidez activa (pH) y la acidez potencial (pH KCl) (cuadro 7).

**Cuadro 7.** Correlación entre pH con:  $pH_{KCl}$ , CICE, CICE estimada, Al, acidez estimada y saturación de aluminio (SAI), en suelos ácidos de la región central de Honduras.

Variable	r	P
$pH_{KCl}$	0.9509	<.0001
CICE	0.5597	<.0001
CICE Estimada	0.5859	<.0001
Al	-0.7573	<.0001
Acidez Estimada	-0.9153	<.0001
SAI <sup>u</sup>	-0.7637	<.0001

<sup>u</sup>Saturación de aluminio. r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística.

La correlación entre  $pH_{KCl}$  y Al es alta e inversa en los suelos estudiados (Fassbender y Bornemisza 1987). Se observa que existe también una alta correlación entre las variables aluminio, saturación de aluminio y el valor de acidez estimada asignado y determinado por el laboratorio con la acidez potencial del suelo (cuadro 8).

**Cuadro 8.** Correlación entre  $pH_{KCl}$  con: CICE, CICE estimada, Al, acidez estimada y saturación de aluminio (SAI), en suelos ácidos de la región central de Honduras.

Variable	r	P
CICE	0.5126	<.0001
CICE Estimada	0.5463	<.0001
Al	-0.7758	<.0001
Acidez Estimada	-0.8821	<.0001
SAI <sup>u</sup>	-0.7878	<.0001

<sup>u</sup>Saturación de aluminio. r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística.

El laboratorio de suelos de Zamorano (LSZ) utiliza un estimado preestablecido para calcular el aluminio, valor que se denomina Acidez Estimada; al correlacionar este valor con el aluminio medido en las muestras y con la saturación de aluminio mostró una correlación alta, lo que denota un alto grado de acierto en la estimación empleada en el laboratorio de suelos de Zamorano (LSZ) (cuadro 9).

**Cuadro 9.** Correlación entre Al con: acidez estimada y saturación de aluminio (SAI), en suelos ácidos de la región central de Honduras.

<b>Variable</b>	<b>r</b>	<b>P</b>
Acidez Estimada	0.7723	<.0001
SAI <sup>h</sup>	0.9244	<.0001

<sup>h</sup>Saturación de aluminio. r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística.

Hay alta correlación alta entre la acidez estimada y la saturación de Al, lo que denota el alto grado de acierto en la estimación realizada por LSZ (Oliva Escobar 2009) (cuadro 10).

**Cuadro 10.** Correlación entre acidez estimada con: Saturación de aluminio (SAI), CICE y CICE estimada, en suelos ácidos de la región central de Honduras.

<b>Variable</b>	<b>r</b>	<b>P</b>
SAI <sup>h</sup>	0.8278	<.0001
CICE	-0.4898	<.0001
CICE Estimada	-0.5051	<.0001

<sup>h</sup>Saturación de aluminio. r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística.

La capacidad de intercambio catiónico efectiva tiene una alta correlación con el porcentaje de arcilla presente en el suelo (Fassbender y Bornemisza 1987). Estas variables tienen relación directa, es decir, que a mayor porcentaje de arcilla los valores de CIC son altos y de la misma forma cantidades bajas de arcilla presentarán baja CIC (cuadro 11).

**Cuadro 11.** Correlación entre porcentaje de arcilla con: CICE y CICE estimada, en suelos ácidos de la región central de Honduras.

<b>Variable</b>	<b>r</b>	<b>P</b>
CICE	0.7096	<.0001
CICE Estimada	0.7165	<.0001

r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística.

El efecto neutralizante obtenido de la aplicación de cal en las incubaciones es alta e inversamente dependiente del pH y  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  del suelo. El aluminio, la saturación de este elemento (SAI) y la acidez estimada (Oliva Escobar 2009) presentes en la muestra también mostraron que influyen en el efecto del encalado (cuadro 12).

**Cuadro 12.** Correlación entre la incubación con: Aluminio (Al), saturación de aluminio (SAI), acidez estimada, pH y  $pH_{KCl}$ , en suelos ácidos de la región central de Honduras.

<b>Variable</b>	<b>r</b>	<b>P</b>
Al <sup>£</sup>	0.6952	<.0001
SAI <sup>¤</sup>	0.6750	<.0001
Acidez Estimada	0.8231	<.0001
pH	-0.8819	<.0001
$pH_{KCl}$	-0.8673	<.0001

<sup>£</sup>Aluminio. <sup>¤</sup>Saturación de aluminio. r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística.

El método de Adams & Evans se ve fuertemente influenciado por el aluminio, saturación de aluminio y la acidez estimada de la muestra y por el pH y  $pH_{KCL}$  de la misma (cuadro 13).

**Cuadro 13.** Correlación entre el método Adams & Evans con: Aluminio (Al), saturación de aluminio (SAI), acidez estimada, pH y  $pH_{KCl}$ , en suelos ácidos de la región central de Honduras.

<b>Variable</b>	<b>r</b>	<b>P</b>
Al <sup>£</sup>	0.8922	<.0001
SAI <sup>¤</sup>	0.7729	<.0001
Acidez Estimada	0.7546	<.0001
pH	-0.8436	<.0001
$pH_{KCl}$	-0.8113	<.0001

<sup>£</sup>Aluminio. <sup>¤</sup>Saturación de aluminio. r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística.

El método de aluminio intercambiable presentó una correlación perfecta con el aluminio presente en la muestra, debido a que esta es la variable principal que utiliza este método para calcular su recomendación de cal. Las otras variables relacionadas con la acidez del suelo (SAI, acidez estimada, pH y  $pH_{KCL}$ ) también mostraron alta relación con la recomendación dada por este método (cuadro 14).

**Cuadro 14.** Correlación entre el método de aluminio intercambiable con: Aluminio (Al), saturación de aluminio (SAI), acidez estimada, pH y pH<sub>KCl</sub>, en suelos ácidos de la región central de Honduras.

<b>Variable</b>	<b>r</b>	<b>P</b>
Al <sup>£</sup>	1.0000	<.0001
SAI <sup>¤</sup>	0.9251	<.0001
Acidez Estimada	0.7722	<.0001
pH	-0.7569	<.0001
pH <sub>KCl</sub>	-0.7717	<.0001

<sup>£</sup>Aluminio. <sup>¤</sup>Saturación de aluminio. r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística.

La correlación que presentaron las recomendaciones de cal dadas por el método usado en el laboratorio de suelos de Zamorano (LSZ) con el pH y pH<sub>KCl</sub> es alta e inversa lo que indica que esta variable presenta una alta influencia en la recomendación dada por este método. Otras variables relacionadas a la presencia de aluminio (SAI y acidez estimada) también presentaron influencia en las recomendaciones dadas por este método (cuadro 15).

**Cuadro 15.** Correlación entre el método LSZ con: Aluminio (Al), saturación de aluminio (SAI), acidez estimada, pH y pH<sub>KCl</sub>, en suelos ácidos de la región central de Honduras.

<b>Variable</b>	<b>r</b>	<b>P</b>
Al <sup>£</sup>	0.5858	<.0001
SAI <sup>¤</sup>	0.6111	<.0001
Acidez Estimada	0.7546	<.0001
pH	-0.8906	<.0001
pH <sub>KCl</sub>	-0.8398	<.0001

<sup>£</sup>Aluminio. <sup>¤</sup>Saturación de aluminio. r Coeficiente de correlación. P probabilidad estadística.

#### 4. CONCLUSIONES

- Existe diferencia significativa entre las recomendaciones de requerimiento de cal dadas por cada método analizado y ésta varía dependiendo del porcentaje de arcilla del suelo.
- El método químico que más se ajusta a los cambios de pH en las incubaciones es el método usado por LSZ.
- Existe relación inversa entre el pH y  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  del suelo con: aluminio, saturación de Al, acidez estimada y la acidez del suelo.
- Existe relación directa en la acidez del suelo y la CIC.
- Existe relación directa entre la CIC y porcentaje de arcilla en el suelo.
- No hay relación entre la acidez del suelo con porcentaje de arcilla, ni materia orgánica en los suelos estudiados.
- El método de estimación de acidez que usa el LSZ tiene validez y se ajusta a la respuesta de la incubación.
- Las variables Al,  $\text{pH}_{\text{agua}}$  y  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  son las que presentan mayor correlación con los métodos evaluados.
- Ninguno de los métodos se ajusta para suelos ácidos con porcentajes de arcilla menores al 20%.
- Las curvas de encalamiento varían dependiendo de la textura y del pH del suelo.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Seguir utilizando el método del laboratorio (LSZ) para hacer las recomendaciones de requerimientos de cal en suelos ácidos de la región central de Honduras.
- Comprobar los resultados realizando el estudio en campo.

## 6. LITERATURA CITADA

- Arévalo, G. E., Gauggel, C. A. 2008. Manual de prácticas. Curso de manejo de suelos y nutrición vegetal. Zamorano, Honduras. 3ra. Edición. p 60.
- Arévalo, G.E., Gauggel, C.A. 2014. Manual de laboratorio de manejo de ciencia de suelos y aguas. EAP el Zamorano, Honduras. p 79.
- Baligar, V.C and N.K.Fageria. 1997. Nutrient use efficiency in acid soils. Nutrient management and plant use efficiency. Brasil. Dekker. p 75.
- Bertsch, P.M y P.R Bloom. 1996. Lime requirement in: Methods of Soil Analysis. D.L. Sparks, Editor; Part 3. Chemical Methods. Chapter 17. Madison, Wisconsin. SSSA. Book Series No. 5. 491 – 513
- Espinoza, J. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Primera Edición. International Plant Nutrition Institute. (en línea). Consultado el 4 septiembre 2014. Disponible en <http://www.ucagro.ucr.ac.cr/acidez.pdf>
- FAO. 2014. “Suelos Ácidos”. Manejo de suelos problemáticos (en línea). Consultado el 9 mayo 2014. Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/manejo-del-suelo/manejo-de-suelosproblematicos/suelos-acidos/es/>
- Fassbender, H.W. y E. Bornemisza. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2da edición. San Jose, Costa Rica. 176 p.
- Luna, C. 1971. Acidez y encalamiento en el trópico. Capítulo 6. Revisión de las investigaciones sobre suelos ácidos y encalamiento realizado en Colombia. Suelos Ecuatoriales. P 102.
- Molina, E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. San Jose, Costa Rica. ACCS. 45 p.
- Oliva Escobar, D.P. 2009. Determinación de la acidez intercambiable ( $Al^{3+}+H^{+}$ ) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 12 p.

Perdomo, R., H.E. Hampton. 1970. Ciencia y tecnología del suelo. Guatemala. USC. Primera edición. p 113-115.

Sims, J.T. 1996. Lime requirement in: Methods of Soil Analysis. D.L. Sparks, Editor; Part 3. Chemical Methods. Chapter 17. Madison, Wisconsin. SSSA. Book Series No. 5. 491 – 513

Von Uexküll, H.R., and E. Mutert. 1995. Global extent, development and economic impact of acid soils. Plant and Soil p. 2 – 3.

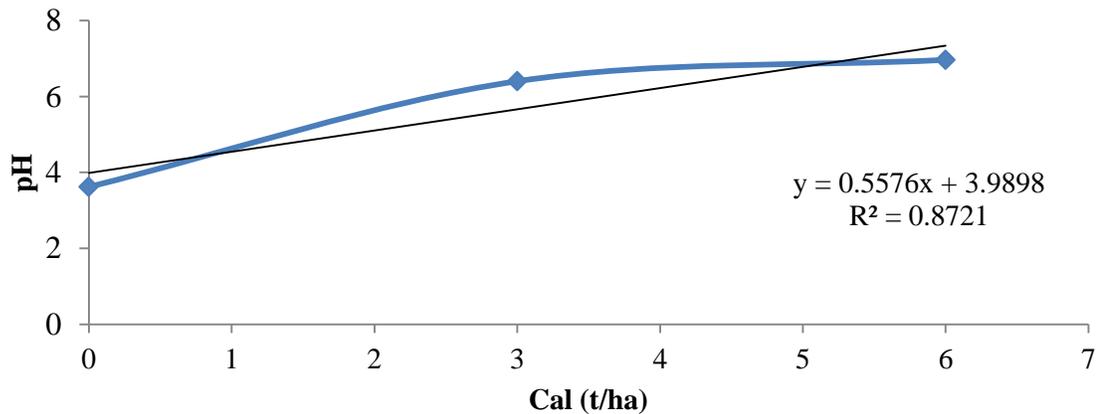
## 7. ANEXOS

**Anexo 1.** Recomendación de encalamiento determinada a través de cuatro métodos.

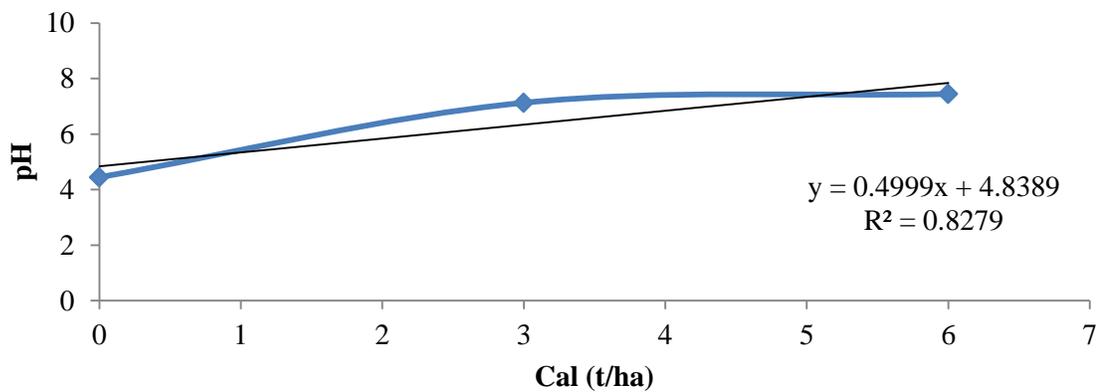
#Muestra	pH	%Arcilla	Métodos			
			Incubación	A&E	Aluminio	LSZ
			Cal Agrícola (t/ha)			
1045	5.56	8	0.89	1.17	0.07	3.57
1039	5.42	10	1.92	1.29	0.07	3.13
1059	6.25	10	0.00	0.00	0.02	1.35
1006	4.50	12	3.12	4.71	0.40	6.80
1056	5.98	16	0.89	0.28	0.00	2.81
1003	4.23	16	3.43	10.74	2.05	7.38
1021	4.65	16	3.12	8.08	0.86	4.14
1058	6.19	16	0.00	0.00	-0.03	1.67
1043	5.64	18	0.89	1.52	-0.00	2.75
1028	5.04	18	1.92	3.59	0.17	3.70
1018	4.72	18	3.12	3.86	0.25	5.55
1004	4.11	18	3.43	11.65	2.17	5.62
1010	4.72	18	3.12	10.62	0.84	3.99
1002	3.87	18	4.73	12.57	2.62	5.89
1036	5.78	20	0.89	0.70	-0.00	3.55
1034	5.15	20	1.92	4.41	0.28	6.66
1046	5.70	20	0.89	0.80	0.07	2.32
1047	5.49	20	1.92	2.10	0.46	3.84
1053	5.90	20	0.89	0.62	-0.01	1.74
1022	4.75	20	3.12	4.01	0.20	5.95
988	4.20	20	3.43	12.98	1.80	6.44
1016	4.53	20	3.12	15.43	1.41	5.71
995	3.47	20	4.73	41.09	5.44	7.12
1009	4.24	20	3.43	11.32	1.35	5.06
1013	4.52	20	3.12	4.90	0.36	4.44
1041	5.65	22	0.89	1.58	-0.01	2.72
1042	5.78	22	1.11	1.53	0.04	2.09
1007	4.49	22	4.50	5.40	0.37	6.83
996	3.31	22	6.09	29.89	4.32	8.08

#Muestra	pH	%Arcilla	Métodos			
			Incubación	A&E	Aluminio	LSZ
			Cal Agrícola (t/ha)			
990	4.09	22	4.50	18.87	3.06	5.66
1005	4.36	22	4.50	7.71	1.06	5.03
1008	4.40	22	4.50	6.15	1.06	4.70
993	3.71	22	6.09	20.78	3.55	6.25
1000	4.47	22	4.50	13.73	6.16	4.55
1052	6.07	24	0.80	0.00	0.01	2.32
1049	5.97	24	0.89	0.34	0.01	1.70
1014	5.19	24	1.92	4.20	0.13	2.93
994	3.85	24	4.73	15.44	2.07	6.23
989	4.20	24	4.50	19.74	4.42	5.60
991	3.65	24	6.09	35.02	5.56	6.38
1011	4.48	24	4.50	15.78	3.12	4.52
998	4.43	26	3.43	10.32	3.05	4.64
997	4.49	26	4.50	6.20	0.66	5.83
1025	5.15	26	3.32	8.03	1.58	3.17
1027	4.90	26	4.36	9.27	2.01	4.05
1029	5.23	28	3.32	5.98	0.08	5.97
1054	6.33	28	0.80	0.00	-0.02	0.92
1026	5.25	28	3.32	5.96	0.10	3.17
1017	5.25	28	1.92	4.41	0.12	2.80
1023	5.05	28	3.32	4.87	0.14	4.52
1019	6.15	28	0.80	0.00	0.01	0.78
1015	4.98	28	4.36	9.96	0.50	3.40
1035	5.10	30	3.32	5.57	0.16	3.29
1055	5.87	32	1.11	0.77	0.01	3.40
1057	6.14	34	0.80	0.00	-0.03	1.87
1050	6.18	34	0.80	0.00	-0.02	1.22
1031	4.97	34	4.36	4.93	0.01	3.88
1060	6.12	36	0.80	0.00	0.07	1.98
1032	5.94	36	3.54	0.91	0.45	1.90
1061	6.06	38	0.80	0.00	0.07	2.38
1038	5.43	38	3.58	3.13	0.02	5.28
1040	6.06	38	0.80	0.00	0.08	1.11
1024	5.10	40	3.32	6.03	0.50	3.14
1044	5.93	46	3.54	0.62	-0.00	1.65
1051	6.27	56	0.00	0.00	-0.04	1.24

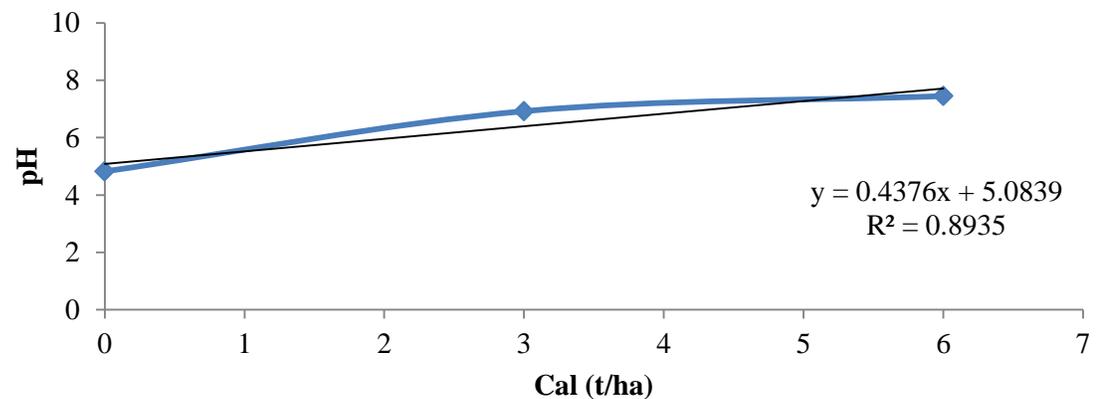
Anexo 2. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre 20 y 28 % y pH >4



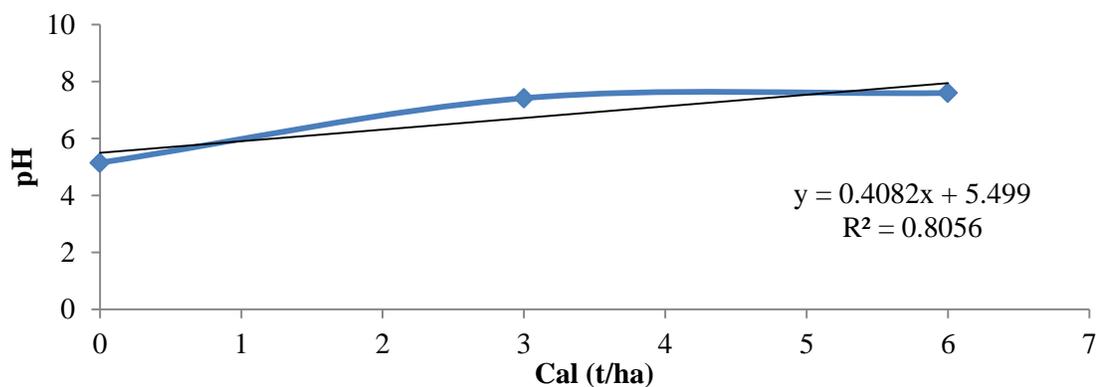
Anexo 3. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre 20 y 28 % y pH 4.00 a 4.49



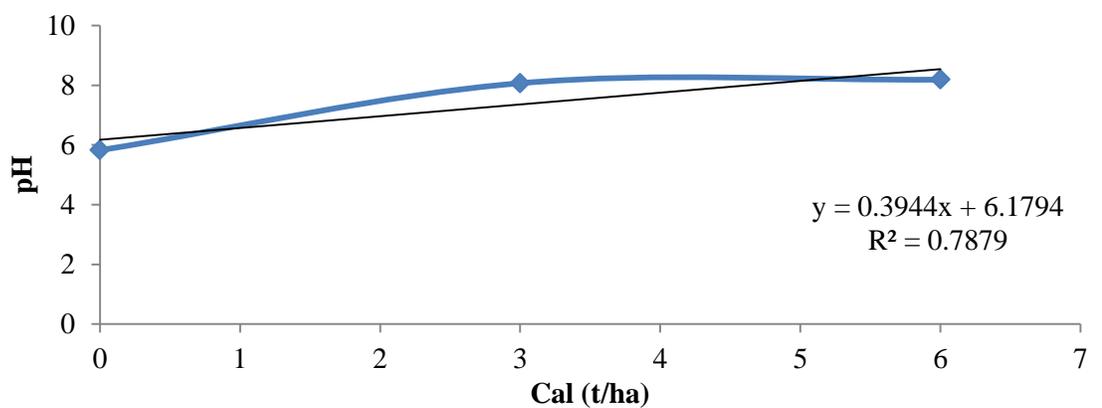
Anexo 4. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre 20 y 28 % y pH 4.50 a 4.99



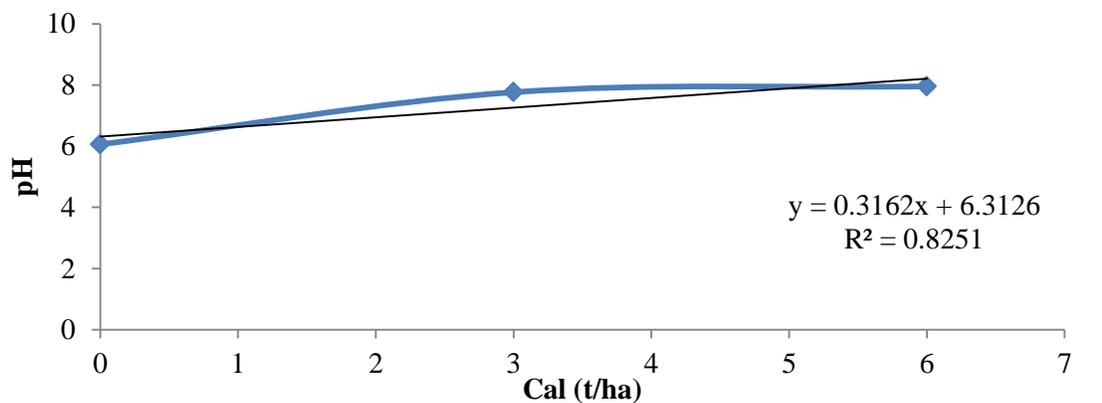
Anexo 5. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre 20 y 28 % y pH 5.00 a 5.49



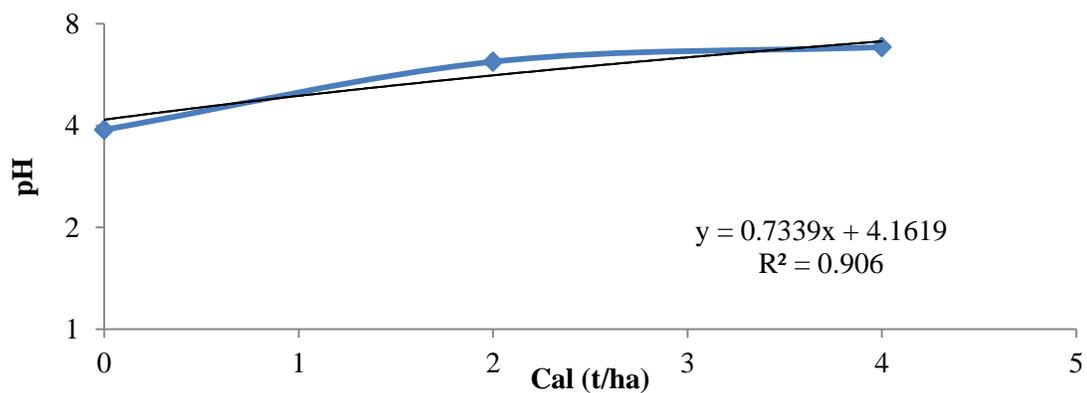
Anexo 6. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre 20 y 28 % y pH 5.50 a 5.99



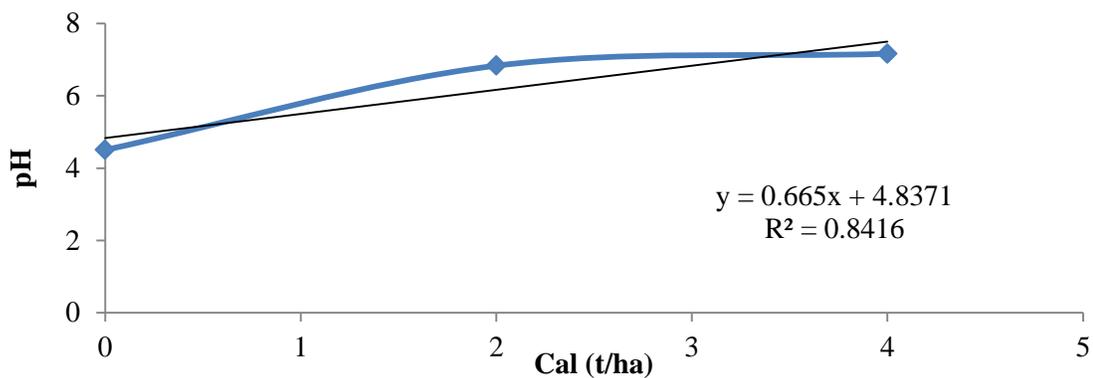
Anexo 7. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla entre 20 y 28 % y pH 6.00 a 6.49



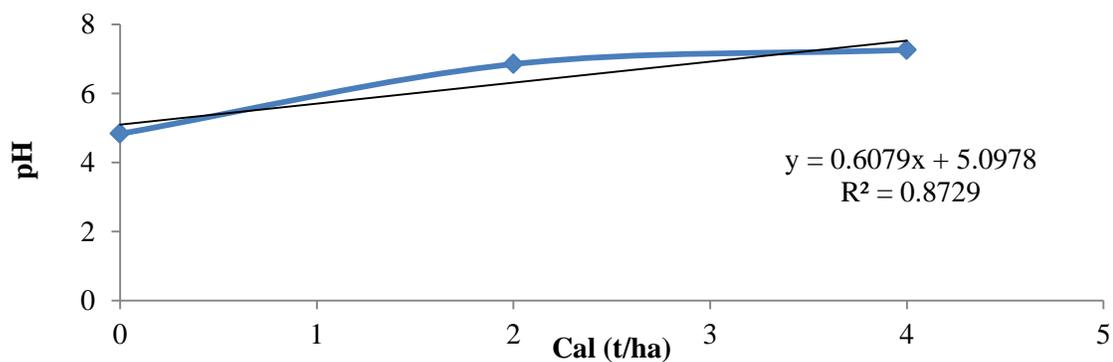
Anexo 8. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla <20% y pH > 4.00



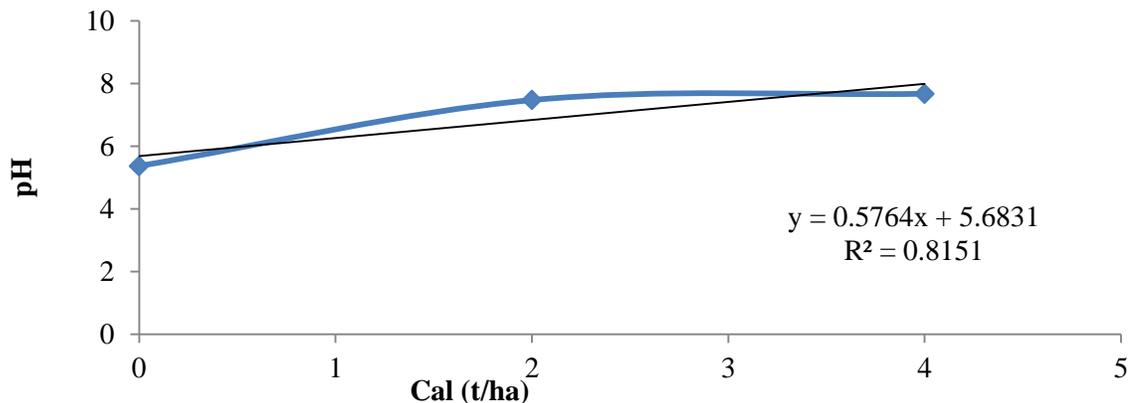
Anexo 9. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla <20% y pH de 4.00 a 4.49.



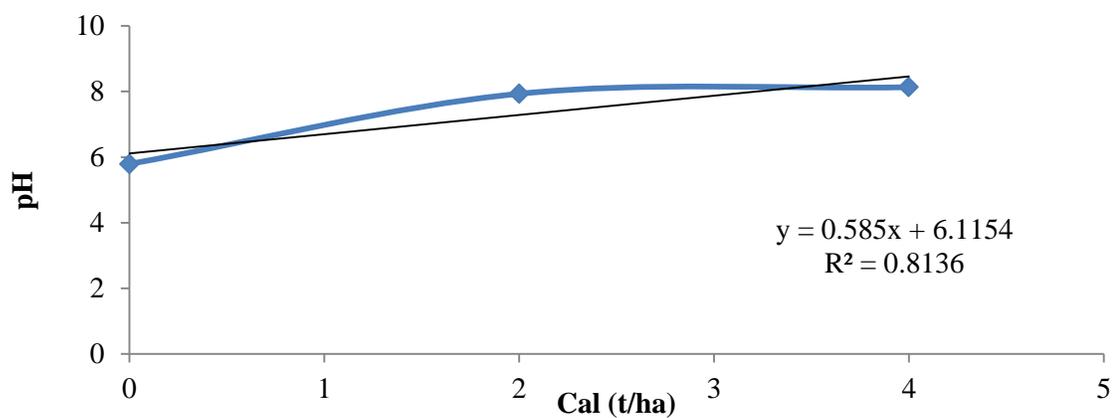
Anexo 10. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla <20% y pH de 4.50 a 4.99.



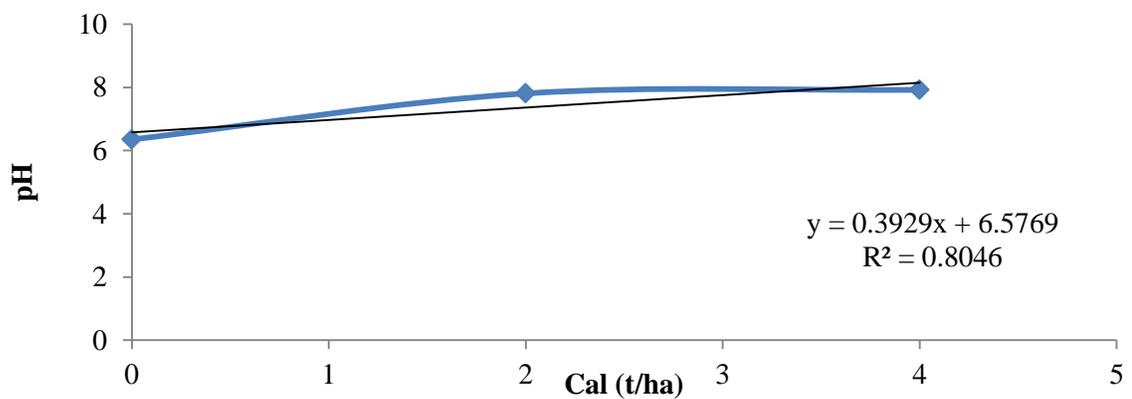
Anexo 11. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla <20% y pH de 5.00 a 5.49.



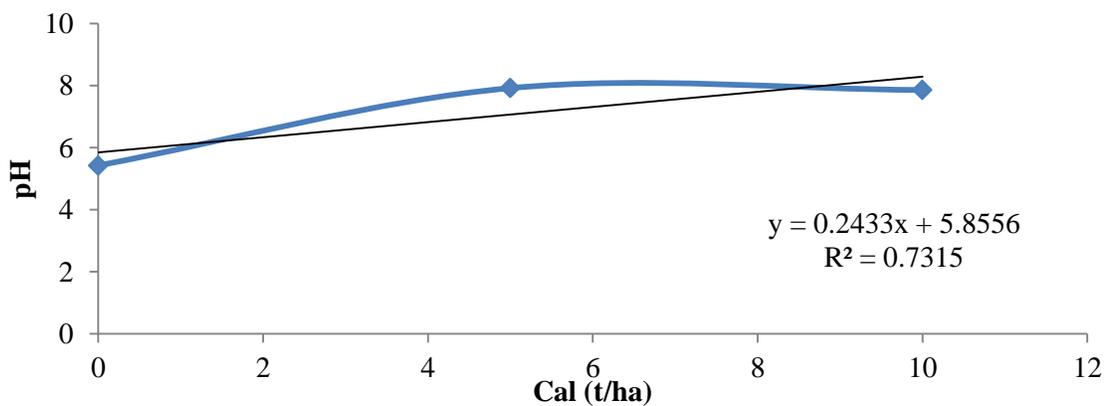
Anexo 12. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla <20% y pH de 5.50 a 5.99.



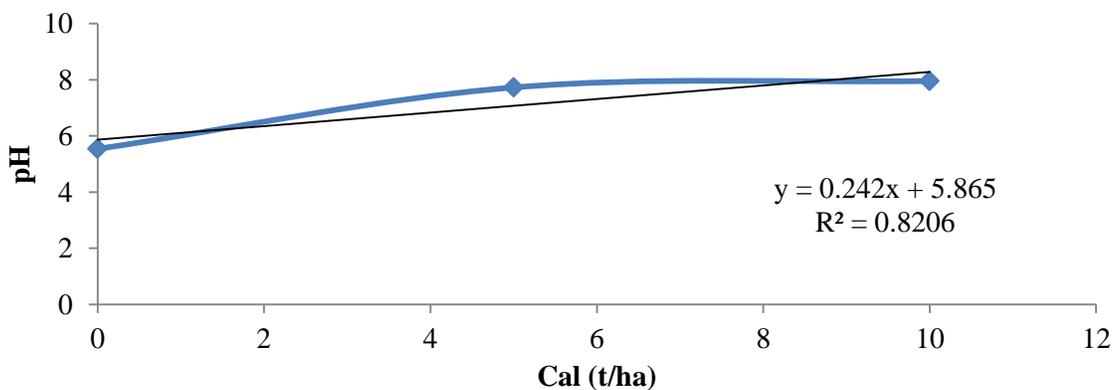
Anexo 13. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla <20% y pH de 6.00 a 6.49.



Anexo 14. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla >20% y pH de 5.00 a 5.49.



Anexo 15. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla >20% y pH de 5.50 a 5.99.



Anexo 16. Curva de encalamiento para suelo con porcentaje de arcilla >20% y pH de 6.00 a 6.49.

