

Determinación de la necesidad de cal en los suelos agrícolas de Zamorano, Honduras

Rodrigo Josué Pérez Castellanos

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Determinación de la necesidad de cal en los suelos agrícolas de Zamorano, Honduras

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

Presentado por

Rodrigo Josué Pérez Castellanos

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2016

Determinación de la necesidad de cal en los suelos agrícolas de Zamorano, Honduras

Rodrigo Josué Pérez Castellanos

Resumen. Los suelos ácidos asociados a ecosistemas de trópico, ocupan cada vez mayor extensión debido a la intensificación de la agricultura y el uso de fertilizantes acidificantes. Es necesario subir el pH con encalado para asegurar la disponibilidad de nutrientes a las plantas y evitar intoxicaciones por elementos como aluminio y/o manganeso. El objetivo de este estudio fue determinar la necesidad de cal en suelos agrícolas ácidos de Zamorano, establecer la fuente de acidez de los suelos y recomendar dosis de cal de acuerdo a las características de los suelos. Se seleccionaron 25 lotes agrícolas con pH ácidos según datos históricos. Se determinó: pH en agua 1:1, acidez potencial medida con KCl, textura, capacidad de intercambio catiónico y aluminio intercambiable. Se realizaron curvas de encalamiento con incubación del suelo con dosis incrementales de cal de acuerdo a la textura. Se determinaron ecuaciones para predecir la dosis de cal requerida para incrementar el pH. Los resultados se analizaron con el programa SAS 9.3[®], con separación de medias por Duncan ($P \leq 0.05$), los cuales demuestran que el aluminio es la principal fuente de acidez en estos suelos. La CIC sugiere arcillas tipo haloisitas hidratadas. El bajo contenido de magnesio en los suelos hace necesario el uso de cal dolomítica en dosis que varían dependiendo del porcentaje de arcilla y del pH inicial del suelo para llevarlo a 6.5, con dosis desde 1 to 4.8 t/ha.

Palabras clave: Acidez, capacidad de intercambio catiónico (CIC), encalado.

Abstract: Acid soils associated with tropical ecosystems, occupy more extension due to the intensification of agriculture and the use of acidifying fertilizers. It is necessary to raise the pH with lime to ensure the availability of nutrients to plants and avoid items such as aluminum or manganese poisoning. The objective of this study was to determine the need of lime on acid agricultural soils of Zamorano, establish the source of acidity of soils and recommend doses of lime according to the characteristics of the soils. It was selected 25 agricultural lots with acid pH according to historical data. It was determined: pH in water 1:1, potential acidity measure with KCl, texture, cation-exchangeable aluminum. Curves of liming with incubation of soil with incremental doses of lime according to the texture were determined. Equations were determined to predict the dose of lime required to increase the pH. The results were analyzed with SAS 9.3 program[®], with means separation by Duncan ($P \leq 0.05$), which shows that aluminum is the main source of acidity in these soils. The CIC suggests clay hydrated haloisites type. The low content of magnesium in soils necessitates the use of dolomitic lime in doses that vary depending on the percentage of clay and the initial pH of soil to increase it up to 6.5, with doses from 1 to 4.8 t/ha.

Key words: Acidity, cation exchange capacity (CEC), liming.

CONTENIDO

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| Portadilla..... | i |
| Página de firmas | ii |
| Resumen | iv |
| Contenido | v |
| Índice de Cuadros y Figuras | vi |
| | |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| | |
| 2. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 4 |
| | |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 8 |
| | |
| 4. CONCLUSIONES | 25 |
| | |
| 5. RECOMENDACIONES | 26 |
| | |
| 6. LITERATURA CITADA..... | 27 |

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

| Cuadros | Página |
|--|--------|
| 1. Clasificación de los niveles de acidez del suelo. | 6 |
| 2. Necesidad de encalamiento para cambiar la reacción (pH) del suelo según textura. | 6 |
| 3. Clasificación de la dosis de cal agrícola aplicada en el experimento de curvas de incubación en el laboratorio (LSZ). | 7 |
| 4. Niveles de acidez de los suelos agrícolas utilizados para este estudio, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. | 9 |
| 5. Valores de reacción del suelo (pH) de los suelos agrícolas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. | 12 |
| 6. Valores de la CIC de la arcilla, tipo de textura y porcentaje de arcilla de cada uno de los lotes. | 15 |
| 7. Recomendación de cantidad de cal a aplicar según pH inicial y porcentaje de arcilla para subir el pH a 6.5. | 24 |

| Figuras | Página |
|---|--------|
| 1. Nivel de acidez de los suelos agrícolas, datos históricos (2000 a 2015) de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. | 8 |
| 2. Clasificación de los niveles de acidez de los suelos agrícolas utilizados para este estudio, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. | 10 |
| 3. Correlación entre pH Inicial con Δ pH inicial-pH KCl. | 17 |
| 4. Correlación entre pH Inicial con Aluminio Intercambiable. | 17 |
| 5. Correlación pH KCl con porcentaje de Aluminio Intercambiable. | 18 |
| 6. Correlación Δ pH Inicial- pH KCl con Porcentaje de Aluminio Intercambiable. | 18 |
| 7. Correlación pH KCl con Δ pH Inicial-pH KCl. | 19 |
| 8. Correlación Capacidad de Intercambio Catiónico con pH KCl. | 19 |
| 9. Correlación Capacidad de Intercambio Catiónico con Porcentaje de Arcilla. | 20 |
| 10. Correlación Capacidad de Intercambio Catiónico con Aluminio Intercambiable. | 20 |
| 11. Correlación Acidez Total con pH KCl. | 21 |
| 12. Correlación Calcio con Aluminio Intercambiable. | 21 |

| | |
|--|----|
| 13. Suelos con <20% Arcilla con 2 y 4 t/ha de cal..... | 23 |
| 14. Suelos con <20% Arcilla con 3 y 6 t/ha de cal..... | 23 |
| 15. Suelos con 20-28% Arcilla con 3 y 6 t/ha de cal..... | 23 |
| 16. Suelos con >28% Arcilla con 5 y 10 t/ha de cal..... | 23 |

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural que dependiendo de la región geográfica de procedencia y su uso presenta características diferentes. El pH es el principal indicador de las condiciones químicas del suelo. Los suelos presentan una alta variación de pH debido al medio y condición donde se desarrollan, es así como suelos desarrollados en regiones con altas precipitaciones se lavan y pierden nutrientes generando pH altamente ácidos; sin embargo en regiones de menores cantidades de precipitación los suelos son ricos en nutrientes, que se refleja en pH que va desde neutro hasta alcalino (Ibáñez 2007).

La nutrición vegetal es el proceso por el cual las plantas absorben los nutrientes del suelo, que al ser sustituidos por Hidrógeno y Aluminio (acidez intercambiable), provocan que el pH disminuya, y exista una baja disponibilidad de nutrientes. El pH ideal para la absorción de nutrientes se clasifica como ligeramente ácido (6 - 6.5), por lo tanto conocer el pH del suelo es de suma importancia ya que indica las acciones que deben realizarse sobre este para enriquecer o sostener su calidad, y así poder garantizar a la planta la disponibilidad y asimilación de nutrientes y agua (Murillo 2010).

La acidez afecta directamente las propiedades biológicas y químicas del suelo, presentándose como limitante ante el crecimiento de las plantas. La acidez limita la disponibilidad de nutrientes tales como calcio, magnesio, fósforo y potasio, y al mismo tiempo contribuye con el incremento de aluminio y manganeso los cuales son tóxicos para la planta (Molina 1998).

El requerimiento de cal en el suelo es definido como: “la cantidad de cal necesaria para llevar el pH de ese suelo hasta un valor deseado”. Para aumentar el pH del suelo se debe encalar que consiste en agregar sales alcalinas para neutralizar la acidez intercambiable que se cuantifica a través del contenido de hidrógeno y aluminio presente. Los factores principales que determinan el requisito de cal de un suelo son: pH y capacidad de intercambio catiónico o capacidad tampón del suelo. A menor pH, habrá más hidrógenos que neutralizar y se necesitará más cal (Arévalo y Gauggel 2014).

Existen distintos insumos agrícolas tales como carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio, los cuales corregirán la acidez del suelo. Estos materiales por ser de distinta naturaleza química, su capacidad de neutralización difiere también (Ortez Amador y Zavala González 2014).

La acción neutralizante de los materiales de encalado no se debe en forma directa al calcio y el magnesio, sino más bien a las bases químicas a las cuales están ligados estos cationes: CO_3^{-2} , OH^- , y SiO_3^{-2} . Los cationes reemplazan a los iones ácidos de las posiciones

intercambiables y los ponen en solución, y al entrar en contacto la cal con el agua del suelo las sales básicas se disocian y generan cationes y OH⁻. Los OH⁻ generados por los carbonatos, hidróxidos y silicatos son los que neutralizan la acidez del suelo al favorecer la precipitación del aluminio como Al(OH)₃ y la formación de agua. Las sales básicas de calcio y magnesio son muy abundantes en la naturaleza, y además estos dos elementos son esenciales para la nutrición de las plantas. Por este motivo constituyen los correctivos de acidez de mayor uso (Molina 1998).

La mejor forma de aplicar cal es incorporarla en los primeros 15-20 cm de suelo, utilizando maquinaria agrícola tal como el arado o rastra, de esta forma se logra mezclar el material agregado con la capa del suelo donde se concentran las raíces de la mayoría de los cultivos. Se pueden presentar obstáculos para la aplicación de cal, tales como el costo incurrido que representa el uso de maquinaria o que el cultivo esté ya establecido, como los cultivos perennes, donde la cal se aplica en la superficie del suelo alrededor de cada planta (Molina 1998).

Estudios realizados anteriormente en la Escuela Agrícola Panamericana dan a conocer información sobre el encalado y su importancia. El encalado de suelos ácidos es crítico para la buena actividad del suelo y cultivo. Se recomienda aplicar cal al inicio de las lluvias o un poco antes; sin embargo no existen limitaciones en cuanto a la época del año para la aplicación siempre que haya humedad en el suelo y que no coincida con un ciclo de fertilización (Rodríguez Mata 2014). En siembras nuevas la cal debe ser incorporada antes de sembrar. Una vez aplicada la cal, se debe esperar un tiempo prudencial (un mes) para que reaccione y luego proceder con la aplicación de fertilizante. El contacto directo de la cal con fertilizantes nitrogenados amoniacales en la superficie del suelo puede favorecer la formación de carbonato de amonio, el cual a su vez se transforma en amoníaco y se pierde el N por volatilización (Molina 1998).

El estudio realizado por Gómez Villamizar y Mantilla Salazar (2014) evaluó tres métodos para determinar el nivel de encalamiento necesario para corregir el pH de suelos ácidos, estos métodos fueron Adams & Evans (Sims 1996), el método usado en el laboratorio de suelos 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 encalado. Al comparar las dosis medias de cal recomendadas a través de cada uno de los métodos, se observó que el más acertado en cuanto a recomendación de cal (t/ha) fue el método usado en el laboratorio de suelos Zamorano (LSZ) propuesto por Gauggel (2003).

Entre los efectos que produce la aplicación de cal tenemos que el mayor efecto beneficioso del encalado es la reducción en la solubilidad del aluminio y manganeso, los cuales son tóxicos para muchos cultivos. Al aplicar cal no se libera fósforo de forma retenida o fijada en el suelo, ni de forma insoluble. La cal favorece al fósforo aplicado después del encalado. La cal bloquea algunos sitios reactivos del complejo coloidal, impidiendo que éstos atraigan los iones fosfato que están en la solución del suelo y los retengan o fijen. De esta manera queda mayor fósforo disponible para ser absorbido por las plantas (Lovo Silva et al. 2014).

El encalado mejora las condiciones para un desarrollo apropiado de la actividad microbiana en el suelo. Al encalar y mejorar la acidez del suelo, se favorece la actividad de las bacterias encargadas de la mineralización de la materia orgánica lo cual beneficia la nitrificación del nitrógeno orgánico y la mineralización orgánica de azufre, y las transforma a formas minerales las cuales pueden ser absorbidas por las raíces de las plantas. El encalado mejora la capacidad de fijación de nitrógeno en el suelo (Bernier 2006).

Los objetivos de la investigación fueron determinar la ocurrencia histórica de acidez en los suelos de Zamorano, determinar las necesidades de cal en los suelos agrícolas ácidos de Zamorano, establecer la fuente de acidez de los suelos y recomendar dosis de cal de acuerdo a las características de los suelos estudiados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en los suelos agrícolas más representativos y en el Laboratorio de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, durante los meses de mayo a septiembre de 2016. Ubicado en el kilómetro 30 carretera a Danlí a 800 msnm, en el Valle del Yeguaré, departamento de Francisco Morazán, Honduras.

Recopilación de análisis químicos históricos de los suelos agrícolas de Zamorano. Se recopilaron los archivos del Laboratorio de Suelos Zamorano (LSZ) la información existente sobre los análisis químicos de suelos agrícolas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, realizados en distintos años. La información se ordenó por fincas y lotes según el record histórico. Se hizo una base de datos con la información ordenada por lotes, de los cuales se seleccionaron los 25 lotes más representativos bajo el parámetro de pH menor a 6 en los cuales se tomaron muestras de suelo para analizarlas en el laboratorio (LSZ).

Muestreo en campo. Se muestrearon 25 lotes en total de las fincas: Florencia, Monte Redondo, San Nicolás Pivote, San Nicolás, Vaquillas, Zona 1 y Zona 2. El muestreo en campo consistió en tomar tres submuestras de suelo con ayuda de un barreno y una caja plástica donde se depositaron y se homogenizaron para formar una sola muestra de dos kg. Cada muestra se almacenó en una bolsa plástica rotulada previamente con el nombre del lote. El alcance del muestreo fue territorialmente limitado, no cubrió todos los lotes que por años se han venido analizando en Zamorano, este estudio solo cubrió una parte pequeña, sin embargo es muy importante hacer notar que el muestreo se hizo en suelos dedicados a la producción agrícola y en su mayoría son fuertemente ácidos, lo cual rectifica la necesidad de resolver esta problemática por medio del encalado

Análisis en laboratorio. Se analizó en cada muestra: pH, textura, capacidad de intercambio catiónico, acidez intercambiable y las bases K, Ca, Mg, y Na.

Textura de los suelos. Determinado por el método de Bouyoucos que se basa en la Ley de Stokes, donde la caída de un cuerpo esférico por la acción de la gravedad es proporcional al cuadrado del radio de la partícula. Se determina el porcentaje de arena, limo y arcilla del suelo para obtener la textura (Bouyoucos 1962).

Medición de pH. Se determinó de dos maneras; pH_{H_2O} y pH_{KCl} haciendo uso del potenciómetro con electrodos de vidrio en una mezcla peso/volumen de 1:1. Para este estudio se utilizó el H_2O destilada para hacer la medición del pH de cada muestra de suelo y el KCl fue usado para medir el pH potencial del suelo, donde el catión K^+ reemplaza a otros cationes tales como H^+ y el Al^{+3} los cuales están adheridos a la fase intercambiable de las arcillas. Los cationes quedan suspendidos en la solución, los cuales serán medidos con

el potenciómetro (Sparks 1996). La acidez de los suelos se ha clasificado por USDA (1999) en rangos, (Cuadro 1).

Determinación de la acidez intercambiable del suelo (Al^{3+} y H^+). El método para determinar el 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 se obtuvo de dos formas; estimando la acidez intercambiable y mediante extracción del aluminio intercambiable.

Acidez intercambiable estimada. Método usado KCl. El pH del suelo permitió realizar una estimación de la acidez intercambiable (Al^{3+} y H^+) del suelo. Si el pH se encontraba en el rango de 4 a 4.5 se estima un valor de 3 cmol/kg, de 4.5 a 5 se asigna un valor de 1.3 cmol/kg, de 5 a 5.5 se asigna un valor de 0.1 cmol/kg y para suelos con pH mayor a 5.5 se asigna un valor de 0 cmol/kg (Oliva Escobar 2009).

Extracción del aluminio intercambiable. El método se basa en extracción del Al con KCl 1N y cuantificación por titulación potenciométrica (Kenneth 1983).

Capacidad de intercambio catiónico. Para determinar la CIC el método usado fue el de Acetato de amonio (1N). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una variable importante ya que define la carga eléctrica de las arcillas y de la materia orgánica del suelo (Fernández 2007). La CIC es la habilidad de un suelo de absorber cationes de tal manera que puedan reemplazarse fácilmente por iones competitivos. Los principales cationes reemplazables son: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} e H^+ . Los cationes básicos son Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ a los cuales se les denomina bases intercambiables. Los cationes ácidos son Al^{3+} e H^+ los cuales son componentes de la acidez intercambiable. Esta medición se realizó en el Laboratorio de Suelos de Zamorano haciendo uso del destilador de Kjendahl y una bomba de vacío. 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. Para determinar la CIC se satura la fase intercambiable con amonio, los cuales son removidos y sustituidos por cationes de sodio agregados como NaCl en medio ácido, luego la cantidad de amonio se cuantifica por Kjeltex y se relaciona a la cantidad de CIC meq/100 g de muestra (Sparks 1996).

Cuadro 1. Clasificación de los niveles de acidez del suelo.

| Reacción del suelo | pH |
|---------------------------|-----------|
| Extremadamente ácido | <4.0 |
| Muy fuertemente ácido | 4.5-5.0 |
| Fuertemente ácido | 5.1-5.5 |
| Moderadamente ácido | 5.6-6.0 |
| Ligeramente ácido | 6.1-6.5 |
| Neutral | 6.6-7.3 |
| Ligeramente alcalino | 7.4-7.8 |
| Moderadamente alcalino | 7.9-8.4 |
| Fuertemente ácido | 8.5-9.0 |
| Muy fuertemente alcalino | >9.0 |

Fuente: (USDA 1999).

Métodos de determinación de requerimiento de cal. El método usado fue el de laboratorio de suelos (LSZ), basado en la propuesta diseñada por Gauggel (2003), (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 [1].

Capacidad de intercambio catiónico de la Arcilla ecuación [1]:

$$CICar = \frac{(CICE - CIC mo)}{Ar (\%)} \quad [1]$$

Donde:

CICar: Capacidad de intercambio catiónico de la arcilla.

CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva.

CICmo: Capacidad de intercambio catiónico de la materia orgánica.

Ar (%): porcentaje de Arcilla.

Cuadro 2. Necesidad de encalamiento para cambiar la reacción (pH) del suelo según textura.

| Cambio de pH deseado en la capa arable | cal agrícola (ton/ha) | | | | | |
|---|------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------|
| | Arena | Franco arenoso | Franco o limoso | 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 | 2.0 | 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 | 2.0 | 2.5 | 2.7 | 4.9 |

Fuente: (Gauggel 2003) modificado por Gómez y Mantilla 2014.

Incubación y curvas de encalamiento. Para este procedimiento se pesaron 20 g de suelo de cada una de las muestras con distintas cantidades de Hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) las cuales se incubaron por cuatro semanas en el laboratorio, bajo condiciones de humedad controlada menor al 80% y temperatura de 25°C aproximadamente, para que la reacción química pudiera darse de forma adecuada. Las muestras fueron cubiertas con papel aluminio, se les hizo un agujero en el centro del aluminio para permitir aireación. Las muestras se revisaron periódicamente con el fin de mantenerlas húmedas, se agregaron ocho mL de agua destilada cuando fue requerido. Para determinar la cantidad de cal requerida el experimento se basó en el porcentaje de arcilla de cada muestra (cuadro 3), (Gómez Villamizar y Mantilla Salazar 2014).

Cuadro 3. Clasificación de la dosis de cal agrícola aplicada en el experimento de curvas de incubación en el laboratorio (LSZ).

| % Arcilla | -----Dosis de Cal (t/ha)----- | | |
|-----------|-------------------------------|---|----|
| <20 | 0 | 2 | 4 |
| 20 - 28 | 0 | 3 | 6 |
| >28 | 0 | 5 | 10 |

Se hicieron tres repeticiones para cada una de las dosis de cada una de las muestras, formando un total de nueve incubaciones por muestra, 225 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 estadística descriptiva de correlaciones de dosis de cal con pH con incubaciones. Se hizo un análisis estadístico con modelo lineal general, análisis de varianza y una separación de medias por el método Duncan para analizar los resultados obtenidos mediante la incubación. También se realizó un análisis de correlación entre las variables: dosis de cal con pH, con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. Esto fue determinado por medio del software de análisis estadístico, SAS versión 9.3[®] Statistical Analysis System.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis histórico de la reacción del suelo (pH). Analizados en el período (2000 a 2015) en los suelos de Zamorano el pH varía e indica suelos desde ligeramente ácidos hasta fuertemente ácidos (figura 1), dominando los suelos moderadamente ácidos con pH 5.5 – 6.0, seguido de los suelos ligeramente ácidos con pH 6.1 – 6.5.

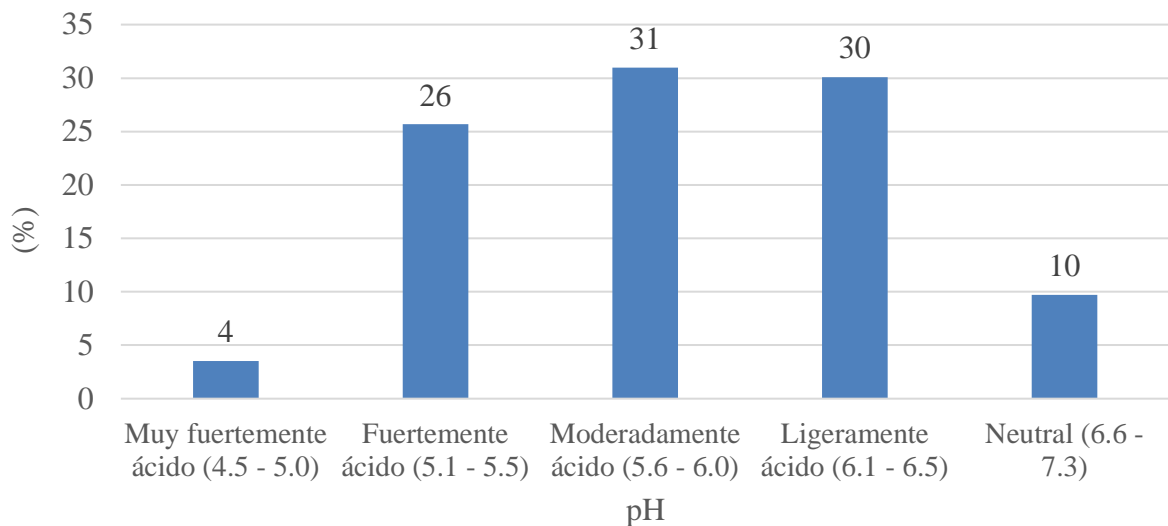


Figura 1. Nivel de acidez de los suelos agrícolas, datos históricos (2000 a 2015) de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

La acidificación del suelo ocurre cuando hay una baja capacidad buffer y por acidificación natural la cual es significativa, esta ocurre con lluvia suficiente y alto drenaje produciendo ácido carbónico generando una suave acidificación del suelo. La acidificación se acelera con la adición de fertilizantes ricos en amonio y azufre. Los suelos de Zamorano en su mayoría presentan pH 5.0-5.6 lo cual neutralizarlo significaría aplicar dosis menores a 3 ton/ha. En la mayor parte de los suelos el aluminio está asociado con la acidez a niveles tóxicos que generalmente resultan con pH bajos 4.5-5.8. La aplicación de cal para eliminar el aluminio intercambiable es un método poco usado ya que el Al no es el único factor que genera acidez, entre los otros factores está el alto contenido de manganeso y bajo contenido de calcio y magnesio lo cual reduce la actividad microbial del suelo. En Estados Unidos utilizan el método buffer para determinar la necesidad de cal (Sumner 1999).

Cuando el pH del suelo desciende de 5.5 el aluminio está en forma soluble o intercambiable y produce toxicidad en cultivos tales como el maíz. En suelos ácidos el manganeso está en

forma soluble por lo cual es transportado por el agua y puede ser absorbido por las plantas generando toxicidad, al alcalinizar se genera un estado de oxidación lo cual hace más disponible los nutrientes del suelo (Gaucher 1971).

Reacción del suelo (pH) de los suelos ácidos de Zamorano. Los suelos analizados variaron en el nivel de acidez desde muy fuertemente ácido, a ligeramente ácido (cuadro 4) y predominan los suelos fuertemente ácidos en 60% (Figura 2).

Cuadro 4. Niveles de acidez de los suelos agrícolas utilizados para este estudio, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

| Finca | Lote | pH Inicial | Nivel de acidez | |
|---------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|
| San Nicolás | Lote | 6 | 4.9 | Muy Fuertemente ácido |
| | | 2 | 4.99 | Muy Fuertemente ácido |
| | | 3 | 5.02 | Muy Fuertemente ácido |
| San Nicolás- Pivote | Laguna | | 5.05 | Muy Fuertemente ácido |
| Florencia | Llanos | 2 | 5.08 | Fuertemente ácido |
| | | 1 | 5.11 | Fuertemente ácido |
| San Nicolás | Lote | 7 | 5.15 | Fuertemente ácido |
| Florencia | Florencia | 1 | 5.16 | Fuertemente ácido |
| Monte Redondo | Lote | 4 | 5.21 | Fuertemente ácido |
| San Nicolás- Pivote | Tobiatá | | 5.23 | Fuertemente ácido |
| Florencia | Florencia | 2 | 5.24 | Fuertemente ácido |
| Zona 2 | Lote | 9 | 5.27 | Fuertemente ácido |
| San Nicolás- Pivote | Caoba | | 5.3 | Fuertemente ácido |
| Zona 1 | Lote | 2A | 5.36 | Fuertemente ácido |
| Vaquillas | La "L" | | 5.41 | Fuertemente ácido |
| Zona 1 | Lote | 1A | 5.41 | Fuertemente ácido |
| | | 2B | 5.49 | Fuertemente ácido |
| | | 3B | 5.55 | Fuertemente ácido |
| Monte Redondo | Lote | 3 | 5.65 | Moderadamente ácido |
| | | 7 PIF | 5.67 | Moderadamente ácido |
| Zona 1 | Lote | 1B | 5.58 | Moderadamente ácido |
| Zona 2 | Lote | 23 | 5.89 | Moderadamente ácido |
| Monte Redondo | Parcela Suelos alta | | 5.47 | Ligeramente ácido |

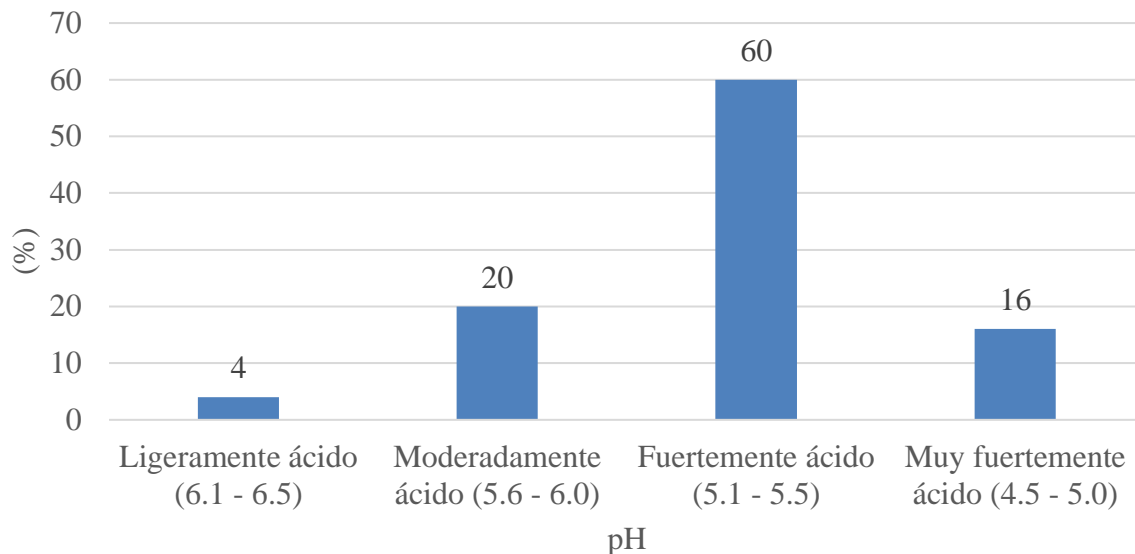


Figura 2. Clasificación de los niveles de acidez de los suelos agrícolas utilizados para este estudio, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Las características químicas de acidez de los suelos de Zamorano. Presentan pH iniciales ácidos siendo estos; Finca San Nicolás pH inicial menor 4.90 y pH final de 6.28, San Nicolás-Pivote pH inicial menor 5.05 y pH final mayor 6.61, Monte Redondo pH inicial menor 5.21 y pH final mayor 7.10, Zona 2 pH inicial menor 5.27 y pH final mayor 6.85, Zona 1 pH inicial menor 5.36 y pH final mayor 6.96 y Florencia pH inicial menor 5.08 y pH final mayor 6.84.

El pH_{KCl} muestra la acidez potencial del suelo, normalmente es 0.5 – 1 unidad de pH menor al pH_{H_2O} , donde el potasio desplaza los cationes acidificantes H^+ y Al^{+3} .

La Acidez Intercambiable compuesta por Al^{+3} e H^+ muestra bajo contenido de Al en todas las muestras, siendo Zona 2 lote 23 con 0.08 cmol/kg presentando el menor contenido de Al y San Nicolás lote 6 con 0.51 cmol/kg con el mayor contenido de Al, esto denota el alto grado de acierto con los datos obtenidos por Oliva Escobar (2009) en los suelos ácidos de la región central de Honduras y con los datos obtenidos por Chávez Avila (2015).

La CIC del suelo: En general los suelos ácidos estudiados muestran baja CIC <10 cmol/kg lo cual es considerado una baja CIC (Donnelli 1990).

El bloque Chortis incluye la parte Oriental y Sudoriental de Guatemala, todo el territorio de El Salvador y Honduras, este enfatiza en la geología de Honduras debido a que hay mayor presencia de las rocas más antiguas. Honduras ha sido cubierto por rocas volcánicas de la era Cenozoica, estas son rocas metamórficas de edades variables (Perez 2014).

La zona de Zamorano pertenece a la formación conocida como Grupo Padre Miguel la cual cubre gran parte de la zona Central, Sur y Suroccidental de Honduras, esta está formada por tobos (rocas extrusivas) volcánicas piroclásticas (rocas volcánicas) y por estas arcillas alofánicas de baja CIC tipo haloisitas metahaloisitas y haloisitas hidratadas y de carga variable. las cuales tuvieron origen en el tiempo geológico Cenozoico, son de composición ácida con predominancia de materiales félsicos los cuales son ricos en silicio, oxígeno, aluminio, sodio y potasio, en lo que destaca los feldespatos en 70 % y 30 % cuarzo, lo cual confirma el origen volcánico de la región. De esta manera el material toboso se asocia a arcillas amorfas de origen volcánico (Dengo et al 1969); (Donnelli 1990), (Cuadros 5a y 5b).

Cuadro 5a. Valores de reacción del suelo (pH) de los suelos agrícolas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

| Finca | Lote | M.O. (%) | pH Inici al | pH Final | pH KCl | Δ pH Inicial- pH Final | Δ pH Inicial- pH KCl | Al ⁺³ | H ⁺ | CIC | cmol/ kg | | | |
|------------------------|---------------------------|-------------|-------------------|-------------|-----------|--|--------------------------------------|------------------|----------------|-------|----------------|------------------|------------------|--|
| | | | | | | | | | | | K ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | |
| San Nicolás | Lote 6 | 1.88 | 4.90 g | 6.28 f | 4.04 | 1.38 | 0.86 | 0.51 | 0 | 8.00 | 1 | 5 | 1 | |
| | Lote 2 | 2.85 | 4.99 ef | 6.51 ef | 4.21 | 1.52 | 0.78 | 0.24 | 0 | 9.00 | 1 | 8 | 1 | |
| | Lote 7 | 2.00 | 5.15 efg | 6.50 ef | 4.15 | 1.35 | 1.00 | 0.29 | 0 | 9.25 | 1 | 6 | 1 | |
| | Lote 3 | 2.13 | 5.02 fg | 6.31 f | 4.25 | 1.29 | 0.77 | 0.17 | 0 | 9.25 | 1 | 6 | 1 | |
| San Nicolás- Pivote | Tobiatá | 1.94 | 5.23 ef | 6.52 ef | 4.08 | 1.29 | 1.15 | 0.35 | 0 | 8.75 | 1 | 6 | 1 | |
| | Caoba | 1.95 | 5.30 de | 6.60 ed | 4.47 | 1.30 | 0.83 | 0.22 | 0 | 10.00 | 1 | 7 | 1 | |
| | Laguna | 2.27 | 5.05 ecd | 6.61 ecd | 4.03 | 1.56 | 1.02 | 0.33 | 0 | 10.00 | 1 | 5 | 1 | |
| Vaquillas | La "L" | 4.61 | 5.41 ecd | 6.61 ecd | 4.63 | 1.20 | 0.78 | 0.51 | 0 | 20.75 | 2 | 9 | 2 | |
| Monte Redondo | Lote 3 | 2.48 | 5.65 ecd | 6.63 ecd | 4.55 | 0.98 | 1.10 | 0.29 | 0 | 10.64 | 1 | 7 | 1 | |
| | Lote 4 | 2.15 | 5.21 ecd | 6.66 ecd | 4.33 | 1.45 | 0.88 | 0.14 | 0 | 10.77 | 1 | 6 | 2 | |
| | Parcela Suelos alta | 3.83 | 5.47 a | 6.78 bcd | 4.56 | 1.31 | 0.91 | 0.12 | 0 | 8.75 | 1 | 5 | 2 | |
| | Lote 7 PIF | 0.84 | 5.67 a | 7.10 a | 4.59 | 1.43 | 1.08 | 0.13 | 0 | 9.50 | 1 | 7 | 1 | |

Cuadro 5b. Valores de reacción del suelo (pH) de los suelos agrícolas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

| Finca | Lote | M.O. (%) | pH Inicial | pH Final | pH _{KCl} | Δ pH Inicial- pH Final | Δ pH Inicial- pH KCl | Al ⁺³ | H ⁺ | cmol/ kg | | | | | |
|-----------|-----------|-------------|---------------|-------------|-------------------|--|--------------------------------------|------------------|----------------|----------|----------------|------------------|------------------|---|--|
| | | | | | | | | | | CIC | K ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | | |
| Zona 2 | Lote | 23 | 1.56 | 5.89 bcd | 6.85 bcd | 4.70 | 0.96 | 1.19 | 0.08 | 0 | 8.70 | 1 | 6 | 1 | |
| | | 9 | 1.87 | 5.27 efg | 6.50 ef | 4.28 | 1.23 | 0.99 | 0.15 | 0 | 9.50 | 1 | 7 | 1 | |
| Zona 1 | Lote | 1A | 2.00 | 5.41 ecd | 6.77 bcd | 4.60 | 1.36 | 0.81 | 0.12 | 0 | 8.50 | 1 | 7 | 1 | |
| | | 2B | 1.75 | 5.49 bcd | 6.77 bcd | 4.56 | 1.28 | 0.93 | 0.13 | 0 | 10.30 | 1 | 7 | 1 | |
| | | 1B | 1.82 | 5.58 ba | 6.96 ba | 4.59 | 1.38 | 0.99 | 0.51 | 0 | 10.40 | 1 | 6 | 1 | |
| | | 2A | 2.21 | 5.36 bcd | 6.84 bcd | 4.64 | 1.48 | 0.72 | 0.12 | 0 | 10.50 | 1 | 10 | 1 | |
| | | 3B | 2.86 | 5.55 bc | 6.86 bc | 4.86 | 1.31 | 0.69 | 0.09 | 0 | 11.00 | 1 | 6 | 1 | |
| Florenxia | Florenxia | 1 | 2.47 | 5.16 ecd | 6.69 ecd | 4.42 | 1.53 | 0.74 | 0.17 | 0 | 9.50 | 1 | 7 | 1 | |
| | | 2 | 3.30 | 5.24 bcd | 6.84 bcd | 4.44 | 1.60 | 0.80 | 0.14 | 0 | 9.30 | 1 | 8 | 1 | |
| | Llanos | 1 | 2.21 | 5.11 ecd | 6.65 ecd | 4.46 | 1.54 | 0.65 | 0.09 | 0 | 10.00 | 1 | 7 | 1 | |
| | | 2 | 2.46 | 5.08 ecd | 6.63 ecd | 4.48 | 1.55 | 0.60 | 0.17 | 0 | 10.90 | 2 | 7 | 2 | |

§Los promedios seguidos con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Duncan al 5%.

Fassbender (1975) encuentra para Honduras suelos andosoles con CIC de 50 cmol/kg y refleja que los andosoles de Centro América tienen CIC de 32.4 cmol/kg e indica que al aumentar progresivamente el contenido de materia orgánica y arcillas de los suelos aumenta la CIC. Durante el proceso de formación de arcillas a partir de materiales volcánicos por meteorización el vidrio se transforma en alófana y durante su envejecimiento se convierte en metahalosita (Bessoin 1985).

La CIC es una propiedad vinculada a la arcilla y a la fracción coloidal de la materia orgánica. Indica que la halosita tiene CIC 5-10 cmol/kg y la halosita hidratada 40-50 cmol/kg (Honorato 2001).

La halosita tiene CIC 10-40 cmol/kg, baja sustitución isomórfica y son suelos con altas cantidades de potasio, este ion hace que se aumente la CIC cuando se mide (Sparks 2002). Restrepo Jaramillo (2015) determinó que hay altas cantidades de potasio en los suelos de Zamorano el cual se asume que es intercambiable y está entre las capas de las arcillas, lo cual respalda la CIC de los suelos de Zamorano, los cuales generaron una CIC de la arcilla entre 39 y 68 cmol/kg (Cuadros 6a y 6b) valor que indica la naturaleza de la arcilla halosita hidratada como ya se explicó.

Cuadro 6a. Valores de la CIC de la arcilla, tipo de textura y porcentaje de arcilla de cada uno de los lotes.

| Finca | Lote | Arcilla (%) | Textura | CIC Arcilla |
|---------------------|---------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| San Nicolás | Lote 6 | 14 | Franco arenosa | 58 |
| | 2 | 20 | Franco arenosa | 46 |
| | 7 | 18 | Franco arenosa | 52 |
| | 3 | 18 | Franco arenosa | 53 |
| San Nicolás- Pivote | Tobiatá | 20 | Franco arcillo arenosa | 45 |
| | Caoba | 22 | Franca | 46 |
| | Laguna | 20 | Franca | 51 |
| Vaquillas | La "L" | 32 | Franco arcillosa | 68 |
| Monte Redondo | Lote 3 | 28 | Franco arcillosa | 39 |
| | 4 | 26 | Franca | 42 |
| | Parcela Suelos alta | 20 | Franco arenosa | 45 |
| | Lote 7 PIF | 20 | Franco arenosa | 48 |

Cuadro 6b. Valores de la CIC de la arcilla, tipo de textura y porcentaje de arcilla de cada uno de los lotes.

| Finca | Lote | Arcilla (%) | Textura | CIC Arcilla |
|--------------|-------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Zona 2 | Lote 23 | 18 | Franco arenosa | 49 |
| | 9 | 22 | Franco arcillo arenosa | 44 |
| Zona 1 | Lote 1A | 22 | Franca | 39 |
| | 2B | 22 | Franca | 47 |
| | 1B | 24 | Franca | 44 |
| | 2A | 22 | Franca | 49 |
| | 3B | 22 | Franca | 52 |
| Florencia | Florencia 1 | 24 | Franca | 41 |
| | 2 | 20 | Franco arenosa | 48 |
| | Llanos 1 | 26 | Franca | 39 |
| | 2 | 30 | Franco arcillosa | 37 |

Correlación entre los indicadores de acidez del suelo.

Hay un incremento del pH Inicial con Δ pH inicial-pH KCl, conceptualmente se espera que esta función sea mucho mejor definida que lo resultado de este estudio, más sin embargo esto reconfirma los cambios químicos que se dan en la fracción Arcillosa (Alófono) de los suelos de Zamorano, (Figura 3).

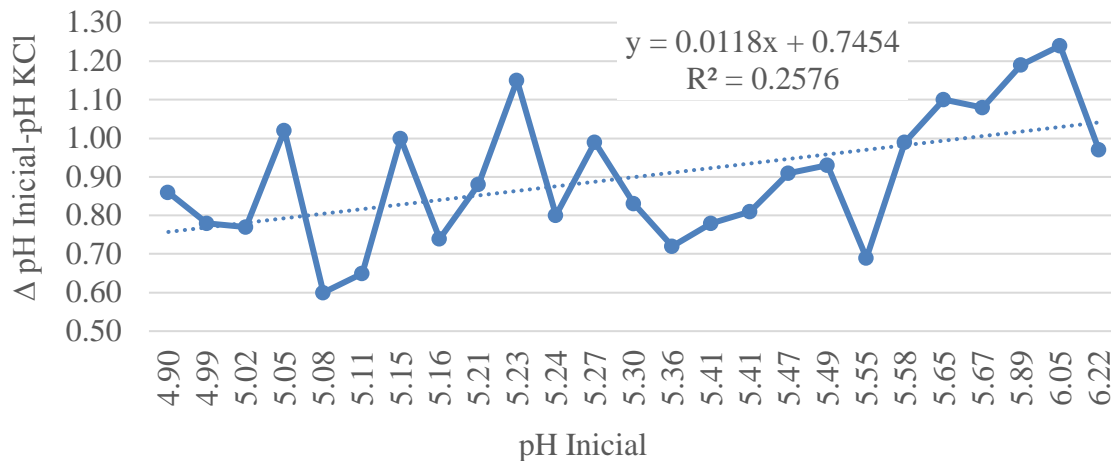


Figura 3. Correlación entre pH Inicial con Δ pH inicial-pH KCl.

Se observa un ligero decremento entre el pH Inicial en relación al Aluminio Intercambiable, es de hacer notar que la Capacidad de Intercambio Catiónico de los suelos con fracción arcillosa (Alófono) incrementan por lo que cualquier relación como lo es la relación de pH Inicial con Aluminio Intercambiable es muy débil como se refleja en el coeficiente de correlación, (Figura 4).

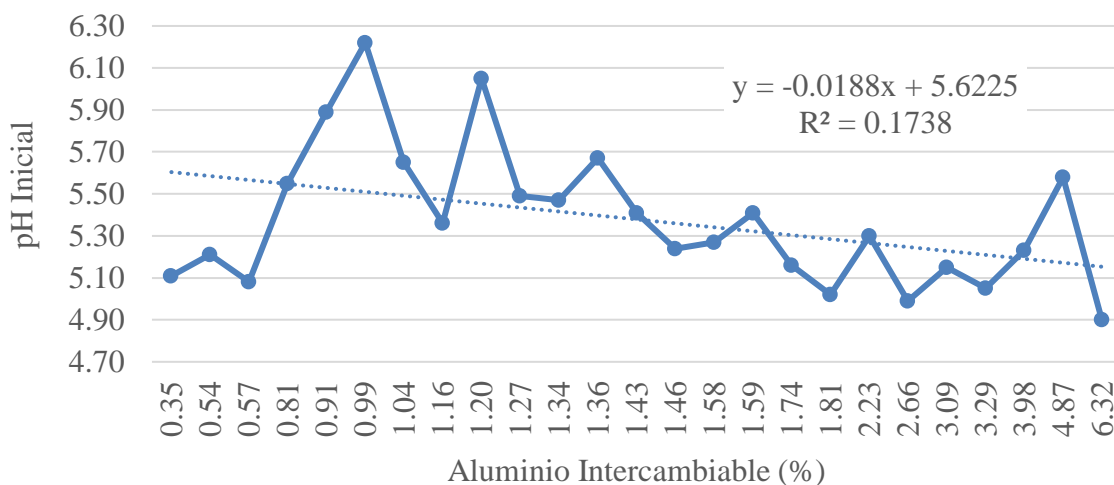


Figura 4. Correlación entre pH Inicial con Aluminio Intercambiable.

Se observa la misma tendencia en el comportamiento del Aluminio Intercambiable con el pH KCl (Figura 5).

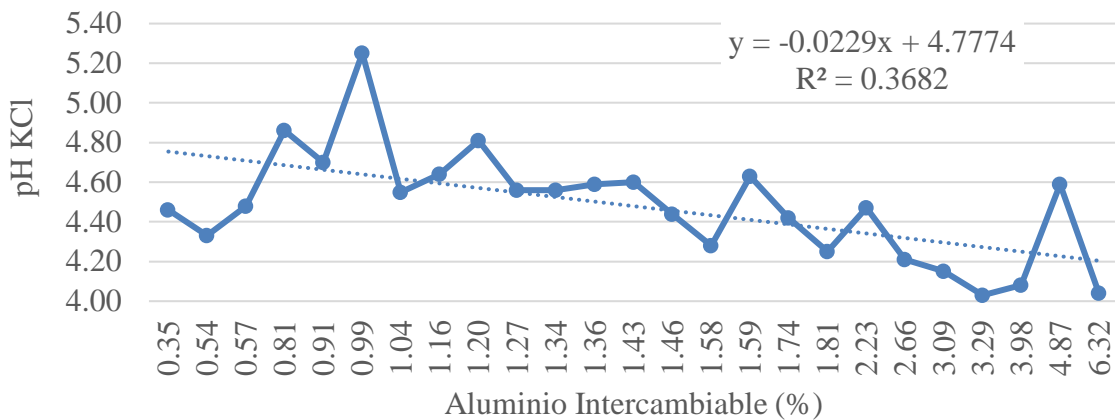


Figura 5. Correlación pH KCl con porcentaje de Aluminio Intercambiable.

La diferencia entre Δ pH Inicial-pH KCl en este estudio se debe al contenido de Al Intercambiable en los diferentes sitios de muestreo, en esta gráfica se observa una ligera tendencia a decrecer el Aluminio Intercambiable con el incremento en el Δ pH Inicial-pH KCl. En suelos ácidos con mineralogía cristalina esto sería una anomalía más sin embargo en el contexto de suelos alofánicos las reacciones que se dan en la fracción arcillosa de estos suelos es en gran medida impredecible, (Figura 6).

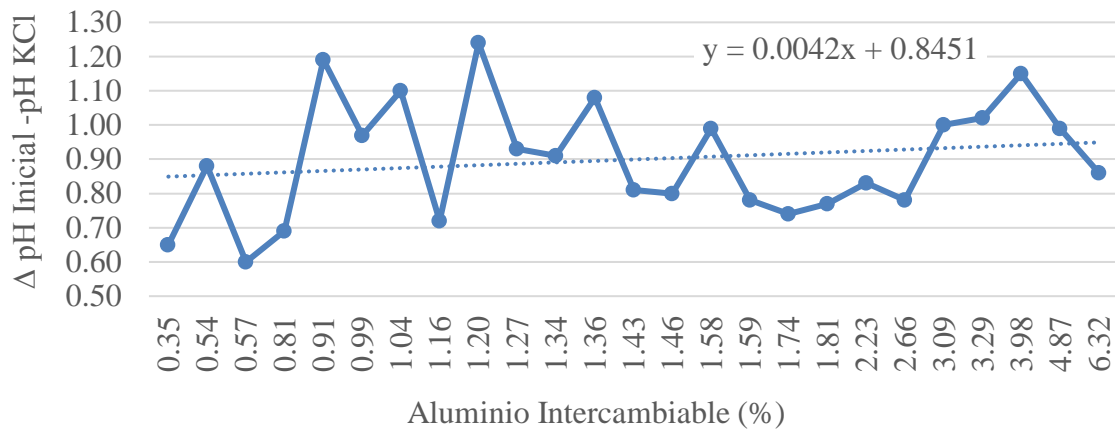


Figura 6. Correlación Δ pH Inicial- pH KCl con Porcentaje de Aluminio Intercambiable.

La correlación entre el pH KCl y el Δ pH Inicial-pH KCl fue ligeramente negativa y sigue presentando las mismas características de las funciones anteriores, no hay una correlación fuerte entre los diferentes componentes de Al y pH, rectificando la fuerte influencia de sedimentos volcánicos en algún momento geológico en esta zona de Honduras y por ende el comportamiento es muy parecido a los suelos de este origen, (Figura 7).

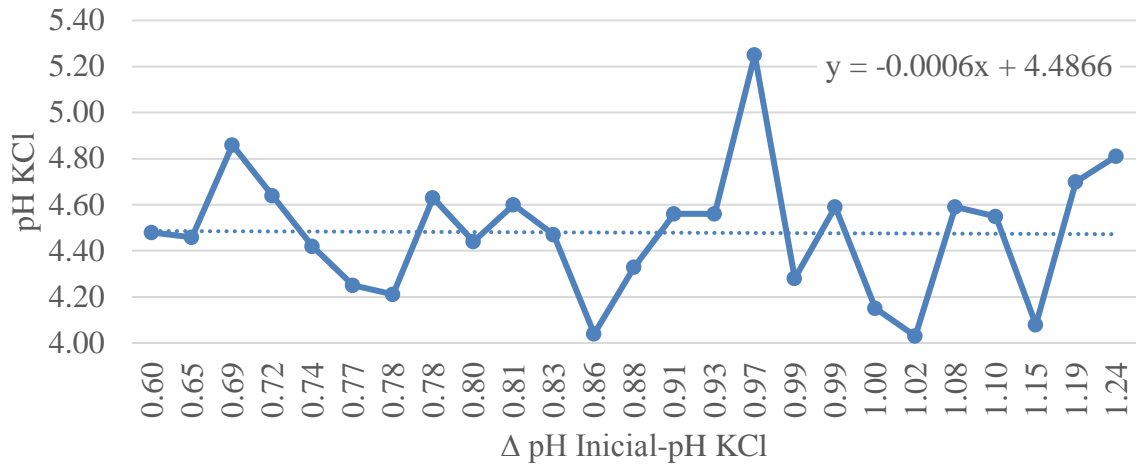


Figura 7. Correlación pH KCl con Δ pH Inicial-pH KCl.

$$\text{pH KCl} = -0.0006 \times (\Delta \text{pH Inicial-pH KCl}) + 4.4866$$

La capacidad de intercambio catiónico tuvo un ligero decremento con el incremento del Delta pH presentando una correlación ligeramente negativa, sin embargo muchos puntos mostraron un comportamiento totalmente errático. La Capacidad de Intercambio Catiónico es una de las propiedades químicas del suelo que más se ve afectada con cambios de pH, esto conlleva a implicaciones en el manejo de la fertilidad y eficiencia de fertilizantes en estos suelos dado a que el pH que estos generan alterará por lo menos temporalmente la Capacidad de Intercambio Catiónico de estos suelos, (Figura 8).

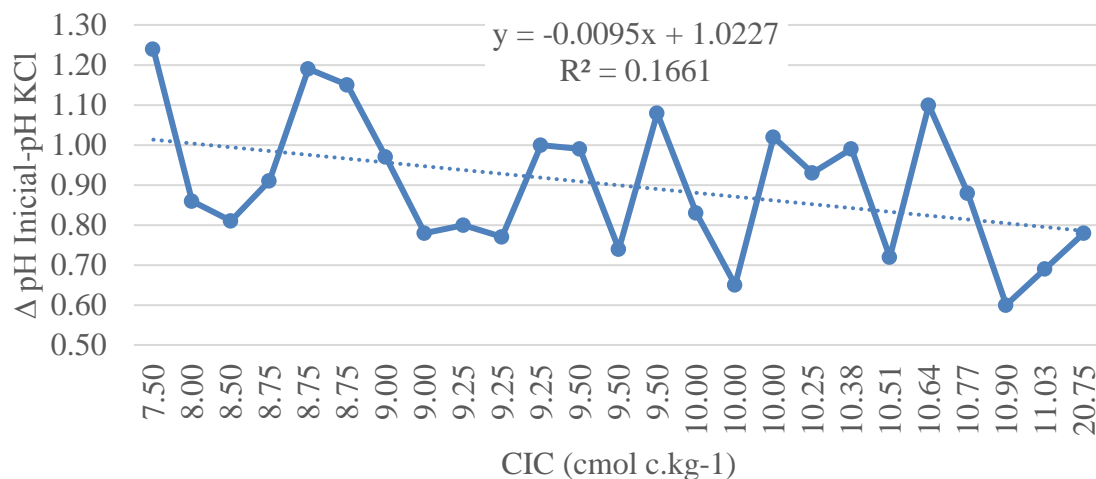


Figura 8. Correlación Capacidad de Intercambio Catiónico con pH KCl.

$$\Delta \text{pH Inicial-pH KCl} = -0.0094 \times (\text{CIC cmol c.kg-1}) + 1.022$$

$$R^2 = 0.1477$$

Hubo un incremento en la capacidad de intercambio catiónico de estos suelos en relación con el porcentaje de Arcilla. Este estudio sugiere que mientras la reacción química del suelo

(pH) y por ende el Al Intercambiable, el suelo tendrá un comportamiento bastante similar a los suelos de mineralogía cristalina (montmorillonitas caolinitas, etc.); (Bessoain 1985), (Figura 9).

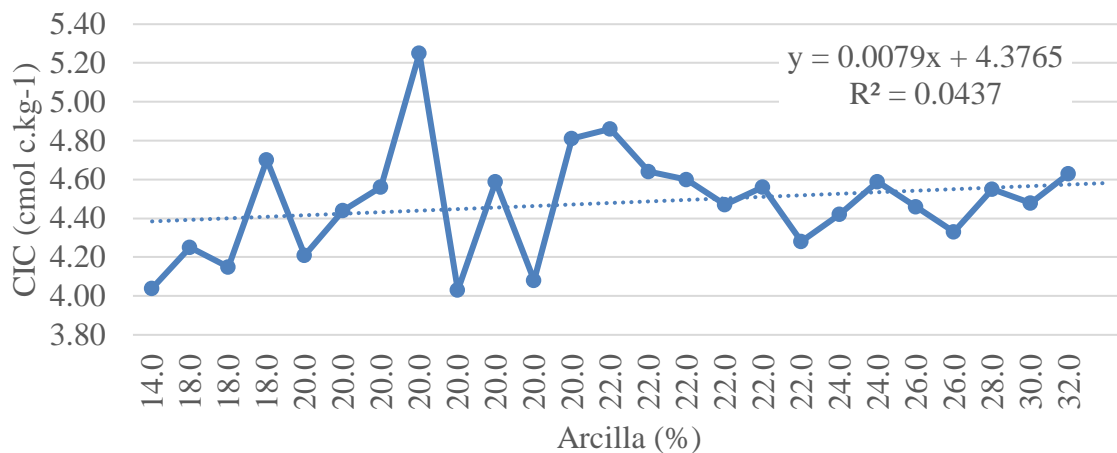


Figura 9. Correlación Capacidad de Intercambio Catiónico con Porcentaje de Arcilla.
 $CIC (cmol c.kg^{-1}) = 0.0079 \times (Arcilla \%) + 4.3765$
 $R^2 = 0.0437$

La correlación de estas dos variables es ligeramente fuerte y se cumple de menor a mayor grado en suelos volcánicos (mineralogía alofánica) y en suelos no volcánicos (mineralogía cristalina), de esta manera se espera que en suelos ácidos como es el caso de la mayoría de los suelos de Zamorano, al incrementar la Capacidad de Intercambio Catiónico el contenido de Aluminio Intercambiable también aumentará, (Figura 10).

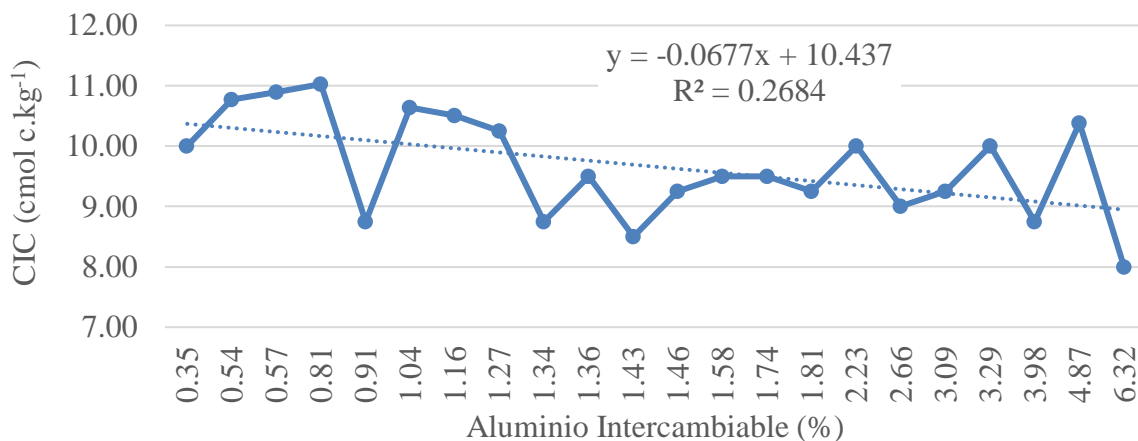


Figura 10. Correlación Capacidad de Intercambio Catiónico con Aluminio Intercambiable.
 $CIC (cmol c.kg^{-1}) = -0.0677 \times (Aluminio Intercambiable \%) + 10.437$
 $R^2 = 0.2684$

La correlación de estas variables resultan en una distribución parabólica muy débil y esto se expresa en la ecuación polinomial que la describe, sin embargo se puede observar que cinco puntos resultan en picos que hacen que esta función tenga una correlación débil, es de hacer notar que estos picos son el resultado del comportamiento de las arcillas alofánicas que predominan en estos suelos, (Figura 11).

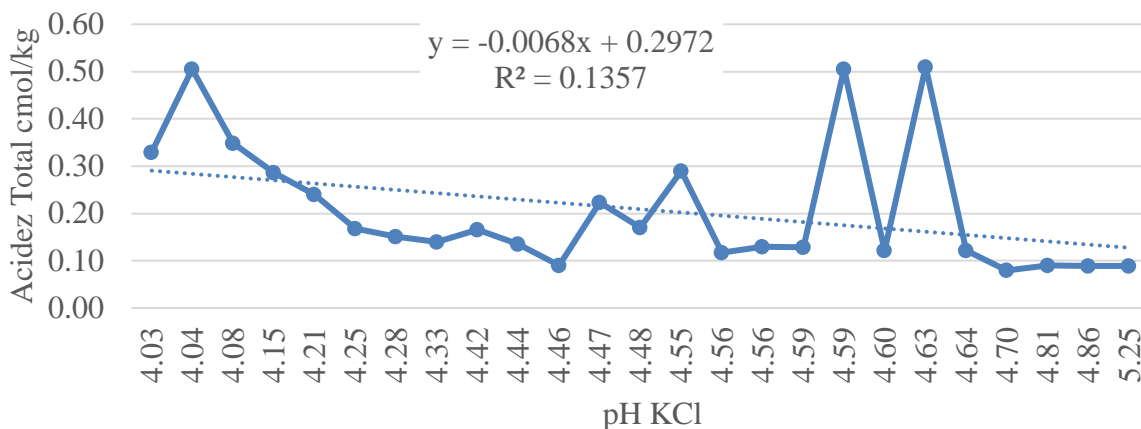


Figura 11. Correlación Acidez Total con pH KCl.

$$\text{Acidez Total cmol/kg} = -0.0068 \times (\text{pH KCl}) + 0.2972$$

$$R^2 = 0.1357$$

La relación que se observa en los resultados de este estudio es que no hubo una clara relación entre el contenido de Calcio con sus respectivos valores de Aluminio Intercambiable, se espera que a medida que incrementa el Aluminio Intercambiable decrezca el Calcio Intercambiable, más en este caso estos datos apoyan el concepto que los suelos de Zamorano requieren cantidades relativamente modestas de CaCO_3 para llevar el pH a un valor deseado, (Figura 12).

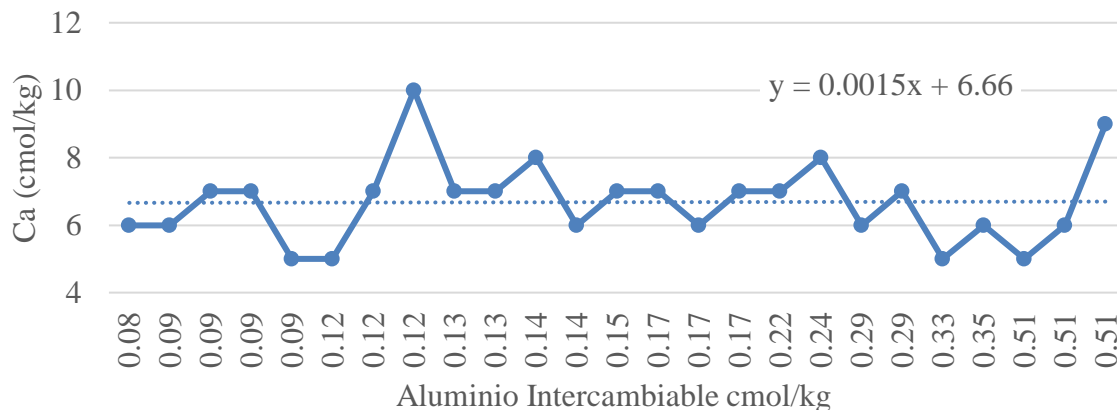


Figura 12. Correlación Calcio con Aluminio Intercambiable.

$$\text{Ca (cmol/kg)} = 0.0015 \times (\text{Aluminio Intercambiable cmol/kg}) + 6.66$$

Las figuras 13, 14, 15 y 16 indican que las dosis a aplicar para enmendar los suelos de Zamorano tienen que ser bastante moderadas dado a que las aplicaciones altas resultan en cambios mínimos de pH. Al ser exponencial indican un gran incremento en el contenido de cal con un incremento mínimo de 0.50 en pH en la figura 13; 0.13 en pH en la figura 14; 0.32 en pH en la figura 15; 0.33 en pH en la figura 16. De acuerdo a estos resultados se plantean las dosis de cal a aplicar de acuerdo al contenido de arcilla en los suelos ácidos de Zamorano (Cuadro 7).

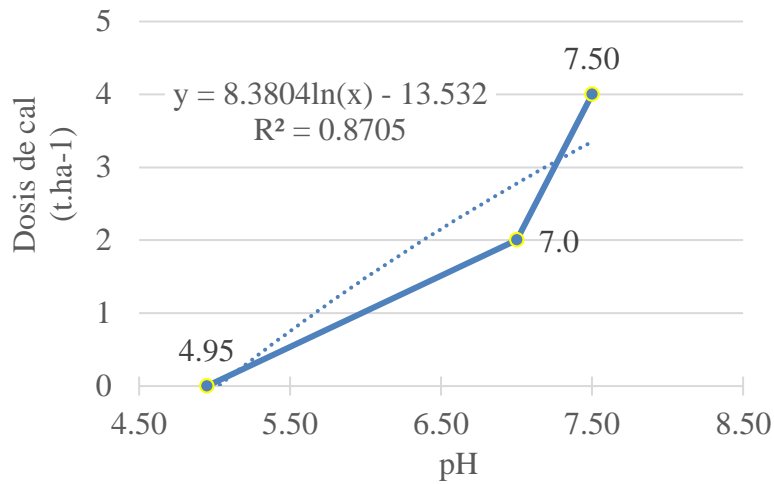


Figura 13. Suelos con <20% Arcilla con 2 y 4 t/ha de cal.

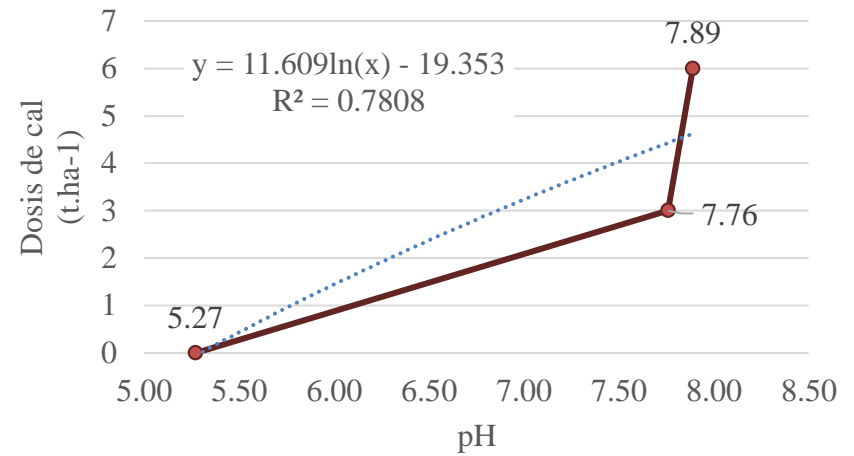


Figura 14. Suelos con <20% Arcilla con 3 y 6 t/ha de cal.

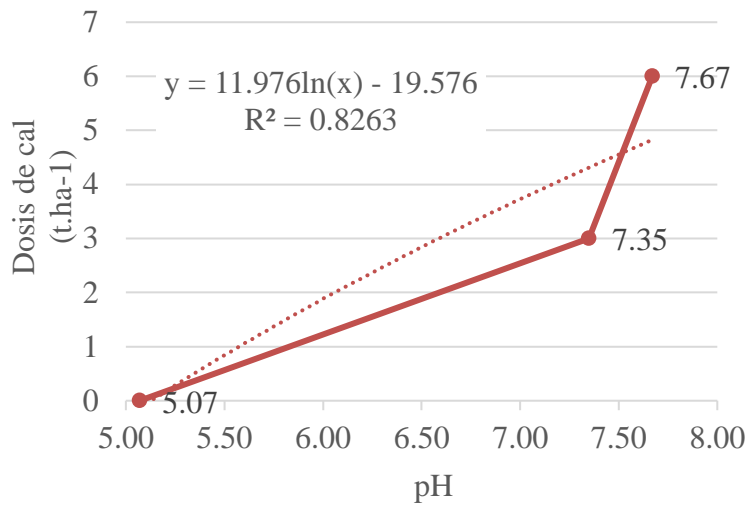


Figura 15. Suelos con 20-28% Arcilla con 3 y 6 t/ha de cal.

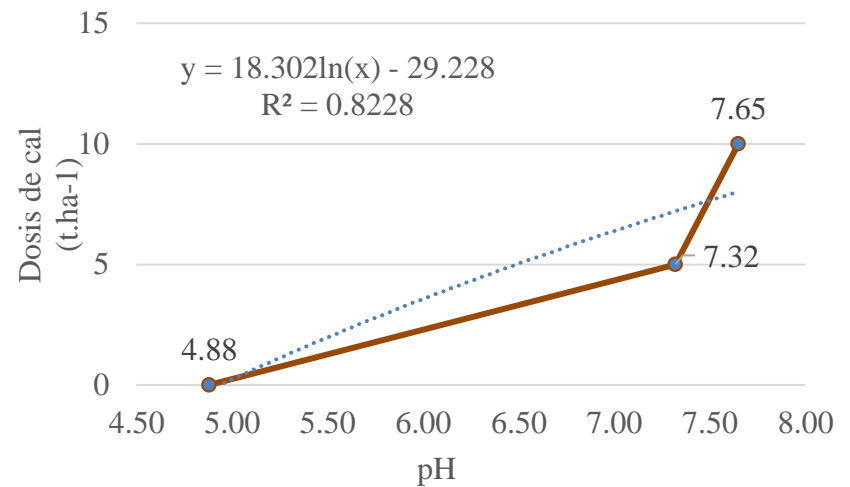


Figura 16. Suelos con >28% Arcilla con 5 y 10 t/ha de cal.

Cuadro 7. Recomendación de cantidad de cal a aplicar según pH inicial y porcentaje de arcilla para subir el pH a 6.5.

| pH Inicial | Cal real (ton/ha) | | |
|------------|-------------------|-----------------|-------------|
| | <20%Arcilla | 20- 28 %Arcilla | >28%Arcilla |
| 4.50 | 3.1 | 4.4 | 6.7 |
| 4.60 | 2.9 | 4.1 | 6.3 |
| 4.70 | 2.7 | 3.9 | 5.9 |
| 4.80 | 2.5 | 3.6 | 5.5 |
| 4.90 | 2.4 | 3.4 | 5.2 |
| 5.00 | 2.2 | 3.1 | 4.8 |
| 5.10 | 2.0 | 2.9 | 4.4 |
| 5.20 | 1.9 | 2.7 | 4.1 |
| 5.30 | 1.7 | 2.4 | 3.7 |
| 5.40 | 1.6 | 2.2 | 3.4 |
| 5.50 | 1.4 | 2.0 | 3.1 |
| 5.60 | 1.2 | 1.8 | 2.7 |
| 5.70 | 1.1 | 1.6 | 2.4 |
| 5.80 | 1.0 | 1.4 | 2.1 |
| 5.90 | 0.8 | 1.2 | 1.8 |
| 6.00 | 0.7 | 1.0 | 1.5 |
| 6.10 | 0.5 | 0.8 | 1.2 |
| 6.20 | 0.4 | 0.6 | 0.9 |
| 6.30 | 0.3 | 0.4 | 0.6 |
| 6.40 | 0.1 | 0.2 | 0.3 |
| 6.50 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

4. CONCLUSIONES

- En Zamorano históricamente se han hecho estudios que demuestran la ocurrencia de suelos ácidos y la necesidad de aplicar enmiendas de cal.
- Los suelos de las áreas muestreadas, son predominantemente ácidos, siendo la causa de la acidez el contenido de aluminio intercambiable.
- Los suelos de Zamorano tienen un comportamiento que corresponde a mineralogía alofánica por tener carga dependiente de pH.
- En los suelos ácidos de Zamorano es necesario el uso de cal en dosis que varían desde 1 a 4.8 t/ha dependiendo del porcentaje de arcilla y del pH inicial del suelo para llevarlo a un valor de 6.5.
- El bajo contenido de Mg en los suelos hace necesaria que la fuente de cal sea la dolomita.

5. RECOMENDACIONES

- Aplicar este estudio en campo y medir resultados basado en producción.
- Basarse en los análisis de suelos para determinar las dosis de cal a aplicarse.
- Aplicar dosis entre 1 y 4.8 toneladas de cal por hectárea, de acuerdo a los requerimientos de los cultivos, y las necesidades basadas en los análisis de suelos.
- Dado a que los suelos de Zamorano presentan un comportamiento clásico de arcillas alófanas, debe consultarse a los expertos en suelos para elaborar estas recomendaciones que variarán no solo de acuerdo al pH inicial y deseado sino que también al pH requerido por el cultivo a establecerse.

6. LITERATURA CITADA

- Arévalo G, Gauggel C. 2014. Manual de prácticas de laboratorio, curso de manejo de suelos y nutrición vegetal. Zamorano, Honduras. LITOCOM. p 93.
- Bernier R. 2006. Acidez de los suelos y efectos del encalado. Ed. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. p 14.
- Bessoain E. 1985. Mineralogía de arcillas de suelos. Ed. IICA. p 374.
- Bouyoucos. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agronomy Journal. p 464-465.
- Chávez Avila AR. 2015. Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras. Proyecto de graduación para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Donnelly TW. 1990. Northern Central America The Maya and Chortis Blocks. Ed. GNA. p 4.
- Fassbender H. 1971. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Ed. IICA. p. 375.
- Fernández J. 2007. Funding News. Science Journal. p 27.
- Gaucher G. 1971. Tratado de pedología agrícola: el suelo y sus características agronómicas. Ed. Omega. p 548.
- Gauggel C. 2003. Índices de calidad de suelos para las propiedades morfológicas, físicas y químicas, Zamorano, Honduras. Inédito 7 p.
- Gómez Villamizar LF, Mantilla Salazar JD. 2014. Evaluación de tres métodos para determinar requerimiento de cal y correlación con curvas de incubación, en suelos ácidos de Honduras. Proyecto de graduación para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Honorato R. 2001. Manual de edafología (4ª ED.). Ed. Alfaomega. p 133.
- Ibáñez J. 2007. pH del Suelo Un Universo invisible bajo nuestros pies. Ed. INA. p 34.

Kenneth M. 1983. Soil acidity and liming, III. Evaluation of using aluminum extracted by various chloride salts for determining lime requirements. Soil Science Society of America Journal. p 690 - 692.

Lovo Silva JJ, Saavedra Alvarado JE, Saravia Chávez R. 2014. Calidad de los suelos y plan de adecuación para los terrenos de uso agrícola y pecuario de Zamorano, Honduras. Proyecto de graduación para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Molina E. 1998. Acidez de suelo y encalado. Ed. IPNI. p 10.

Murillo U. 2010. Tecnología de suelos. 1a. ed. Zaragoza: Universitat de Lleida; Prensas Universitarias de Zaragoza. 513 p. (Colección de textos docentes; vol. 179). ISBN: 8492774975.

Oliva Escobar DP. 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. Proyecto de graduación para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Ortez Amador OA, Zavala González AS. 2014. Efecto de encalamiento y fertilización en dos suelos con cultivo de café, Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua. Proyecto de graduación para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Restrepo Jaramillo JD. 2015. Efecto de aplicación de cuatro dosis de potasio en el rendimiento de banano, en suelo con alto contenido de potasio, subsolado y no subsolado. Proyecto de graduación para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Rodriguez Mata PJ. 2014. Evaluación de la calidad de los suelos y desarrollo de un plan de manejo de los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de Zamorano, Honduras. Proyecto de graduación para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Sims. 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. p 491 - 513.

Sparks D. 1996. Methods of soil analysis part 3 Chemical Methods. Ed. Chief SSSA. p. 14.

Sparks D. 2002. Environmental Soil Chemistry, 2nd Edition. Ed. Dinauer. p 46.

Sumner M. 1999. Handbook of Soil Science. Ed. In Chief. p 273.

USDA. 1999. Liming To Improve Soil Quality in Acid Soils. Vol. 100. p. 178-181.