

# *Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana*

## *Effect of four liming materials on acidity control of a soil from Loreto, Orellana*

Carmen Calva<sup>1</sup>; José Espinosa<sup>1</sup>

✉ : jespinos@fagraria.com.ec

*1 Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Jerónimo Leiton y Av. La Gasca s/n. Ciudadela Universitaria  
170521 Quito. Ecuador*

### **Resumen**

La presente investigación se condujo en dos fases, la primera en el invernadero del Campo Académico Docente Experimental La Tola (CADET) y la segunda en el Laboratorio de Suelos, ambos pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de la aplicación de enmiendas en el control de acidez de un suelo representativo del grupo de suelos rojos clasificados como Oxic Dystrudepts en el cantón Loreto, provincia de Orellana. El suelo presentó inicialmente un pH 5.2, acidez intercambiable ( $H^+ + Al^{3+}$ ) de 0.52 cmolc kg<sup>-1</sup> y aluminio intercambiable ( $Al^{3+}$ ) de 0.38 cmolc kg<sup>-1</sup>. Se evaluaron cuatro enmiendas (carbonato de calcio, dolomita, óxido de calcio y carbonato de magnesio) y ocho dosis de cada enmienda (0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 y 6.0 t ha<sup>-1</sup>). Los tratamientos se replicaron tres veces dando un total de 24 unidades experimentales por enmienda. La prueba de invernadero se inició mezclando completamente las dosis de las enmiendas en el suelo que luego se colocó en macetas de 2 kg que se mantuvieron cerca de capacidad de campo por 45 para permitir la completa reacción del suelo con los materiales. Luego de este tiempo se sembraron las macetas con trigo (*Triticum vulgare*) que dejó crecer por 6 semanas. Se cosechó la biomasa y se determinó materia verde y materia seca. Para los análisis de laboratorio se usaron los suelos de las macetas luego de la prueba de incubación para determinar pH, el contenido de  $H^+ + Al^{3+}$  y  $Al^{3+}$ . Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) para cada enmienda. Los resultados de la prueba de invernadero indicaron que los mejores rendimientos de biomasa de la planta indicadora se lograron con dolomita y carbonato de calcio. Se pudo además observar que las dosis de mayor acumulación de biomasa estuvieron entre 1.0 y 1.5 t ha<sup>-1</sup> de enmienda. Las variables analizadas en laboratorio demostraron que el pH se incrementó a medida que se incrementaban las dosis de enmiendas, lo contrario se observó con los contenidos de  $H^+ + Al^{3+}$  y  $Al^{3+}$ , sin embargo, solo las dosis bajas dieron valores que coincidían con las dosis que acumularon la mayor cantidad de biomasa. El análisis gráfico de las interacciones de pH con  $H^+$  y pH y  $Al^{3+}$  encontró la misma tendencia. Toda esta información permitió definir la dinámica de los cambios promovidos por la adición de las enmiendas en la acumulación de biomasa y en las propiedades del suelo y en forma indirecta la dosis adecuada de enmienda, pero esto no es suficiente para entregar una herramienta que permita dar una recomendación de la dosis adecuada de la enmienda en suelos particulares. Con los valores iniciales del contenido de  $H^+ + Al^{3+}$  se propuso utilizar la metodología de Kamprath utilizando la siguiente fórmula:  $CaCO_3$  (t ha<sup>-1</sup>) = 2.0 x cmolc de  $[H^+ + Al^{3+}]$  kg<sup>-1</sup> de suelo que cuando se planteó con los valores iniciales de  $H^+ + Al^{3+}$  del suelo dio el siguiente resultado:  $CaCO_3$  (t ha<sup>-1</sup>) = 2.0 x 0.52 cmolc de  $[H^+ + Al^{3+}]$  kg<sup>-1</sup> de suelo  $\approx$  1 t ha<sup>-1</sup>  $CaCO_3$ . Esta fórmula puede utilizarse en todos los suelos ácidos de las mismas características del suelo evaluado en el invernadero de CADET.

**Palabras clave:** aluminio intercambiable, enmiendas, suelos tropicales, incubación.

## Abstract

A study was conducted in two phases, one at the Experimental Station greenhouse and other at the Soil Testing Lab, both belonging to the College of Agriculture, Central University. The objective was to evaluate the effect lime amendments to control soil acidity on a soil representative from the red acid soils classified as Oxic Dystrudepts at the Loreto canton, Orellana province. Soil presented an initial 5.2 pH, and values of 0.52 cmolc kg<sup>-1</sup> of exchangeable acidity (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>) and 0.39 cmolc kg<sup>-1</sup> of exchangeable aluminum (Al<sup>3+</sup>). Four amendments (calcium carbonate, dolomite, calcium oxide and magnesium carbonate) and 8 lime rates (0, 1.0, 1.5, 2.9, 3.0, 4.0, 6.0 t ha<sup>-1</sup>) were evaluated. Treatments were replicated 3 times giving a total of 24 experimental units per amendment. The greenhouse experiment was started mixing the lime rates with 2 kg of soils and placing them in plastic pots which were kept at near field capacity for 45 days to allow complete reaction of the liming materials. After this time pots were seeded with wheat (*Triticum vulgare*) and were allowed to grow for 6 weeks. Above ground biomass was harvested to evaluate fresh and dry matter accumulation. Soils samples from the pots after harvest were used for the lab analysis determination of pH, H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> and Al<sup>3+</sup>. A complete randomized design was used for statistical evaluation. Greenhouse results indicated that the higher mean biomass yields of the indicator plant were obtained with the application of dolomite and calcium carbonate. It was also observed that the higher accumulation of biomass was obtained with amendment rates ranging from 1.0 to 1.5 t ha<sup>-1</sup>. Soil analysis demonstrated that pH values increased as lime rate increased, but the opposite was observed for H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> and Al<sup>3+</sup>, however, only the lower rates agreed with the rates that produced the higher yields. Graphic analysis of the pH with H<sup>+</sup> and pH with Al<sup>3+</sup> interactions showed the same tendencies. All this information documented the dynamics of the changes promoted by the addition of the amendments on biomass accumulation and soil properties and, in indirect form, the right rate of the amendment, but this information is not enough to deliver a rate recommendation fitted for every particular soil. It was proposed to use the method developed by Kamprath using the initial values of H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> to be plugged in the following formula: CaCO<sub>3</sub> (t ha<sup>-1</sup>) = 2.0 x cmolc of H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> kg<sup>-1</sup> of soil. When the numbers were plugged the result was CaCO<sub>3</sub> (t ha<sup>-1</sup>) = 2.0 x 0.52 cmolc of H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> kg<sup>-1</sup> of soil ≈ 1 t ha<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>. This formula can then be used for all the acid soils with the same characteristics as the soil incubated at the greenhouse.

**Keywords:** exchangeable aluminium, amendments, tropical soils, incubation.

## 1. Introducción

El clima y el material parental son los principales factores que han definido la gran diversidad de suelos del Ecuador. Existen suelos rojos tropicales típicos, suelos más jóvenes dominados por arcillas tipo 2:1 y suelos derivados de cenizas y otros materiales volcánicos. Generalmente, los suelos viejos (que no se desarrollan sobre material volcánico) son ácidos, de baja fertilidad y alto contenido de aluminio intercambiable (Al<sup>3+</sup>) y están ubicados en las zonas de mayor precipitación del país como Esmeraldas y la zona oriental del Ecuador (Espinosa, 2008; Zebrowski & Sourdat, 1997).

Parte de esos suelos ácidos de la Amazonía ecuatoriana están localizados en el cantón Loreto, provincia de Orellana, donde predominan suelos clasificados como Inceptisoles. Sin embargo, un área que ocupa una superficie de 143.857 ha está dominada por Inceptisoles con características óxicas (Oxic Dystru-

depts) desarrollados sobre cuarzo, lutita y chert en una matriz areno-limosa de areniscas con intercalaciones de lutitas rojas, grises y verdes. Los análisis de laboratorio indican, en efecto, que éstos son suelos de pH ácido, con niveles bajos de materia orgánica (MO), baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y mediana saturación de bases (SB) (Fassbender & Bornemisza, 1987; SIGTIERRAS, 2011).

La acidez del suelo se origina por la presencia de iones Al<sup>3+</sup> e hidrógeno (H<sup>+</sup>). La reducción del pH afecta las características químicas y biológicas del suelo, reduce el crecimiento de las plantas y disminuye la disponibilidad de nutrientes como calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y potasio (K). Esto a su vez favorece la acumulación de elementos tóxicos para las plantas como Al<sup>3+</sup> y manganeso (Mn) (Bertsch, 1998; Sumner & Pavan, 2005). Esta condición se genera por múltiples causas que van desde la génesis hasta el manejo del suelo. La meteorización de ciertas rocas primarias en largos periodos

geológicos y los procesos de pérdida de bases por lixiviación son las causas principales de la acidez de los suelos en regiones tropicales como los de la zona de Loreto en la Amazonía ecuatoriana (Zebrowski & Sourdat, 1997).

El encalado constituye la forma más efectiva de corregir los problemas de acidez en los suelos de bajo pH. Esta práctica agronómica se basa en la aplicación de sales básicas que neutralizan la acidez causada por la presencia de  $Al^{+3}$  e  $H^+$  en el suelo. La decisión de encalar el suelo debe considerar el tipo de enmienda a utilizarse, además de la época, dosis y método de aplicación (Espinosa & Molina, 1999; Fageria & Baligar, 2008). Esta práctica estimula el crecimiento de la planta al reducir la toxicidad del Al y Mn e incrementar la disponibilidad de nutrientes como el Ca, N, P y molibdeno (Mo) (Espinosa & Molina, 1999).

En el cantón Loreto se han incorporado apreciables cantidades de tierra al uso agrícola luego de la eliminación del bosque. Estas tierras están cultivadas con una variedad de especies perennes y anuales que crecen en suelos ácidos con los consecuentes problemas asociados a la toxicidad de  $Al^{+3}$ . El uso de enmiendas como carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ) es común en la zona, sin embargo, no existe información precisa sobre las dosis requeridas para eliminar los problemas de acidez, en consecuencia, el uso de estas enmiendas es anárquico y su efecto no es consistente. El control de la acidez mediante el uso adecuado de enmiendas puede ser una herramienta básica para desarrollar una agricultura rentable y amigable con el ambiente que haga uso eficiente del suelo y que reduzca o elimine la incorporación de más bosque al uso agrícola. Para lograr información básica sobre fuentes y dosis de enmiendas eficientes y de acción inmediata, se condujo esta investigación donde se evaluó el efecto de la aplicación de cuatro enmiendas a diferentes dosificaciones sobre el crecimiento de una planta indicadora (trigo *Triticum vulgare*) en el invernadero.

## 2. Materiales y métodos

La fase de campo de este experimento se condujo en un invernadero del Campo Académico Docente Experimental “La Tola” (CADET) de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador ubicado en el barrio La Morita, parroquia Tumbaco, Cantón Quito, provincia de Pichincha. El predio está localizado a  $0^{\circ}13'46''$  de latitud sur

y a  $78^{\circ}22'00''$  de longitud oeste. El invernadero es un ambiente protegido que posee riego controlado. La fase de laboratorio se la realizó en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador ubicado en la Ciudadela Universitaria Cantón Quito, Parroquia Santa Prisca, Barrio la Gasca.

Mediante el uso de mapas y con la colaboración de la agencia del MAGAP en Loreto se ubicó un sitio que se cultiva con maíz y que tiene problemas de acidez. El suelo está clasificado como Oxic Dystrudepts (Sánchez et al., 2017). Se tomaron muestras en el sitio y se procedió a determinar el pH con un potenciómetro portátil para asegurarse que en realidad el suelo tenía pH ácido. Posteriormente se recolectó suficiente material de la capa superficial del suelo (0-20 cm) para obtener el sustrato para las prueba de incubación en el invernadero. El suelo recolectado se transportó al invernadero del CADET donde se procedió a secarlo y tamizarlo.

Se utilizó una muestra de suelo seco y tamizado y se procedió a la determinación de pH, acidez intercambiable y  $Al^{+3}$  que representan los valores de las condiciones de acidez natural del suelo antes de incorporar las enmiendas. Los análisis se realizaron utilizando las metodologías propuestas por el laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador (Espinosa et al., 2014).

En el invernadero se condujo la prueba de incubación para determinar el punto de neutralización de la acidez del suelo utilizando las cuatro fuentes de enmiendas: carbonato de calcio, dolomita, óxido de calcio y carbonato de magnesio. Se aplicaron ocho dosis de cada una de las enmiendas (0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 y  $6.0 \text{ t ha}^{-1}$ ) con un total de 32 tratamientos y tres repeticiones. Se pesaron 2 000 g de suelo, que se colocaron en cada una de las macetas y se procedió a incorporar completamente las dosis respectivas de las enmiendas a evaluarse. Luego se procedió a regar el suelo de las macetas hasta llegar a capacidad de campo, cuidando que los suelos permanezcan en esta condición durante el tiempo de incubación (45 días) que es el tiempo necesario para que las enmiendas reaccionen completamente en el suelo.

Inmediatamente después de terminar la prueba de incubación se sembraron 15 semillas trigo (*Triticum vulgare*) en cada una de las macetas. A las por dos semanas se ralearon las plantas dejando solo 10 por cada maceta. Las plantas se dejaron crecer por 45 días, al final de este periodo se cosechó la bioma-

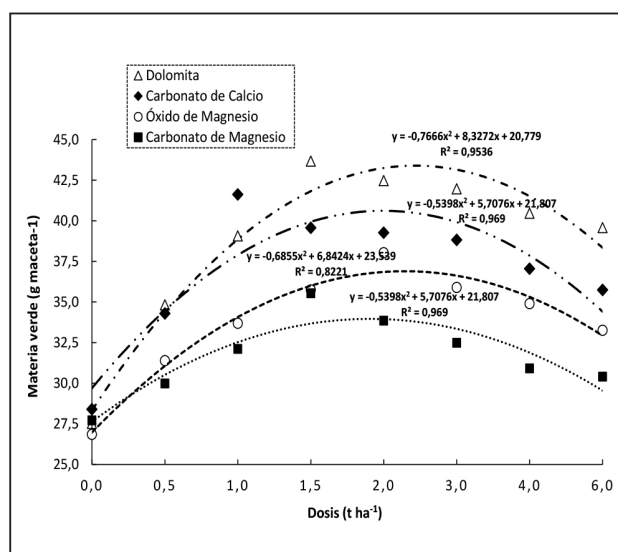
sa y se determinó el peso de materia verde y materia seca total. Luego de la cosecha de la planta indicadora se procedió a secar los suelos de las macetas y se tomó una muestra de 300 g de cada una de ellas para hacer los mismos análisis de laboratorio que se hicieron en el suelo sin tratamiento.

Para la prueba de invernadero se utilizó un diseño Completamente al Azar (DCA). Los factores a estudiarse fueron ocho dosis (0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 y 6.0 t ha<sup>-1</sup>) de las cuatro fuentes de enmiendas (carbonato de calcio, dolomita, óxido de magnesio y carbonato de magnesio). Para cada enmienda se realizaron las siguientes regresiones y correlaciones: dosis vs materia verde, dosis vs materia seca, dosis vs pH, dosis vs acidez intercambiable, dosis vs Al<sup>+3</sup>, pH vs acidez intercambiable y pH vs Al<sup>+3</sup>. Además, se realizó el cálculo de la dosis de cal utilizando la fórmula de Kamprath (1894b) para determinar si este procedimiento funciona bien en el suelo estudiado.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Prueba de invernadero con la planta indicadora

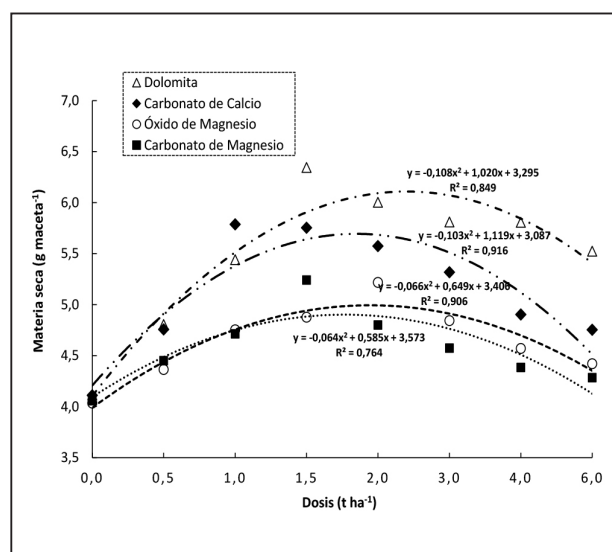
La respuesta a la aplicación de las dosis fue altamente significativa en para todas las enmiendas.



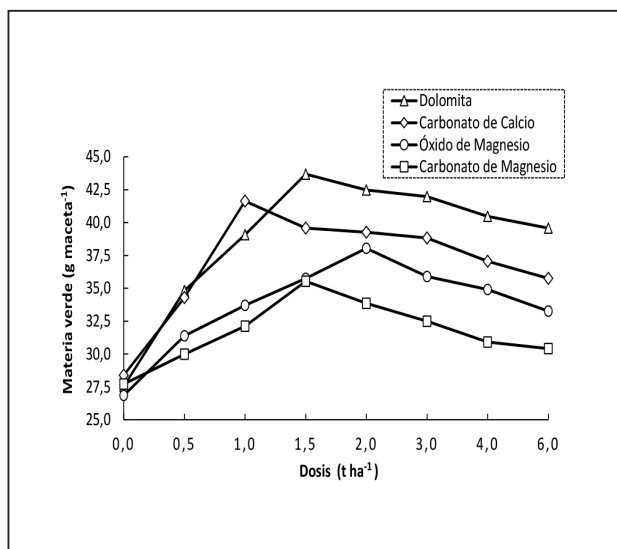
**Figura 1.** Efecto de la aplicación de dosis de diferentes enmiendas para controlar la acidez en la producción de materia verde de un suelo ácido de Loreto, Orellana, incubado en el invernadero del CADET.

Las regresiones que relacionan las dosis de enmiendas con la de materia verde y materia seca se presentan en las Figuras 1 y 2. El ajuste de todas las curvas fue de tipo cuadrático con altos coeficientes de determinación, indicando que el efecto de las enmiendas es efectivo hasta cierta dosis y que luego se presentan problemas de sobreencalado que reducen los rendimientos de biomasa fresca y biomasa seca. Esta respuesta a la aplicación de dosis crecientes de materiales de encalado ha sido documentada por varios investigadores en zonas con suelos ácidos de los trópicos (Osorno, 2012; Osorno & Osorno, 2010; Smyth, 2012).

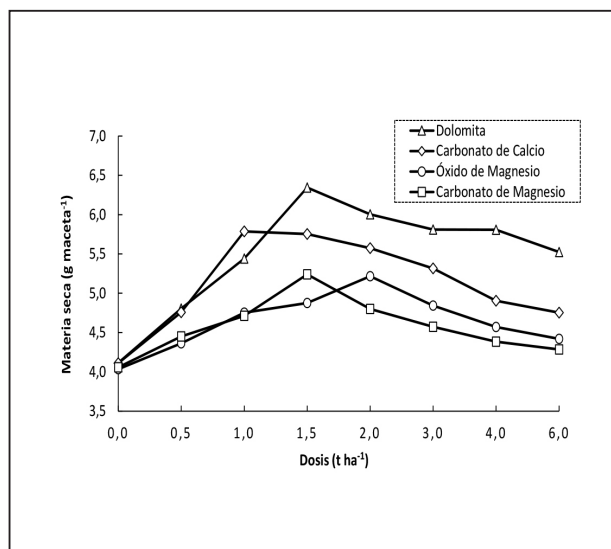
Por otro lado, también se observa en la acumulación de materia verde que la utilización de dolomita produjo la mayor cantidad de biomasa con un promedio general de 38.7 g maceta<sup>-1</sup>, seguido por el carbonato de calcio, óxido de magnesio y carbonato de magnesio con 36.85, 33.73 y 31.63 g maceta<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 1). Cuando la biomasa se homogeniza a un mismo porcentaje de humedad con el secado se observa que la mejor respuesta continuó obteniéndose con la utilización de dolomita que acumuló un promedio de 5.48 g de biomasa maceta<sup>-1</sup>, sin embargo, el carbonato de calcio ocupó en segundo lugar con 5.12 g maceta<sup>-1</sup>, seguido ahora por óxido de magnesio y el carbonato de magnesio con 4.63 y 4.56 g maceta<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 2).



**Figura 2.** Efecto de la aplicación de dosis de diferentes enmiendas para controlar la acidez en la producción de materia seca de un suelo ácido de Loreto, Orellana, incubado en el invernadero del CADET.



**Figura 3.** Efecto de la aplicación de dosis de diferentes enmiendas para controlar la acidez en la producción de materia verde de un suelo ácido de Loreto, Orellana, incubado en el invernadero del CADET tomando en cuenta solamente las líneas de tendencia.



**Figura 4.** Efecto de la aplicación de dosis de diferentes enmiendas para controlar la acidez en la producción de materia seca de un suelo ácido de Loreto, Orellana, incubado en el invernadero del CADET tomando en cuenta solamente las líneas de tendencia.

La mejor respuesta a la aplicación de dolomita probablemente se debe a que este material entrega también Mg al suelo. Los suelos ácidos de Loreto, clasificados como Oxíc Dystrudepts, generalmente tienen contenidos bajos de este nutriente (Sánchez et al., 2017), de modo que la aplicación de dolomita no solo elimina el  $Al^{+3}$  sino que también entrega Mg al suelo situación que mejora la nutrición del cultivo y el balance de cationes en el suelo (Abreu Jr. et al., 2003; Fageria & Baligar, 2008). Al respecto, Bose et al. (2011) y Sancho and Molina (2016) encontraron en sus experimentos de hidroponía que la absorción de Mg disminuye apreciablemente con la presencia de  $Al^{+3}$  en la solución debido probablemente a la competencia por los sitios de absorción y transportadores de la membrana del citoplasma en las células de la raíz.

En los últimos años se ha popularizado la utilización de carbonato de calcio y, en menor proporción, la de dolomita en las áreas productoras de maíz del cantón Loreto por recomendación de los programas de mejoramiento de la producción del MAGAP (Vallejo, 2015). Los datos obtenidos en este estudio ratifican que las mejores fuentes para ese tipo de suelo son, en efecto, carbonato de calcio (cal agrícola) y dolomita. El carbonato de magnesio y el óxido de magnesio demostraron ser menos efectivos para controlar la acidez y producir biomasa (Figuras 1 y 2). Sin embargo, la determinación de la cantidad de material a aplicarse para encalar los suelos ácidos de la zona es todavía

anárquica. Si solamente se utilizaran los datos de las regresiones de producción materia verde y particularmente los datos de materia para determinar la dosis de carbonato de calcio y dolomita se podrían recomendar dosis de 2.0 a 2.5 t ha<sup>-1</sup>, pero el ajuste de valores que logra el cálculo de la regresión para producción de biomasa llevaría a sobre estimar las dosis de enmienda requerida. Si se utiliza solamente el gráfico de la tendencia de la acumulación de materia verde y materia seca se logra una mejor aproximación a la dosis real como se puede observar en las Figuras 3 y 4. En este caso solamente se requerían entre 1.0 y 1.5 t ha<sup>-1</sup> de material para lograr el efecto deseado ya que se observa claramente que dosis mayores reducen la acumulación de biomasa

### 3.2 Análisis de Laboratorio

La confirmación de que efectivamente el encalado ha controlado los problemas de acidez se logra midiendo el pH, la concentración de la acidez intercambiable y el Al intercambiable. De igual forma existieron diferencias altamente significativas para las dosis de todas las enmiendas evaluadas.

#### 3.2.1 Cambios en el pH

Los cambios de pH con las diferentes enmiendas se pueden evidenciar en las curvas de las diferentes enmiendas utilizadas que aparecen en la Figura 5.

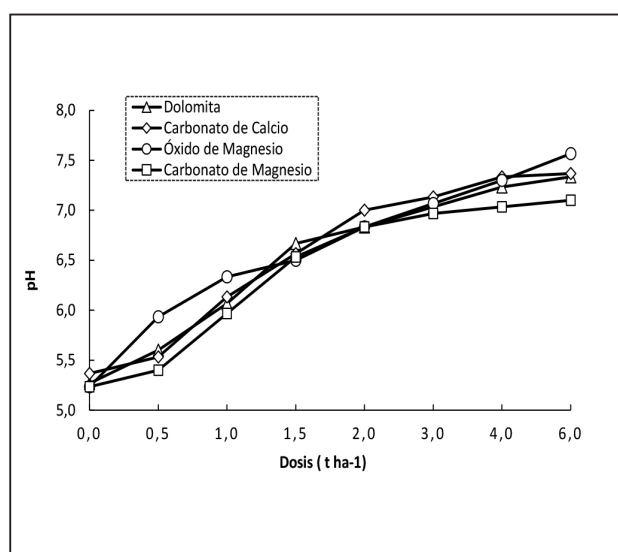
De nuevo, la representación gráfica de las líneas de tendencia explica mejor el efecto de las dosis de las enmiendas sobre el pH antes que las regresiones. En ellas se puede apreciar que luego de 45 días de la incubación la reactividad de las enmiendas tuvo similares comportamientos con respecto incremento de pH.

Se considera que el suelo estudiado es de carga variable y en condiciones normales no se esperaría incrementos tan marcados en el pH como los encontrados en este estudio. Esto probablemente se debe a que las dosis altas de las enmiendas lograron sobreponerse sobre la capacidad tampón del suelo. Como se vio anteriormente, el comportamiento de la respuesta a las enmiendas en términos de acumulación de biomasa indicaba claramente que las dosis para lograr el mayor rendimiento se encontraban entre 1.0 y 1.5 t ha<sup>-1</sup> de enmienda, dosis que serían suficientes para elevar el pH a valores que permitan eliminar los problemas de acidez y precipitar el Al<sup>3+</sup> tóxico. Datos similares fueron reportados por Vélez (2015) en suelos de Loja en un trabajo similar de incubación. Los datos de la Figura 5 demuestran que las dosis de 1.0 a 1.5 t ha<sup>-1</sup> de las enmiendas elevaron el pH a valores de alrededor de 6.0.

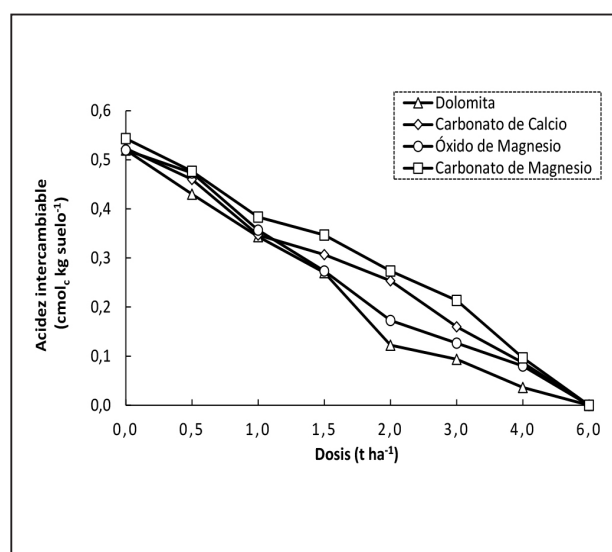
### 3.2.2 Acidez intercambiable

El comportamiento de la acidez intercambiable (H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>) del suelo de Loreto, Orellana, en respuesta

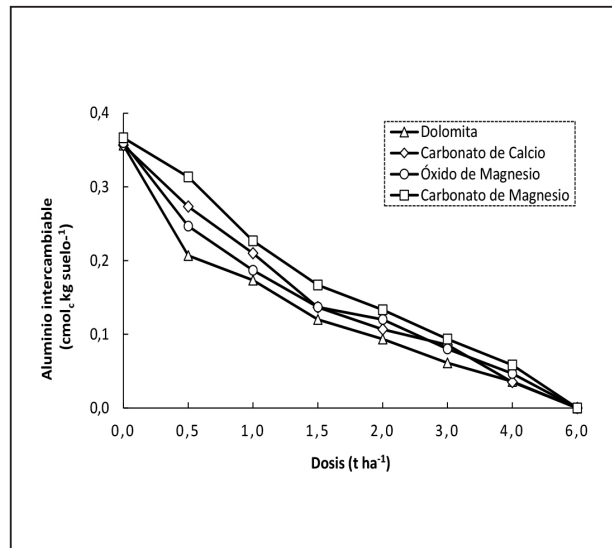
a la aplicación de dosis de las enmiendas evaluadas se presenta en la Figura 6. Contrario a lo que sucede con el pH, la concentración de la acidez intercambiable se reduce a medida que se incrementan las dosis de enmienda. Este comportamiento es similar para todas las enmiendas y ha sido ampliamente documentado en suelos tropicales (Cravo et al., 2012; De Mello Prado & Natalle, 2004; Fageria & Baliagar, 2008; Kamprath, 1984a; Osorno, 2012; Smyth, 2012). Es evidente que las dosis altas de cal (3.0, 4.0 y 6.0 t ha<sup>-1</sup>) de las enmiendas eliminan un alto porcentaje de la acidez intercambiable, sin embargo, de lo observado en la acumulación de biomasa (Figuras 3 y 4) se puede concluir que concentraciones bajas de acidez intercambiable no afectaron el crecimiento de la planta indicadora. Se debe recordar que este parámetro mide la acidez (H<sup>+</sup>) propia de suelos de bajo pH y el H<sup>+</sup> producido por la hidrólisis del Al<sup>3+</sup> en las mismas condiciones, es decir, una parte de la acidez es inducida por la presencia de Al<sup>3+</sup>. Se conoce que el H<sup>+</sup> per se no afecta la planta sino a valores de pH inferiores a 3.0 y que es la toxicidad de el Al<sup>3+</sup> lo que realmente afecta la planta (Batista et al., 2012; Espinosa & Molina, 1999; Osorno, 2012; Zapata, 2004). Aparentemente, las dosis entre 1.0 y 1.5 t ha<sup>-1</sup> neutralizan una buena proporción del Al<sup>3+</sup> y eliminan su efecto nocivo para la planta indicadora.



**Figura 5.** Efecto de las dosis de enmiendas en el pH de un suelo de Loreto, Orellana, incubado en el invernadero de CADET



**Figura 6.** Efecto de las dosis de enmiendas en la acidez intercambiable de un suelo de Loreto, Orellana, incubado en el invernadero de CADET.



**Figura 7.** Efecto de las dosis de enmiendas en el aluminio intercambiable de un suelo de Loreto, Orellana, incubado en el invernadero de CADET.

### 3.2.3. Aluminio intercambiable

En suelos ácidos tropicales el principal factor limitante para la producción de cultivos es la presencia de  $Al^{+3}$  en el suelo a valores de pH menores a 5.5. Este es sin duda el caso de los suelos de una buena parte del cantón Loreto en la provincia de Orellana (Sánchez et al., 2017; SIGTIERRAS, 2011). Los problemas de hacen evidentes en los principales cultivos como café, naranjilla, cacao y en la nueva producción de maíz de la zona. Los efectos de la aplicación de dosis de enmiendas sobre el contenido de  $Al^{+3}$  en el suelo de Loreto incubado en el invernadero del CADET se presentan en la Figura 7.

Como era de esperarse, el comportamiento de las de las curvas de  $Al^{+3}$  fue similar al de acidez intercambiable ( $H^{+}+Al^{+3}$ ), sin embargo, se observa una drástica reducción en el contenido de  $Al^{+3}$  hasta las dosis de entre 1.0 y 1.5 t ha<sup>-1</sup>, luego la reducción es de menor magnitud.

Nuevamente, esto concuerda con los resultados de la producción de biomasa de la planta indicadora debido a que la precipitación del  $Al^{+3}$  como gibsita [ $Al(OH)_3$ ] mejora el ambiente radicular y las planta indicadora pudo expresar su mejor rendimiento (Osorno, 2012; Osorno & Osorno, 2010; Zapata, 2004). Esta situación concuerda con las dosis de 1.0 a 1.5 t ha<sup>-1</sup> en todas las enmiendas.

### 3.3. Efecto de las Interacciones

El suelo ácido utilizado en las pruebas de incubación y en la prueba de producción de biomasa, representativo de la zona de suelos ácidos de Loreto, tenía originalmente un pH de 5.2, una concentración de acidez intercambiable ( $H^{+}+Al^{+3}$ ) de 0.52 cmol kg<sup>-1</sup> y un contenido de aluminio intercambiable ( $Al^{+3}$ ) de 0.36 cmolc kg<sup>-1</sup>. La mayoría de los suelos de Loreto están clasificados como Oxic Dystrudepts (Sánchez et al., 2017; SIGTIERRAS, 2011), es decir, son Inceptisoles que todavía no se han meteorizado lo suficiente para llegar a ser Ultisoles u Oxisoles, sin embargo, el proceso está en marcha y le ha conferido ya al suelo características óxicas (pH bajo y suficiente contenido de  $Al^{+3}$  para limitar el crecimiento de los cultivos) (Soil Survey Staff, 2006; Zebrowski & Sourdat, 1997). Por otro lado, este estudio ha demostrado, a través de la prueba de incubación, que la dolomita y el carbonato de calcio son las enmiendas que promovieron la mayor producción de biomasa de la planta indicadora en dosis que varían entre 1.0 y 1.5 t de enmienda ha<sup>-1</sup>. Los datos obtenidos también sugieren que la aplicación de las mismas cantidades de enmienda eliminaba suficiente de la acidez intercambiable y aluminio intercambiable para promover la mejor producción de biomasa. El objetivo final de este estudio es encontrar suficiente información que permita hacer una recomendación simple y económica de la dosis de enmienda a aplicar para controlar los problemas de acidez de los suelos de Loreto. Las in-

teracciones de los datos de pH con los de acidez intercambiable y aluminio intercambiable presentadas en las Figuras 8, 9, 10 y 11 para dolomita y carbonato de calcio demuestran que la recomendación de encalado debería, en efecto, estar alrededor de las cantidades de enmienda que lograron la mayor cantidad de biomasa.

### 3.4. Propuesta de cálculo de la dosis de enmiendas en Loreto

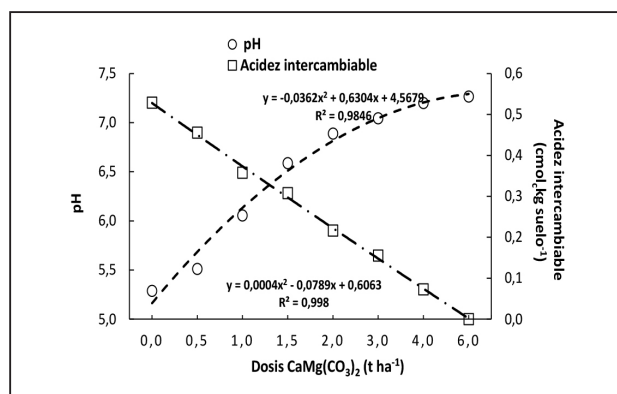
La promoción de la agricultura en el cantón Loreto en los últimos años, particularmente hacia la producción de cultivos perennes como café, cacao y naranjilla y cultivos anuales como maíz, ha encontrado que uno de las principales limitantes de la producción es la acidez del suelo (Granda, 2005). Como se ha indicado anteriormente, existe poca información documentada que soporte la recomendación de aplicación de enmiendas para corregir los problemas de acidez de los suelos de la zona de producción de cultivos en Loreto. Además, es también conocido que las principales enmiendas que se comercializan en el cantón Loreto son el carbonato de calcio (cal agrícola) y la dolomita (Guajala, 2016). Este proyecto de investigación ha documentado la dinámica de los procesos de control de acidez durante el periodo de reacción de cuatro enmiendas en un suelo que representa las condiciones generales de la mayoría de suelos ácidos del cantón Loreto. Esta información no deja dudas que las dosis de enmienda a aplicarse están alrededor de 1.0-1.5 t ha<sup>-1</sup>, sin embargo, es necesario encontrar una forma práctica de determinar cual es la dosis de enmienda para cada lote de producción en particular. Partiendo de que siempre será necesario hacer un análisis para determinar el pH del suelo, se observa en las Figuras 11 y 12 que el mejor parámetro, complementario al pH, que permite determinar la dosis de cal en el contenido de Al+3 en el suelo.

Kamprath (1984a) en su búsqueda de métodos fáciles y efectivos para determinar la dosis de enmienda necesaria para controlar los problemas de acidez en suelos tropicales propuso utilizar solamente cantidades de enmienda que precipiten el Al+3 y eliminen su efecto tóxico. Esto ante la pretención de utilizar los métodos de recomendación de enmiendas utilizados para controlar acidez en suelos de carga permanente de Nortemérica (Espinosa & Molina, 1999; Fageria & Baligar, 2008; Smyth, 2012) que generan recomendaciones de altas cantidades de cal que no son necesarias en suelos tropicales de carga variable. La propuesta de Kamprath se resume en la siguiente fórmula:

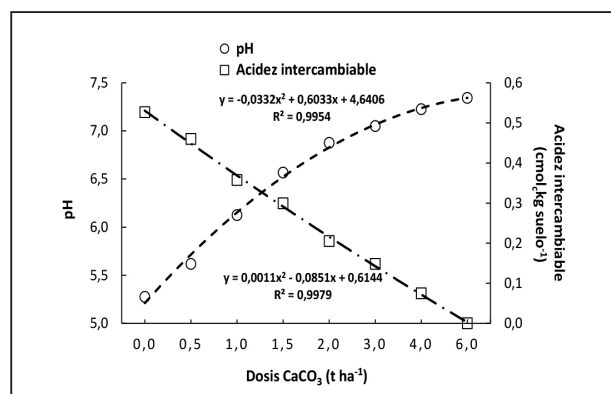
$$\text{CaCO}_3 \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = \text{Factor} \times \text{cmolc Al}^{+3} \text{ kg}^{-1} \text{ de suelo} \quad (1)$$

El factor puede ser 1.5 o 2.0 dependiendo de las características del cultivo y el tipo de suelo. El factor puede ser modificado con la experiencia obtenida utilizando este factor en condiciones específicas de suelo. Este método de determinación de los requerimientos de cal es muy difundido en áreas tropicales de suelos rojos (Espinosa & Molina, 1999; Osorno, 2012; Osorno & Osorno, 2010) como los suelos de Loreto, Ecuador.

Siempre ha sido problemático para los agricultores el recolectar muestras de suelo y enviarlas al laboratorio, en especial en zonas como la Loreto. Una de las limitantes era la dificultad de enviar la muestra a sitios lejanos. Al momento, la disponibilidad de una buena carretera y la cercanía de del laboratorio de suelo en la Estación Experimental Central de la Amazonía del INIAP ubicada en el sector San Carlos, cantón Joya de los Sachas abre la oportunidad para que los técnicos asesores del MAGAP y los propios productores puedan enviar muestras para análisis con el fin de disponer de la información necesaria para la aplicación de cal.

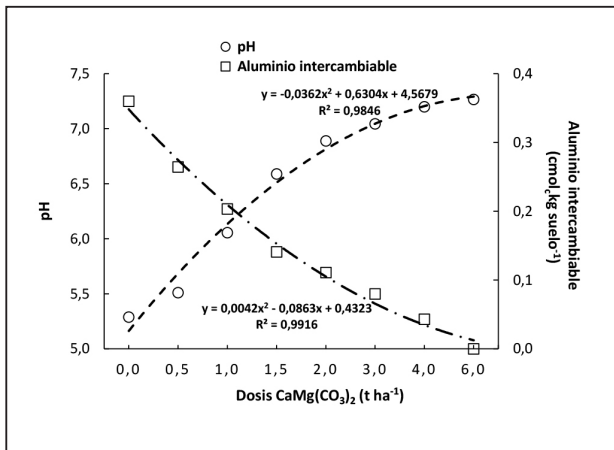


**Figura 8.** respuesta Interacción entre pH y acidez intercambiable como a la aplicación de dosis de dolomita en el suelo de Loreto, Orellana, incubado en el invernadero del CADET.



**Figura 9.** Interacción entre pH y acidez intercambiable como respuesta a la aplicación de dosis de carbonato de calcio en el suelo de Loreto, Orellana, incubado en el invernadero del CADET.





**Figura 10.** Interacción entre pH y aluminio intercambiable como respuesta a la aplicación de dosis de dolomita en el suelo de Loreto, Orellana, incubado en el invernadero del CADET.

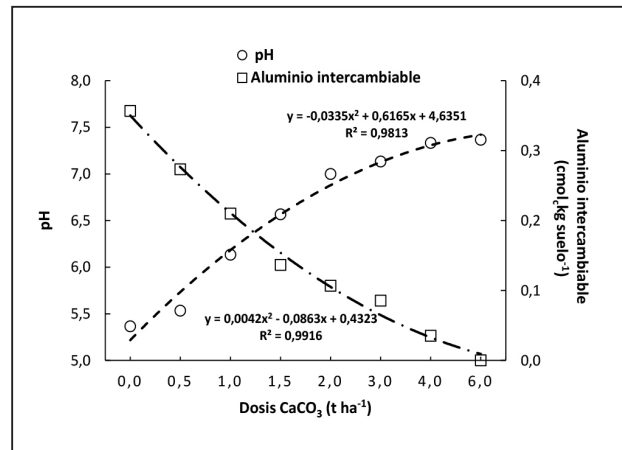
Como se dijo anteriormente, los datos de las Figuras 9, 10, 11 y 12 demuestran el contenido de  $\text{Al}^{+3}$  predice mejor la dosis de enmienda que produce la mayor acumulación de biomasa de la planta indicadora. Éste sería el parámetro a utilizarse en la fórmula de Kamprath, sin embargo, esto requiere de una doble titulación del extracto obtenido con la agitación con  $\text{KCl}$  1N y este paso no está incluido en la rutina de los laboratorios de suelos de Ecuador que solamente determinan acidez intercambiable. Entonces se propone utilizar el contenido de acidez intercambiable como parámetro para el cálculo en la fórmula de Kamprath. De esta forma, el cálculo para el suelo de Loreto, utilizando un factor de 2,0, quedaría de la siguiente forma:

$$\text{CaCO}_3 (\text{t ha}^{-1}) = 2,0 \times 0,52 \text{ cmol}_c \text{ de acidez intercambiable kg}^{-1} \text{ de suelo} = 1 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$$

Las relaciones entre pH, acidez intercambiable, aluminio intercambiable y acumulación de biomasa encontradas en este estudio permiten demostrar que la utilización del método de Kamprath es efectiva para determinar la dosis de cal necesaria para controlar los problemas de acidez de los Inceptisoles óxicos que representan la mayoría de los suelos del cantón Loreto. Los parámetros necesarios son pH (los suelos deben tener pH menor a 5,5 para que necesiten encalado) y acidez intercambiable.

#### 4. Conclusiones

La información desarrollada en el presente estudio



**Figura 11.** Interacción entre pH y aluminio intercambiable como respuesta a la aplicación de dosis de carbonato de calcio en el suelo de Loreto, Orellana, incubado en el invernadero del CADET.

permite presentar las siguientes conclusiones:

- Las pruebas de acumulación de biomasa conducidas en el invernadero en el suelo ácido, representativo de los Inceptisoles óxicos que conforman la mayor parte de suelos del cantón Loreto, demostraron que la mayor acumulación de materia verde y materia seca de la planta indicadora se logró con la utilización de dolomita y carbonato de calcio. Esta son también las fuentes de más uso y las más económicas de la zona. Las otras fuentes evaluadas acumularon menos biomasa, sin embargo, estas fuentes nos son de uso común en la zona por su costo más alto. Las dosis que logran la mayor acumulación de biomasa estuvieron entre 1,0 y 1,5  $\text{t ha}^{-1}$  de enmiendas.
- Los resultados de los análisis de suelos para evaluar el efecto de las dosis de las enmiendas en el comportamiento del pH, acidez intercambiable y aluminio intercambiable demostraron que todas las enmiendas utilizadas tuvieron el mismo comportamiento. Como era de esperarse, el pH se incrementó y los contenidos de acidez intercambiable y aluminio intercambiable se redujeron, sin embargo, fue claro que las dosis altas (2, 3, 4 y 6  $\text{t ha}^{-1}$ ) no eran necesarias para precipitar la mayor parte del  $\text{Al}^{+3}$ , mejorar el ambiente radicular y promover la mayor acumulación de biomasa. Las dosis que logran estos efectos benéficos están de nuevo entre 1,0 y 1,5  $\text{t ha}^{-1}$  de dolomita y carbonato de calcio.
- La evaluación de las interacciones pH - acidez intercambiable y pH - aluminio intercambia-

ble también permite concluir que las mejores dosis para lograr la mayor acumulación de biomasa están entre 1.0 y 1.5 t ha<sup>-1</sup> de dolomita y carbonato de calcio, sin embargo, la interacción con aluminio intercambiable detecta mejor el rango de dosis adecuadas.

- Si bien se logró recolectar toda la información general de soporte que permite llegar indirectamente a la dosis recomendada de enmienda, esto no es suficiente para entregar una herramienta que permita dar una recomendación de la dosis adecuada de la enmienda en suelos particulares. Para esto se probó la propuesta de Kamprath que plantea utilizar la concentración de aluminio intercambiable como principal parámetro de evaluación utilizando la fórmula:

$$\text{CaCO}_3 \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 2.0 \times \text{cmol}_c \text{ de Al}^{+3} \text{ kg}^{-1} \text{ de suelo}$$

Sin embargo, las dificultades para obtener la concentración de Al<sup>+3</sup> en los laboratorios, ya que

este parámetro no está incluido en los análisis de rutina, se propone utilizar la acidez intercambiable en la fórmula. Este parámetro permite obtener una dosis de enmienda que está respaldada por toda la información generada del comportamiento del suelo y la planta indicadora a la aplicación de amplias dosis de enmiendas. La fórmula propuesta es la siguiente:

$$\text{CaCO}_3 \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 2.0 \times \text{cmol}_c \text{ de [H}^+ + \text{Al}^{+3}\text{] kg}^{-1} \text{ de suelo}$$

Esta fórmula puede utilizarse en todos los suelos ácidos de las mismas características del suelo evaluado en el invernadero de CADET. La fórmula con los datos de este suelo quedaría de la siguiente forma:

$$\text{CaCO}_3 \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 2.0 \times 0.52 \text{ cmol}_c \text{ de [H}^+ + \text{Al}^{+3}\text{] kg}^{-1} \text{ de suelo} \approx 1 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$$

## Referencias

- Abreu Jr., C. H., Muraoka, T., & Lavorante, A. F. (2003). Relações entre acidez e propriedades químicas de solos Brasileiros. *Scientia Agricola*, 60(2), 337-343. Retrieved from
- Batista, M., Moscheta, I., Bonato, C., Batista, M., Garcia de Almeida, O., & Inoue, T. (2012). Aluminum in corn plants: Influence on growth and morpho-anatomy of root and leaf. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 37, 177-187.
- Bertsch, F. (1998). *La Fertilidad de los suelos y su manejo*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Bose, J., Babourina, O., & Rengel, Z. (2011). Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants. *Journal of Experimental Botany*, 62(7), 2251-2264.
- Cravo, M., Smyth, J., & Carvalho, E. (2012). Calagem em latossolo amarelo distrófico da Amazônia e sua influência em atributos químicos do solo e na produtividade de culturas anuais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 895-907.
- De Mello Prado, R., & Natalle, W. (2004). Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(10), 1007-1012.
- Espinosa, J. (2008). *Distribución, uso y manejo de los suelos de la Región Andina*. Paper presented at the XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito, Ecuador.
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encaldeo de los suelos*. Quito, Ecuador: IPNI.
- Espinosa, J., Sosa, C., & Rivera, M. (2014). *Manual de Prácticas de Laboratorio, Curso de Edafología*. Quito, Ecuador: Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador.
- Fageria, N., & Baligar, V. (2008). Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. In D. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (pp. 345-399). London: Elsevier.
- Fassbender, H., & Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. San José, Costa Rica: IICA.

- Granda, D. (2005). *Plan de desarrollo estratégico participativo de la provincia de Orellana 2005-2015*. Recuperado de: <http://es.scribd.com/doc/48658216/plan-de-desarrollo-participativo-provincial>.
- Guajala, A. (2016). Comunicación personal. MAGAP, Loreto.
- Kamprath, E. J. (1984a). Crop response to lime on soils in the tropics. In F. Adams (Ed.), *Soil acidity and liming* (pp. 349-368). Wisconsin, USA: ASA.
- Kamprath, E. J. (1984b). *Soil acidity and liming*.
- Osorno, H. (2012). *Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia*. (Trabajo de Grado), Universidad Nacional de Colombia, Colombia-Medellín.
- Osorno, H., & Osorno, L. (2010). Determinación de los requerimientos de cal. *Suelos Ecuatoriales*, 41(1), 29-35.
- Sánchez, D., Merlo, J., Haro, R., & Acosta, M. (2017). Soils from de Amazonia. In J. Espinosa, J. Moreno, & G. Bernal (Eds.), *Soils of Ecuador*. London, England: Springer.
- Sancho, H., & Molina, E. (2016). Efecto del Mg y pH en la reducción de la toxicidad de Al en plantas de banano cultivadas en solución hidropónica. *Siembra*, 3, 20-22.
- SIGTIERRAS. (2011). *Cartografía temática del Cantón Loreto*.
- Smyth, J. (2012). Soil acidity. In P. Ming Huang, Y. Li, & M. Sumner (Eds.), *Handbook of Soil Science. Resource management and environmental impacts* (2nd ed.). USA: CRC Press.
- Soil Survey Staff. (2006). *Keys to soil taxonomy*. Washington: USDA - NRCS.
- Sumner, M., & Pavan, M. (2005). *Alleviating soil acidity through organic matter management*.
- Vallejo, J. (2015). *Producción de maíz fortalece la economía del sector agrícola en Orellana*. Recuperado de: <http://www.elciudadano.gob.ec/la-produccion-de-maiz-fortalece-la-economia-del-sector-agricola-en-orellana/>.
- Vélez, M. (2015). *Efecto de la corrección de acidez y aplicación de herbicidas en la erradicación de la Llashipa (Pteridium arachnoideum)*. (Tesis de Ingeniero Agrónomo), Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Zapata, R. (2004). *La química de la acidez del suelo*. Bogotá, Bogota, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Zebrowski, C., & Sourdat, M. (1997). Los factores de la pedogénesis y los suelos en Ecuador. In A. Winckell, R. Marocco, T. Winter, C. Huttel, P. Pourrut, C. Zebrowski, & M. Sourdat (Eds.), *Los paisajes naturales del Ecuador* (Vol. Condiciones generales del medio natural). Quito, Ecuador: Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica (CEDIG) - IPGH (Sección Ecuador) - ORSTOM (Francia) - IGM.