

**Efecto de dos tipos de cal en el pH del suelo y  
en la producción de sorgo sureño, Zamorano,  
Honduras**

**Roberto Andrés Cruz Calderón  
José Andrés Macal Alvarado**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

# **Efecto de dos tipos de cal en el pH del suelo y en la producción de sorgo sureño, Zamorano, Honduras**

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

Presentado por

**Roberto Andrés Cruz Calderón**  
**José Andrés Macal Alvarado**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2018

## **Efecto de dos tipos de cal en el pH del suelo y en la producción de sorgo sureño, Zamorano, Honduras.**

**Roberto Andrés Cruz Calderón  
José Andrés Macal Alvarado**

**Resumen.** Los suelos ácidos limitan la disponibilidad de nutrientes, por ello es necesario ajustar el pH a ligera acidez, para que los cultivos puedan disponer de todos los nutrientes y evitar la toxicidad del aluminio. Las enmiendas calcáreas corrigen el pH de los suelos ácidos teniendo un efecto positivo en el desarrollo de los cultivos. El objetivo de este estudio fue comparar el efecto de dos fuentes de cal hidratada (del norte y centro de Honduras) y una fuente de cal dolomita sobre el pH del suelo y el rendimiento, en un suelo franco arenoso fuertemente ácido, para producción comercial de sorgo sureño para forraje. Se aplicaron tres dosis de cada cal 1, 1.7 y 2.5 t/ha y el testigo sin cal, con cuatro repeticiones cada tratamiento. Se evaluó: el cambio en pH del suelo a los 40 y 80 días de la aplicación, altura y peso de planta, diámetro del tallo, peso de panoja del sorgo a la cosecha y rendimiento, además de un análisis económico. Se realizó un análisis de varianza y separación de medias por Duncan con un modelo lineal general GLM, usando el programa SAS® 9.4. Las cales hidratada y dolomita incrementaron el pH del suelo en todas las dosis aplicadas. Las cales mejoran el rendimiento del sorgo independiente de la fuente. Una mayor rentabilidad genera el uso de 1.7 t/ha cal hidratada del centro de Honduras.

**Palabras clave:** Enmienda, rendimiento, suelos ácidos, toxicidad.

**Abstract.** Acid soils limit the availability of nutrients, it is necessary to adjust the pH to a slight acidity level in order for the crops to dispose of all the nutrients and to avoid toxicity by aluminum. Calcareous amendments correct the pH of acid soils resulting in a positive effect on the crop's development. The objective of this study was to compare the effect of two hydrated lime sources (from the north and center of Honduras) and a source of dolomite lime over the soil's pH and performance, in a strongly acid sandy loam soil for a commercial production of southern sorghum destined to forage. Three doses of each lime were applied, 1, 1.7, and 2.5 t/ha along with the witness without lime, with four repetitions for each treatment. The change in pH in the soil was evaluated on day 40 and 80 after the application, also the height and weight of the plant; diameter of the stem and of the sorghum's panicle at harvest and yield, additionally an economic analysis was performed. A variance analysis was done along with a mean's separation by Duncan with a general linear model GLM, using the program SAS® 9.4. Hydrated and dolomite lime increased the soil's pH. Limes improve the performance of the sorghum independently of the source. The usage of 1.7 t/ha of hydrated lime from the center of Honduras creates a greater profitability.

**Key words:** Acid soils, amendment, toxicity, yield.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros y Figuras .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>15</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>16</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>17</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Concentración de carbonato de calcio, carbonato de magnesio equivalente químico de carbonato de calcio, carbonato de magnesio y total de las fuentes de cal aplicadas al suelo en el lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras .....	8
2. Significancia de las fuentes y dosis en la aplicación de cal al suelo y sus interacciones en el pH del suelo a los 0, 40 y 80 días después de aplicación, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras. ....	9
3. Variación del pH en el suelo a los 40 y 80 días después de la aplicación de cal, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.. ....	9
4. Variación del pH en el suelo al día 80 después de la aplicación de cal Dolomítica y cal Hidratada, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras. ....	10
5. Significancia de las fuentes y dosis en la aplicación de cal al suelo y las interacciones en la evaluación de altura de planta, diámetro del tallo, peso de planta, peso de panoja y rendimiento al día 80 después de aplicación de cal, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras .....	12
6. Altura de planta, diámetro del tallo, peso de planta, peso de panoja y rendimiento de forraje, dependientes de las dosis aplicadas, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.....	12
7. Significancia de las fuentes y dosis en la aplicación de cal al suelo y sus interacciones en la evaluación de análisis foliar con respecto a la absorción de calcio y magnesio a los 80 días después de aplicación de cal, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras. ....	13
8. Concentración de magnesio absorbido por la planta dependiente de la dosis de cal aplicada, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras .....	13
9. Calculo de los beneficios netos y tasa marginal de retorno obtenidos con las aplicaciones de cal en los suelos del lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras .....	14
Figuras	Página
1. Ubicación del lote Laguna Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras .....	3
2. Análisis de suelos del lote Laguna, finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras .....	4
3. Resultado del análisis mineral realizado a las diferentes cales .....	5
4. Curvas del cambio de pH del suelo con diferentes dosis de cal evaluadas, durante los 40 y 80 días después de la aplicación, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras. ....	10

# 1. INTRODUCCIÓN

Los suelos ácidos del trópico abarcan cerca del 50 % de los suelos tropicales en el mundo y en general, son considerados infértiles y de baja productividad (Vitorello *et al.* 2005). Al hablar de este tipo de suelo se hace referencia a aquellos que tienen un pH menor al 5.5. Estos suelos presentan entornos no favorables a las plantas y se debe a las toxicidades que genera el aluminio, deficiencias de molibdeno y otras condiciones (FAO 2016). Los suelos están ligados a pérdida en su fertilidad cuando se someten a un alto grado de intensificación y esto se manifiesta en un aumento de la acidez, a pesar que a veces no tiene un efecto directo en la planta, actúa potentemente en la disponibilidad de algunos elementos esenciales (Rodríguez *et al.* 1993).

El grado de acidez o alcalinidad en el suelo, también conocido como la reacción del suelo, es determinado por la concentración de iones de hidrogeno ( $H^+$ ) en la solución de suelo y se expresa con un parámetro denominado potencial hidrogeno (pH) (Tan 1996). Niveles bajos de pH afectan de manera directa las propiedades químicas y biológicas del suelo, además de limitar la disponibilidad de nutrientes para la planta, tales como calcio, magnesio, sodio y potasio, y a su vez favorece la disponibilidad de elementos tóxicos como aluminio y manganeso (Molina 1998). La toxicidad con aluminio es uno de los principales factores negativos, debido a que afecta directamente en el metabolismo de la planta, incluyendo una interferencia en la transferencia de iones y agua a través de la membrana celular de las raíces, las torna pequeñas y delgadas, lo que afecta la habilidad de la planta para captar agua y nutrientes, particularmente el fósforo (Rowell 1994).

Existen varios métodos o formas de enmendar el suelo, pero unos de los más usados es el encalamiento. Los materiales para encalar usualmente son carbonatos, óxidos, hidróxidos, y silicatos de calcio y magnesio. Estos materiales por ser de distinta naturaleza química, su capacidad de neutralización difiere también (Molina 1998). Los más usados para enmendar suelos ácidos son el carbonado de calcio ( $CaCO_3$ ) o cal agrícola y la cal dolomítica  $CaCO_3.MgCO_3$  (Raymon y Miller 1995).

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” (Arévalo y Gauggel 2017). Para aumentar el pH del suelo se debe encalar, 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 2017).

El encalado permite elevar el pH del suelo debido a que el calcio, presente en la cal, desplaza el aluminio y el hidrógeno presentes en los coloides, los que una vez desplazados a la solución del suelo, reaccionan con el carbonato para formar compuestos no dañinos a las plantas (Toledo 2016). La cal hidratada es hidróxido de calcio con fórmula  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Se obtiene a partir de la reacción de óxido de calcio más agua. Cuando es mezclado con el agua, se disuelve y produce iones calcio y oxhidrilos, e incrementa el pH del suelo. Este material reacciona rápidamente con el suelo y en su forma pura presenta 56% de Ca. Mientras que la cal dolomita pura contiene 21.6% de Ca y 13.1% de Mg. Aunque este material reacciona más lento en el suelo que el hidróxido de calcio, tiene la ventaja que suministra Mg, el cual es un elemento que con frecuencia se presenta también deficiente en suelos ácidos (Molina y Espinoza 1999).

La aplicación de estas enmiendas produce efectos beneficiosos tanto en aspectos físicos, químicos y biológicos en el suelo. Reduce la toxicidad de aluminio y manganeso, aumenta la disponibilidad del fósforo, mejora las condiciones para un adecuado desarrollo de la actividad microbiana fijando nitrógeno en el suelo, mejora productividad de cultivos susceptibles a suelos ácidos y mejora la estructura de los suelos (Bernier y Alfaro 2006).

Cada cultivo es más eficiente y se desarrolla de mejor manera dentro de un cierto rango de valores de pH, esto no quiere decir que no pueda vivir fuera de dicho rango dado que algunos cultivos presentan cierta adaptación (Porta y López-Acevedo 2005). Dicho esto, el rendimiento del sorgo es perjudicado por la baja fertilidad de los suelos y también por problemas en su condición física. La mayoría de los nutrientes están disponibles a un pH de entre 6,0 y 7,0 aunque también cabe decir que no es el único factor que los hace disponibles (Sánchez 2009).

El sorgo sureño se adapta a climas secos y calientes, suelos pobres, en condiciones de sequía y exceso de humedad responde mejor que el maíz y tiene una amplia adaptabilidad a diferentes alturas que oscilan desde el nivel del mar hasta los 1,000 msnm, es una variedad de doble propósito es decir puede ser usado en producción de grano como en forraje (Morán Araujo y Villeda 2012). La calidad nutricional es la principal variable de los sorgos de tipo doble propósito, son los que aportan gran cantidad de grano al ensilaje, presentan una calidad nutritiva muy alta aportando valores elevados de proteína bruta (PB) y digestibilidad de la materia seca (DMS) (Carrasco *et al.* 2011). Existen rangos de pH donde existirá tolerancia por parte del cultivo para obtener rendimientos que serán satisfactorios, como también existen rangos óptimos en donde el cultivo desarrollara su máximo potencial en este caso el pH óptimo del sorgo es de 5,5 a 7 (Porta y López-Acevedo 2005).

Los objetivos de este estudio fueron:

- Determinar el efecto de la aplicación de dos tipos de cal hidratada y cal dolomita en un suelo de uso agrícola de Zamorano.
- Determinar el efecto del uso de cal en la producción de sorgo sureño.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio.

El estudio se realizó en la finca San Nicolás, en el lote Laguna en una parcela de aproximadamente 0.1 ha, en la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), Zamorano, ubicada a 30 km al Este de Tegucigalpa, Honduras (Figura 1), la cual se encuentra a una altura de 800 msnm, con una temperatura promedio de 24 °C y una precipitación promedio de 620 mm en los meses de abril a agosto del 2018, tiempo que se realizó el estudio.

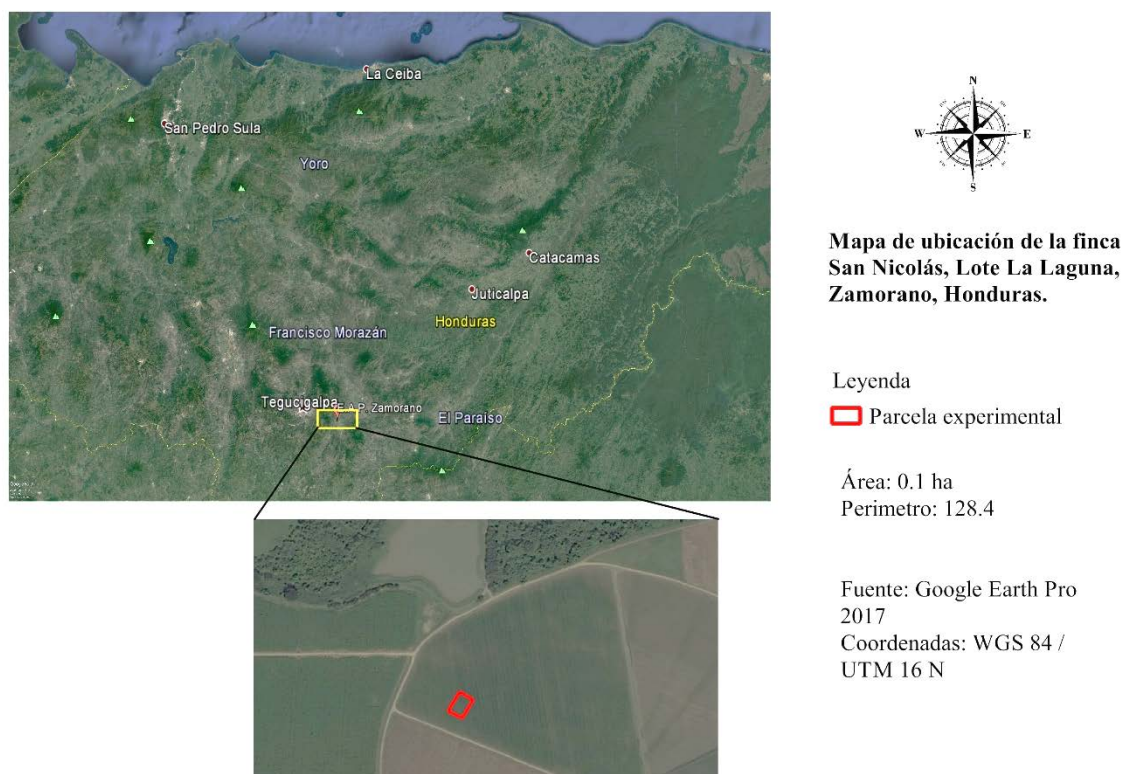


Figura 1. Ubicación del lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.

### Suelos.

En la parcela de 0.1 ha determinada, se realizó un análisis químico de suelo dos semanas antes de empezar con las prácticas culturales y siembra del cultivo. Se procedió a determinar la uniformidad del suelo mediante 15 barrenaciones a lo largo y ancho de todo el lote, a una profundidad de 20 cm correspondiente a la capa arable del suelo, se homogenizaron para



tener una muestra que fue llevada y analizada en el Laboratorio de Suelos y Aguas de Zamorano.

Los resultados determinaron un pH de 5.12, el cual se puede identificar como fuertemente ácido, una textura franco arenoso, niveles moderados de materia orgánica, fósforo y calcio, niveles deficientes de nitrógeno, magnesio y niveles altos de potasio (Figura 2). Dados estos resultados se decidió que el suelo era apto para tratarlo con una enmienda.

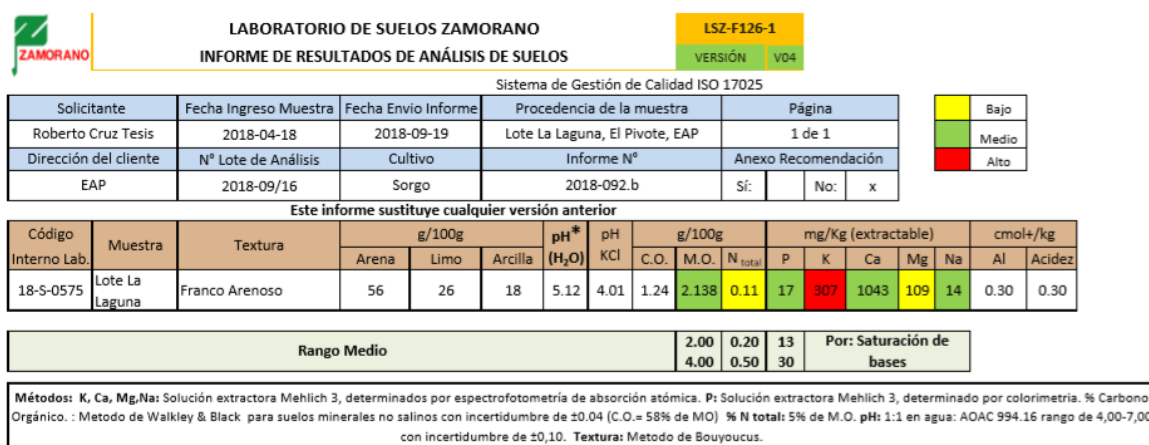


Figura 2. Análisis de suelos del lote Laguna, finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.

### Preparación del suelo.

Se hicieron dos pases con una rastra pesada, con una distancia entre discos de 80 cm. El primer pase con la rastra pesada se realizó en sentido de Oeste a Este en dirección a la pendiente y el segundo pase se orientó en dirección Norte a Sur. Posteriormente, se realizó con una rastra liviana en dirección Norte a Sur. La siembra se realizó en dirección Noreste a Suroeste. Se realizaron dos fertilizaciones, la primera a la siembra y la segunda a los 35 días después de siembra y simultáneamente se aplicó con una cultivadora-fertilizadora.

### Delimitación del área para los tratamientos.

El área usada para el experimento fue de 0.1 ha ubicada en la parte Surestes del lote Laguna de 12.3 ha (Figura 1).

### Características de las cales.

En el laboratorio se midió la granulometría de las cales y se determinó que todas pasaron por la malla de 60 mesh, lo cual equivale a una eficiencia de la cal de 100% (Molina 1998).

Las cales utilizadas fueron: dos tipos cal hidratada Ca(OH)<sub>2</sub> y Cal dolomita CaCO<sub>3</sub>.MgCO<sub>3</sub>, las cuales fueron analizadas en el Laboratorio de suelos y aguas de

Zamorano, mostrando porcentajes de 50.26%, 50.40% y 24.32% de Calcio y 0.52%, 0.57% y 5.86% de Magnesio respectivamente (Figura 3).

Solicitante		Fecha Ingreso Muestra	Fecha Envío Informe	Página
Roberto Cruz/ Jose Andres Macal		2018-08-02	2018-08-25	1 de 1
Dirección del cliente	N° Lote de Análisis	Procedencia de la muestra		Informe N°
EAP, Zamorano	2018-14	Lote Laguna Pivote		2018-212

Código Interno Lab.	Muestra	g/100 g	
		Ca	Mg
18-M-1484	Cal Hidratada R	50.26	0.52
18-M-1485	Cal Hidratada I	50.40	0.57
18-M-1486	Cal Dolomita	24.32	5.86

Metodos (Determinados en Base Húmeda): Ca, AOAC 965.09 determinados por absorcion atomica. S: determinado por colorimetría.
---

Figura 3. Resultado del análisis mineral realizado a las diferentes cales.

**Poder neutralizante (PN) o equivalente químico (EQ).** Es la capacidad de un material para neutralizar la acidez en comparación al poder de neutralización del  $\text{CaCO}_3$  químicamente puro, al cual se le asigna un valor de 100% (Molina y Espinoza 1999).

La ecuación 1 donde el EQ del carbonato de calcio es igual al porcentaje de carbonato de calcio por uno, el cual es el EQ del carbonato de calcio, más el porcentaje de carbonato de magnesio por 1.19, el cual es el EQ de este compuesto a 1.19 veces el EQ del carbonato de calcio.

Con la ecuación 2 se calculó el EQ de las fuentes de cal, donde se multiplica el porcentaje de calcio por la constante 2.5 para obtener el porcentaje de carbonato de calcio y en la ecuación 3 se multiplica el porcentaje de magnesio por la constante 3.5 para obtener el porcentaje de carbonato de magnesio usados en la ecuación 1.

Se calculó el EQ de cada fuente de cal, mediante las ecuaciones 1, 2 y 3.

$$\text{EQ CaCO}_3 = \text{CaCO}_3 (\%) \times 1 + \text{MgCO}_3(\%) \times 1.19 \quad [1]$$

$$\text{CaCO}_3 (\%) = \% \text{ Ca} \times 2.5 \quad [2]$$

$$\text{MgCO}_3 (\%) = \% \text{ Mg} \times 3.5 \quad [3]$$

### Encalado.

Las dosis se establecieron a partir de los resultados de Pérez Castellanos (2016), quien determinó para los suelos de Zamorano la dosis de cal agrícola requerida en función del pH y del porcentaje de arcilla de los suelos. Estas fueron 1, 1.7 y 2.5 t/ha de cal agrícola, ajustándola a la equivalencia de las cales usadas. Para la cal dolomita se utilizó un factor de

ajuste de 0.86 y para la cal hidratada de 0.82. Esto quiere decir que el equivalente a una tonelada de cal agrícola son 820 kg de cal hidratada, u 860 kg de cal dolomita.

La aplicación de cal se realizó 10 días después de la siembra del cultivo, a 15 cm a lado y lado de la línea de siembra y se incorporó usando azadón.

### **Establecimiento del cultivo.**

Se estableció para este lote el cultivo de sorgo sureño destinado a ensilaje para consumo animal. Se definió una densidad de 16 plantas por metro de siembra, con un porcentaje de germinación de 83%, a una distancia de 80 cm entre surco, para un total de 200,000 plantas/ha. En el lote La Laguna, la siembra se realizó a una dirección de NE a SO perpendicular a la pendiente.

El manejo agronómico en el lote, estuvo a cargo de la Unidad de Producción de Sorgo de la EAP. Se realizaron dos fertilizaciones una en la siembra y otra a los 35 días después de siembra con urea (46%-N) y “Fastrac Maicero” (27%-N, 6%- P, 12%- K, 8.6%- Mg, 0.9%- S, 0.4%- Zn, 0.2%- B) aplicando así dosis totales de (N-132, P-11, K-22, Mg-15.5, S-1.62, Zn-0.72, B-0.36, kg/ha). El cultivo se desarrolló entre los meses de abril a agosto del 2018 y tuvo un ciclo de producción de 90 días.

### **Variables del estudio.**

**pH del suelo.** Las medidas de pH se realizaron dos semanas antes de la siembra, al día 50 después de siembra y antes de realizar la cosecha. Se homogenizaron siete submuestras para sacar una muestra por cada unidad experimental con un tubo Hoffer, las cuales fueron enviadas al laboratorio de suelos y agua de la Escuela Agrícola Panamericana para el análisis de pH.

Las variables del cultivo se midieron al momento de la cosecha y se tomaron en 16 plantas por repetición. debido a que se segmentaron las unidades experimentales en dos secciones de 0.5 metros cada una, las cuales se encontraban dentro de los siete surcos que conformaban una unidad experimental.

**Altura de planta y grosor.** La altura de las plantas se tomó en todas las unidades experimentales con la ayuda de una regla de tres metros de altura, esta se midió desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera. El grosor se midió con la ayuda de un pie de rey, en la base del tallo a 2 cm sobre el suelo.

**Peso total de planta y peso de raquis más panoja.** Se cosecharon solo las plantas seleccionas, estas fueron cortadas a la base del tallo con un machete y transportadas en sacos limpios a la Unidad de Granos y Semillas de la EAP donde se pesaron los raquis más panojas y las 16 plantas con la ayuda de una balanza digital.

**Análisis foliar.** Realizó un análisis foliar de macronutrientes a las 16 plantas. Se tomó la tercera hoja de arriba hacia debajo de las plantas seleccionadas, las cuales fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos y Aguas de Zamorano.

**Tratamientos.**

Se aplicaron 12 tratamientos de tres fuentes de cal: cal hidratada (R), cal hidratada (I) y cal dolomita (R), en tres dosis equivalentes a aplicar 1, 1.7 y 2.5 t/ha de carbonato de calcio y un testigo.

**Diseño experimental.**

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar (BCA), con arreglo factorial  $3 \times 4$ , tres tratamientos y cuatro dosis, con cuatro repeticiones cada uno, para un total de 48 unidades experimentales. Cada unidad experimental fue de  $11.2 \text{ m}^2$ , de 2 m de largo  $\times$  5.6 m de ancho, con siete surcos/ unidad experimental. En cada unidad experimental se realizó muestreo a 16 plantas.

**Análisis estadístico.**

Se realizó un análisis de varianza ANDEVA, una separación de medias usando el método Duncan para evaluar la interacción y un modelo lineal general GLM con una probabilidad de ( $P \leq 0.05$ ). Se utilizó el programa “Sistema de Análisis Estadístico” SAS® VERSIÓN 9.4.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **Poder neutralizante o equivalente químico (EQ) de la cal.**

La equivalencia química de la cal dolomita fue 85.2%, es decir un 14.8% menos que el carbonato de calcio. El EQ de la cal hidratada I del norte de Honduras y la cal Hidratada R del centro de Honduras, obtuvieron 127.8 y 128.4%, siendo 27.8 y 28.4% más neutralizante que el carbonato de calcio químicamente puro respectivamente.

Cuadro 1. Concentración de carbonato de calcio, carbonato de magnesio, equivalente químico como carbonato de calcio, carbonato de magnesio y total de tres fuentes de cal aplicadas al suelo en el lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.

<b>Fuentes</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>MgCO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>EQ CaCO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>EQ MgCO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>EQ Total (%)</b>
Cal Dolomita	60.8	20.5	60.8	24.4	85.2
Cal Hidratada I <sup>r</sup>	125.7	1.8	125.7	2.2	127.8
Cal Hidratada R <sup>h</sup>	126.0	2.0	126.0	2.4	128.4

<sup>h</sup>R: Cal proveniente del centro de Honduras, <sup>r</sup>I: cal proveniente del norte de Honduras.

#### **Evaluación de la variable pH del suelo en el lote Laguna.**

**pH Suelo.** Los factores se analizaron en conjunto a los 40 y 80 días después de aplicación, ya que si existió diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el factor dosis al día 40. Además, existió significancia en la fuente y dosis a los 80 (DDA), siendo la interacción fuente  $\times$  dosis en lo único donde no se encontró diferencia significativa a los 40 y 80 días después de aplicación de cal (Cuadro 2).

Cuadro 2. Significancia de las fuentes y dosis en la aplicación de cal al suelo y sus interacciones en el pH del suelo a los 0, 40 y 80 días después de aplicación, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.

Factores	pH	pH
	40 DDA <sup>Ω</sup>	80 DDA
Fuente	Ns	**
Dosis	***	***
Fuente × Dosis	Ns	Ns

<sup>Ω</sup>DDA: Días después de aplicación, \*\*\* diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.0001$ ), \*\* muy significativas ( $P \leq 0.01 - 0.0001$ ), ns: no significativo.

A partir del pH del suelo antes de la aplicación de cal que fue de 5.12, en el tratamiento, sin aplicación de cal, sucede una reducción en el pH del suelo a 40 y 80 días después siembra, debido al efecto de la fertilización nitrogenada, dado que contienen formas de iones de amonio, los cuales en el proceso de nitrificación se convierten en nitratos y liberan  $H^+$  que acidifica el suelo (Muñoz 2016). Con aplicación de cal al suelo en dosis de 1, 1.7 y 2.5 t/ha el pH se comportó de la misma manera a los 40 y 80 días después de la aplicación. Este comportamiento se estima que es posible debido a que hubo efecto de las diferentes dosis (Cuadro 3). El tiempo de reacción de las cales es de uno a tres meses dependiendo de la granulometría, en este caso la eficiencia granulométrica para las cales fue del 100% (Molina y Espinoza 1999).

Cuadro 3. Variación del pH en el suelo a los 40 y 80 días después de la aplicación de diferentes dosis de cal, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.

Dosis	Ph	pH
	40 DDA <sup>Ω</sup>	80 DDA
0	4.96 c <sup>¥</sup>	4.96 c
1	5.33 b	5.43 b
1.7	5.53 a	5.71 a
2.5	5.57 a	5.74 a
R <sup>2</sup>	0.60	0.80
CV	2.70	2.47

<sup>Ω</sup>DDA: Días después de aplicación, <sup>¥</sup>medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ), <sup>μ</sup>R: cal proveniente del centro de Honduras, <sup>π</sup>I: cal proveniente del norte de Honduras.

Al día 80 después de la aplicación de cal la variación de pH por efecto de la cal dolomita fue menor en pH, con respecto a las otras fuentes de cal (Cuadro 4), esto se atribuye a que la cal dolomita tiene reacción más lenta pero un efecto más prolongado con respecto a las otras fuentes de cal (Molina 1998). Además, a que la cal dolomita presentó más de 40% menos de poder neutralizante con respecto a las otras fuentes de cal evaluadas (Cuadro 1).

Cuadro 4. Variación del pH en el suelo al día 80 después de la aplicación de cal Dolomítica y cales Hidratadas, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.

Fuente	pH
	80 DDA <sup>Ω</sup>
Cal Dolomita	5.29 b <sup>¥</sup>
Cal Hidratada R <sup>μ</sup>	5.43 a
Cal Hidratada I <sup>π</sup>	5.59 A
R <sup>2</sup>	0.80
CV	2.47

<sup>Ω</sup>DDA: Días después de aplicación, <sup>¥</sup>medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ), <sup>μ</sup>R: cal proveniente del centro de Honduras, <sup>π</sup>I: cal proveniente del norte de Honduras.

La curva de cambio de pH del suelo del lote Laguna, muestra un cambio drástico del pH inicial 5.12 hasta 5.5 con 1t de cal/ha (Figura 4), lo cual muestra que neutraliza el efecto de acidez, en este caso que genera el aluminio intercambiable que fue de 0.3 cmol/kg (Figura 2). Fassbender (1975), explica que los minerales arcillosos presentan diferentes fuentes de protones como grupos ácidos de las arcillas, entre los que actúa el H<sup>+</sup> a pH menores de 4 y el aluminio intercambiable a pH de 4 a 5.5. Una vez se neutraliza el aluminio intercambiable es necesario neutralizar otros ácidos débiles que provienen del -SiOH y el Al(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup> de los minerales arcillosos (Porta *et al.* 2013). Otras fuentes de acidez débil son los grupos ácidos de la materia orgánica (Fassbender 1975). En este caso dosis mayores a 1 t/ha generaron un cambio de pH menos drástico, por la naturaleza de la acidez débil y la capacidad tampón del suelo, probablemente generada por la materia orgánica (Figura 4).

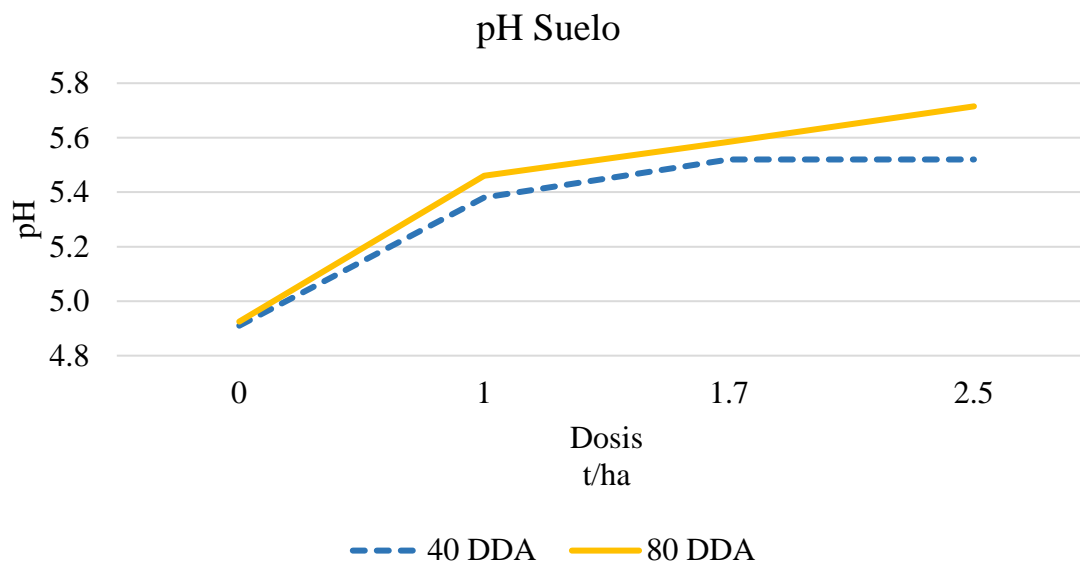


Figura 4. Curvas del cambio de pH del suelo con diferentes dosis de cal evaluadas, durante los 40 y 80 días después de la aplicación (DDA), lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.

#### Evaluación de las variables agronómicas del sorgo sureño.

**Altura y diámetro.** Las dosis de cal son muy significantes en ambas variables ( $P \leq 0.05$ ), pero no se encontró diferencia significativa en la fuente de cal así como en la interacción de la Fuente  $\times$  Dosis (Cuadro 5).

**Peso y rendimiento.** Se encontró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en la dosis de cal para el peso total de plantas, rendimiento y diferencias altamente significantes ( $P < 0.0001$ ) en el peso total de panojas, mientras que no se encontraron diferencias significantes entre fuentes de cal ni en su interacción con la dosis, en las dos variables (Cuadro 5).



Cuadro 5. Significancia de las fuentes y dosis en la aplicación de cal al suelo y las interacciones en la evaluación de altura de planta, diámetro del tallo, peso de planta, peso de panoja y rendimiento al día 80 después de aplicación de cal, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.

Factores	Altura	Diámetro	Peso		Rendimiento
	Planta (m/planta)	Tallo (mm/planta)	Plantas (g/planta)	Panojas (g/panoja)	t/ha
Fuente	ns	ns	ns	ns	ns
Dosis	**	**	*	***	*
Fuente×Dosis	ns	ns	ns	ns	ns

\*\*\* Diferencia altamente significativas ( $P \leq 0.0001$ ), \*\* muy significativa ( $P \leq 0.01 - 0.0001$ ), \*significativa ( $P \leq 0.05$ ), ns: no significativo.

En la variable altura existe diferencia significativa entre las dosis 1.7, 2.5 y el testigo, mas no en la dosis de 1 t/ha (Cuadro 6). En las variables de diámetro del tallo, peso de planta, peso de panoja y rendimientos se puede observar diferencia significativa a partir de la aplicación de 1 t/ha de cal. Esto se le atribuye a que en las unidades experimentales donde se aplicó cal hubo cambio significativo en el aumento de pH, por lo que el cultivo se desarrolló cerca ó dentro del rango óptimo de pH, el cual según (Porta y López-Acevedo 2005) es de 5.5 a 7 y dentro de este rango existe mayor disponibilidad de elementos en el suelo. Además, el encalado mejora absorción de nutrientes, debido a que mejora las condiciones físicas y químicas una vez realizada la enmienda calcárea y produce un ambiente favorable para el desarrollo radicular, por lo que existe una mayor exploración del suelo y permite que la planta absorba los nutrientes, lo cual mejora el desarrollo del cultivo (Molina y Espinoza 1999). También se observó aumento en el peso de panoja con las dosis de encalado, debido a que en pH menos ácidos aumenta la disponibilidad de potasio en el suelo y este elemento interviene en la translocación de almidones al grano, dándole mayor peso (Fageria y Gheyi 1999).

Cuadro 6. Altura de planta, diámetro del tallo, peso de planta, peso de panoja y rendimiento de forraje, dependientes de las dosis aplicadas, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.

Dosis	Altura	Diámetro	Peso		Rendimiento
	Planta (m/planta)	Tallo (mm/planta)	Planta (g/planta)	Panoja (g/panoja)	t/ha
0	2.23 b <sup>‡</sup>	11.38 b	396.81 c	76.69 c	45.19 c
1	2.30 ab	12.58 a	430.50 b	80.88 b	49.14 b
1.7	2.37 a	12.98 a	462.42 a	84.69 a	52.56 a
2.5	2.36 a	13.40 a	460.49 a	83.19 ab	52.78 a
R <sup>2</sup>	0.4	0.3	0.9	0.5	0.9
CV	4	10.3	3	4.1	3

<sup>‡</sup>Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

**Análisis foliar de calcio y magnesio.** El factor dosis presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el magnesio foliar, mientras que en la fuente de cal y en la interacción con las dosis mostró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Significancia de las fuentes y dosis en la aplicación de cal al suelo y sus interacciones en la evaluación de análisis foliar con respecto a la absorción de calcio y magnesio a los 80 días después de aplicación de cal, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.

Factores	Análisis Foliar	
	Calcio	Magnesio
Fuente	ns	ns
Dosis	ns	*
Fuente × Dosis	ns	ns

\*Significativa ( $P \leq 0.05$ ), ns: no significativo.

Las plantas donde se aplicó cal a una dosis de 2.5 t/ha, acumularon más magnesio foliar que con otras dosis más bajas de cal. Además, se encontró que donde no se aplicó la enmienda calcárea, se comportaron igual que donde se aplicó 1 y 1.7 t/ha de cal; esto se atribuye al fertilizante suministrado que aportaba al suelo 15.5 kg de Mg por hectárea (Cuadro 8).

Cuadro 8. Concentración de magnesio absorbido por la planta dependiente de la dosis de cal aplicada, lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.

Dosis	Análisis Foliar
	Mg (%)
0	0.28b <sup>Ω</sup>
1	0.28b
1.7	0.30ab
2.5	0.32a
R <sup>2</sup>	0.50
CV	13.10

<sup>Ω</sup>Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

**Análisis económico.** Los beneficios netos más altos se obtuvieron con la aplicación de cal hidratada R a dosis de 1.7 t/ha, el cual fue de USD 209.04 por hectárea producida y el beneficio menor se dio para la cal hidratada I, a dosis de 2.5 t/ha, debido al costo mayor del insumo aplicado. Las fuentes de cal que presentaron mayor tasa marginal de retorno en comparación a los testigos fueron la cal hidratada del centro de Honduras y cal dolomita a las dosis de 1.7 y 1 t/ha, siendo 2 y 1% mayor, es decir que, por cada dólar invertido, se obtiene un retorno de 0.15 y 0.14 USD respectivamente. Debido a que existe mayor rendimiento y una tasa marginal de retorno mayor para las fuentes cal hidratada del centro de Honduras y cal dolomita a dosis de 1.7 y 1 t/ha, se necesitan 0.14 y 0.07 ha para producir

lo mismo que sin aplicar cal. Esta área se puede aprovechar para sembrar otros cultivos con mayores rentabilidades y obtener un mayor ingreso en la misma área.

Cuadro 9. Cálculo de los beneficios netos y tasa marginal de retorno obtenidos con las aplicaciones de cal en los suelos del lote Laguna, Finca San Nicolás, EAP Zamorano, Honduras.

Actividad	Unidad	Cal Hidratada R (t/ha)					Cal Hidratada I (t/ha)					Cal Dolomita (t/ha)					
		0	1	1.7	2.5	0	1	1.7	2.5	0	1	1.7	2.5	0	1	1.7	2.5
Producción	t/ha	45.3	48.9	52.7	53.1	45.3	49.5	54.5	53.2	45.3	49.0	51.2	51.3				
Ingreso Bruto	\$/ha	1,355.7	1,467.6	1,581.6	1,594.2	1,355.7	1,486.2	1,633.8	1,596.0	1,355.7	1,468.8	1,534.8	1,540.2				
Costo de Producción	\$/ha	1,195.6	1,195.6	1,195.6	1,195.6	1,195.6	1,195.6	1,195.6	1,195.6	1,195.6	1,195.6	1,195.6	1,195.6				
Costo de Cal	\$/ha	0	104	177	260	0	155	264	388	0	97	164.9	242.5				
<b>Costo Total</b>	<b>\$/ha</b>	<b>1,195.6</b>	<b>1,299.6</b>	<b>1,372.6</b>	<b>1,455.6</b>	<b>1,195.6</b>	<b>1,350.6</b>	<b>1,459.6</b>	<b>1,583.6</b>	<b>1,195.6</b>	<b>1,292.6</b>	<b>1,360.5</b>	<b>1,438.1</b>				
<b>Ingreso Neto</b>	<b>\$/ha</b>	<b>160</b>	<b>168</b>	<b>209</b>	<b>139</b>	<b>160</b>	<b>136</b>	<b>174</b>	<b>12</b>	<b>160</b>	<b>176</b>	<b>174</b>	<b>102</b>				
<b>Tasa Marginal de Retorno</b>	<b>%</b>	<b>13%</b>	<b>13%</b>	<b>15%</b>	<b>10%</b>	<b>13%</b>	<b>10%</b>	<b>12%</b>	<b>1%</b>	<b>13%</b>	<b>14%</b>	<b>13%</b>	<b>7%</b>				
Diferencia de Producción	t/ha			7.39							3.63						
Suelo aprovechable	ha			0.14							0.07						

#### 4. CONCLUSIONES

- Bajo las condiciones de este experimento, la aplicación de cal hidratada y cal dolomita en todas las dosis aplicadas incrementaron significativamente el pH del suelo a los 40 y 80 días después de su aplicación. Al día 80 después de la aplicación la cal hidratada I del norte de Honduras y cal hidratada R del centro de Honduras, fueron mejores con respecto a la cal dolomita, atribuido al tiempo de reacción de las fuentes.
- Reducir la acidez del suelo con cales tiene un efecto positivo en la producción forrajera de sorgo sureño, evidenciado en diámetro del tallo, peso de panoja, altura de la planta y rendimiento para las dosis de 1.7 y 2.5 t/ha independientemente de la fuente de cal.
- En el suelo del lote Laguna para alcanzar un pH de 6.5 es necesario aplicar una dosis de cal mayor a 2.5 t/ha.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Evaluar el efecto de la enmienda en el tiempo sobre otro(s) cultivo(s) que se siembren en rotación en el mismo lugar, en las diferentes fuentes y dosis que se usaron.
- Evaluar dosis más altas de cal para alcanzar un pH de 6 a 6.5 y su efecto en rendimiento del cultivo.
- Implementar el estudio en una parcela experimental controlada, no comercial, para determinar mejor los cambios reales en los rendimientos del sorgo.
- Considerar reducir el área de producción, por el aumento en rendimiento y destinarla a un uso más rentable.
- Hacer un análisis foliar de todos los nutrientes para determinar el efecto de las cales en su absorción.

## 6. LITERATURA CITADA

- Arévalo G, Gauggel C. 2017. Manual de prácticas de laboratorio, curso de manejo de suelos y nutrición vegetal. Zamorano, Honduras. 72 p.
- Bernier R, Alfaro M. 2006, Acidez de los Suelos y efectos del encalado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Osomo, Chile. Boletín INIA N° 151, 46 p.
- Carrasco N, Zamora M, Melin A. 2011. Manual de sorgo. primera edición. Buenos Aires, Argentina: Barrow: ediciones INTA. 105 p.
- FAO. 2016. Suelos Ácidos | Portal de suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. [consultado 2018 Mar 12]. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/>.
- Fageria NK, Gheyi HR. 1999. Efficient crop production. Campina Grande, Brazil, Federal University of Paraiba. CRC Press. 135 p
- Fassbender HW. 1975. Química del suelo, con énfasis en suelos de América Latina. Primera edición. Costa Rica: IICA. 392 p.
- Molina E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo, ACCS, San José, Costa Rica. 45 p.
- Molina E, Espinosa J. 1999. Acidez y encalado de suelos. IPNI. 5 p.
- Morán Araujo A, Villeda M. 2012. El sorgo tradicional de Honduras de doble propósito. INTSORMIL. 11. [consultado 2018 Sep 8]. <http://digitalcommons.unl.edu/intormilpubs/11>.
- Muñoz V. 2016. Gestión y conservación de aguas y suelos. Madrid, UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. [consultado 2018 Sep 11]. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvuzamoranosp/detail.action?docID=4850294>.
- Peréz Castellanos RJ. 2016. Determinación de la necesidad de cal en los suelos agrícolas de Zamorano, Honduras [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 35 p.

- Porta J, López-Acevedo M. 2005. Agenda de campo de suelos: información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. España: Mundi-Prensa. [consultado 2018 Sep 11]. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvuzamoranosp/detail.action?docID=3207419>.
- Porta J, López-Acevedo M, Poch RM. 2013. Edafología. Uso y protección de suelos. Tercera edición. España. Mundi-Prensa. 608 p.
- Raymon W, Miller R. 1995. Soils in our environment. Seventh Edition. Chapter 8. In: Acid soils and their modification. Utah and Michigan. USA. 244 p.
- Rodríguez SN, Ruiz JE, Chavarría RJ. 1993. Principios basicos de acidez del suelo. Vol. 57. IPA QUILAMAPU. 25 p.
- Rowell DL. 1994. Soil science. methods and applications. Chapter 8. Soil Acidity and Alkalinity. London, United Kingdom. 156 p.
- Sánchez MA. 2009. El sorgo. [consultado 2018 Sep 11]. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvuzamoranosp/detail.action?docID=3181568>.
- Tan KH. 1996. Soil sampling, preparation and analysis. Chapter 8. In: Soil pH Measurement. Athens, Georgia USA. 96 p.
- Toledo M. 2016. Manejo de Suelos Ácidos de las zonas altas de Honduras. Tegucigalpa, Honduras. IICA. 45 p.
- Vitorello VA, Capaldi FR, Stefanuto VA. 2005. Recent advances in aluminum toxicity and resistance in higher plants. BJPIP. 17(1):129–143. doi:10.1590/S1677-04202005000100011.