

**Efecto de la aplicación de cal dolomita sobre
el pH del suelo y rendimiento de sorgo sureño
en suelos de uso agrícola, Zamorano,
Honduras.**

**Katherine Gabriela Carvajal Diguay
Carlos Andrés Gómez Badillo**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Efecto de la aplicación de cal dolomita sobre
el pH del suelo y rendimiento de sorgo sureño
en suelos de uso agrícola, 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

**Katherine Gabriela Carvajal Diguay
Carlos Andrés Gómez Badillo**

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2016

Efecto de la aplicación de cal dolomita en el pH del suelo y rendimiento de sorgo sureño en suelos de uso agrícola, Zamorano, Honduras

**Katherine Gabriela Carvajal Diguay
Carlos Andrés Gómez Badillo**

Resumen. La acidez del suelo es una de las restricciones más importantes para la normal producción de los cultivos, ya que representa una limitante para la disponibilidad de nutrientes. En Zamorano se ha demostrado que los suelos agrícolas de la Finca San Nicolás son de baja calidad y necesitan un manejo especial de subsolado y aplicación de enmiendas calcáreas para reducir problemas de producción y degradación. Estos lotes son principalmente destinados a la producción de sorgo para alimentación animal. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la aplicación de cal dolomita, en el pH del suelo y en el rendimiento de sorgo en los lotes Portón y Caoba. Se aplicaron tres tratamientos de cal 0, 1.5 y 3 t.ha⁻¹, con tres repeticiones cada uno. Se evaluaron, cambios de pH a 40 y 80 días en el suelo, altura de planta y diámetro de tallo a los 40, 60 y 80 días, peso de panoja, hojas y tallo a cosecha, rendimiento y contenido nutricional del cultivo. Se realizó un ANDEVA con un GLM, ($P \leq 0.05$), LSMMeans analizado con un SAS[®] 2014. Para las variables de pH las dosis de 1.5 y 3 t.ha⁻¹ muestran un aumento en sus unidades reduciendo la acidez de los suelos con respecto al pH inicial. El uso de cal dolomita para el control de acidez en el suelo tuvo un efecto positivo en el rendimiento de sorgo. Una mayor tasa marginal de retorno se observó al aplicar una dosis de 1.5 t.ha⁻¹ de cal dolomita.

Palabras clave: Acidez, enmiendas calcáreas, forraje, rentabilidad.

Abstract. Soil acidity is a major constraint for crop production, limiting overall nutrient availability. The San Nicolás farm cultivated plots, located at Zamorano University, have been previously proven to require a deep plowing (subsoling) and lime application to balance soil pH and degradation. These plots have been employed mainly for sorghum cultivation. The aim of this study was to assess the effect of applying dolomite lime on soil pH and sorghum harvest in two plots (Portón and Caoba). Lime was applied at two different concentrations: 1.5 and 3 t.ha⁻¹ and a control group was included. Soil pH variations were measured at 40 and 80 days, as well as plant height and shoot diameter, while the variables weight, leaves weight, shoot weight before harvest, production and nutritional content were evaluated 40, 60 and 80 days after the beginning of the study. An ANOVA, with a GLM design was used, while means separation among variables was studied using the procedure LSMEANS, of the SAS program, version 9.4. Soil pH increased significantly in both treatments, reducing effectively acidity. Physiological characteristics, as well as total harvest of sorghum, were positively affected by the use of dolomite lime. A financial analysis was realized based on the variables measured, linking the use of dolomite lime to a higher marginal return rate.

Key words: Acidity, cost effectiveness, forage, liming.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
4. CONCLUSIONES.....	19
5. RECOMENDACIONES.....	20
6. LITERATURA CITADA.....	21

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros		Página
1.	Reacción del suelo (pH) a los días 0, 40 y 80 después de la siembra (DDS), en el lote Caoba, finca San Nicolas, Zamorano, Honduras.....	9
2.	Reacción del suelo (pH) a los días 0, 40 y 80 después de la siembra (DDS), en el lote Portón, finca San Nicolas, Zamorano, Honduras.....	10
3.	Altura de la planta y diámetro del tallo de sorgo forrajero por el efecto de la aplicación de cal. En el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras	12
4.	Altura de la planta y diámetro del tallo de sorgo forrajero a los 40, 60 y 80 días por el efecto de la aplicación de cal. Portón, San Nicolás, Zamorano.....	13
5.	Peso de panoja, hojas y tallo a cosecha de sorgo forrajero a diferentes dosis de encalado. En el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras	13
6.	Peso de panoja, hojas y tallo a cosecha de sorgo forrajero a diferentes dosis de encalado. En el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras	14
7.	Análisis Nutricional de sorgo forrajero en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	15
8.	Análisis Nutricional de sorgo forrajero en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	15
9.	Efecto de la aplicación de cal en la producción de sorgo en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	16
10.	Cálculo de los beneficios netos obtenidos por la aplicación de 1.5 y 3 t.ha ⁻¹ de cal dolomita en la producción de sorgo en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	17
11.	Efecto la aplicación de las dosis de 1.5 y 3 t.ha ⁻¹ de cal dolomita sobre el rendimiento en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	17
12.	Tasa de Retorno Marginal sobre el efecto de encalado en la producción de sorgo forrajero en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras	18
13.	Efecto de la aplicación de cal en la producción de sorgo en el lote Portó, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	18
14.	Cálculo de los beneficios netos obtenidos por la aplicación de 1.5 y 3t.ha ⁻¹ de cal dolomita en la producción de sorgo en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	19
15.	Efecto la aplicación de las dosis de 1.5 y 3 t.ha ⁻¹ de cal dolomita sobre el rendimiento en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	19
16.	Tasa de Retorno Marginal sobre el efecto de encalado en la producción de sorgo forrajero en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.	20

Figuras	Página
1. Ubicación de los lotes Portón y Caoba, San Nicolás, Zamorano, Honduras...	2
2. Análisis de suelo de los lotes Portón y Caoba, Zamorano, Honduras.....	4
3. Distribución de las parcelas para a aplicación de cal dolomita y el testigo en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	5
4. Distribución de las parcelas para la aplicación de cal dolomita y el testigo en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	5
5. Ubicación de las parcelas para la toma de datos, en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	6
6. Ubicación de las parcelas para la toma de datos, en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	6

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos no se categorizan como “buenos” ni “malos” ya que la distinción se basa en su uso previsto. No obstante, la mayoría de los suelos presentan características donde se requieren intervenciones de manejo para evitar problemas en la producción agrícola o degradación ambiental (FAO 2016a). Entre los varios factores que afectan la fertilidad del suelo la acidez es una de las principales restricciones ya que altera su normal funcionamiento, afectando principalmente a la disponibilidad de nutrientes (Vázquez 2013) y contribuye a la degradación de los mismos.

Los suelos ácidos son aquellos que tienen un pH de valor inferior a 5.5 durante la mayor parte del año. Estos suelos están asociados con un número de toxicidades como es la presencia de Aluminio. Niveles bajos de pH son el principal indicador en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad y movilidad de estos constituyentes y de otros contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (FAO 2016b). Por esta razón la acidez desde un punto de vista agronómico no debe ser considerada solamente un problema para los suelos, sino también para los cultivos ya que tiene un efecto negativo sobre su producción y rendimiento, en especial sobre aquellos cultivos que son más susceptibles (Bernier y Alfaro 2006).

La acidez del suelo puede afectar el crecimiento de las plantas en forma directa, pero también indirecta ya que incide negativamente en la disponibilidad de nutrientes, los niveles de elementos fitotóxicos, la actividad microbiana y hasta en las condiciones físicas de los suelos (Vázquez 2013) Por ello y para una buena conservación del elemento natural suelo, se han considerado diversas alternativas de manejo para corregir los problemas de acidificación, siendo una de las más usadas la aplicación de enmiendas calcáreas (Campillo y Sadzawka 2011) El encalado consiste en aplicar al suelo sales básicas que neutralizan la acidez. Los materiales que se utilizan como alcalinizantes o correctivos de acidez son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio (Ca) y/o magnesio (Mg) (Espinosa y Molina 1999).

Se debe tener en cuenta que cada cultivo tiene un rango óptimo de pH que permite su crecimiento normal, por lo cual si el pH no se encuentra en el rango deseado por el cultivo, este tiene interferencia en el desarrollo de sus raíces y reduce así la absorción de agua y nutrientes, que afecta al crecimiento y el rendimiento (Bernier y Alfaro 2006) En los cultivos destinados para consumo animal sean forrajes o pasturas, el pH del suelo también tiene su efecto en cuanto a calidad, dependiendo del tipo de forraje y del cultivar ya sean gramíneas o leguminosas, perennes o anuales. Dentro de este grupo se destaca el sorgo, cultivo usado para la elaboración de ensilaje, el cual tolera un rango de acidez de 5.4 a 7, la

acidez no sólo afecta al rendimiento de los forrajes sino que también se hace notar en la calidad nutritiva (Bernier y Alfaro 2006).

Los objetivos de este estudio fueron determinar el efecto del encalado en un suelo de uso agrícola de Zamorano y el efecto del uso de cal en la producción de sorgo y en el contenido nutricional del cultivo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio. El estudio se realizó en la finca San Nicolás, en los lotes “Caoba” y “Portón” cada uno con una extensión de 13.7 ha y 13.5 ha respectivamente, en la Escuela Agrícola Panamericana “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, humedad relativa de 77% y una precipitación de 288mm datos que se tomaron durante los meses de mayo a agosto de 2016, tiempo que duró el estudio.

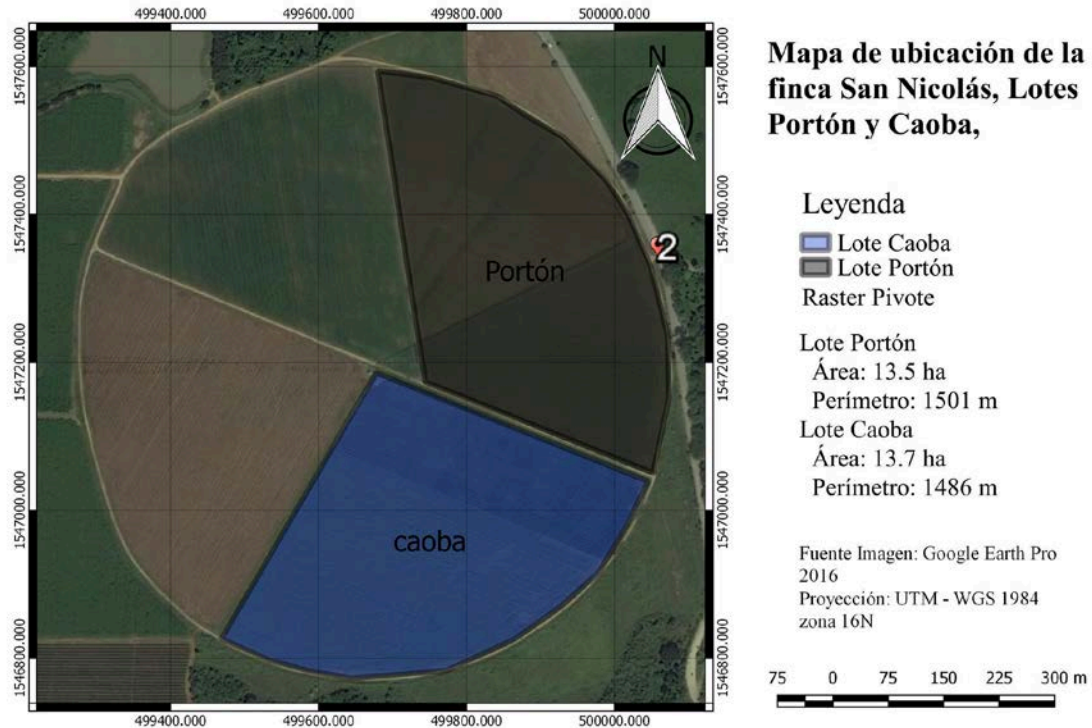


Figura 1. Ubicación de los lotes Portón y Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Análisis de Suelos. Con el fin de conocer las características, se realizó un análisis de suelos. Las muestras analizadas se obtuvieron de un conjunto de barrenaciones (15 por lote) tomadas en forma aleatoria a manera de cubrir la superficie de los lotes, a una profundidad de 20 cm correspondiente a la capa arable del suelo como lo recomienda Arévalo y Castellanos (2009) Estas muestras posteriormente fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos y Aguas de Zamorano.

Solicitante	Fecha Ingreso Muestra	Fecha Envío Informe	Procedencia de la muestra	Página		
Pastos y Forrajes	2016-03-16	2016-03-30	El Pivote Central	1 de 1		
Dirección del cliente	Nº Lote de Análisis	Cultivo	Informe N°	Anexo Recomendación		
EAP	2016-05	Sorjo Forrajero	2016-85	Sí:	x	No:

Interpretación
Bajo
Medio
Alto

Código Interno Lab	Muestra	Textura	g/100g			pH (H ₂ O)	g/100g		mg/Kg (extractable)										
			Arena	Limo	Arcilla		M.O.	N _{total}	P	K	Ca	Mg	Na	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
16-S-0706	Portón	Franco	44	36	20	5,14	2,04	0,10	43	342	1118	156	ND	2	1,4	347	147	0,9	0,3
16-S-0707	Caoba	Franco	48	34	18	5,62	2,04	0,10	41	314	1421	178	ND	1	1,8	239	169	0,8	0,2
ND: NO DETECTADO																			
Rango Medio						2,00	0,20	13	Por: Saturación de bases				20	1,7	56	28	1,7	0,5	
						4,00	0,50	30					80	3,4	112	112	3,4	8	

Métodos: K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Mn, Zn: Solución extractora Mehlich 3, determinados por espectrofotometría de absorción atómica. P: Solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetría. % M.O.: Método de Walkley & Black. % N total: 3% de M.O. pH: Relación suelo : agua; 1:1 AOAC 994,16. Textura: Método de Bouyoucos. B, S: Solución extractora fosfato de calcio, determinados por colorimetría.

Figura 2. Análisis de suelo de los lotes Portón y Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Basado en los resultados obtenidos se determinó encalar con cal dolomita (Ca de 24% y Mg de 8.12%), por el bajo contenido de Mg.

Preparación del suelo. El estudio se realizó sobre suelo recién subsolado con un subsolador de brazo de 70 cm de largo, con un espacio entre gancho de 1.5 m en el primer pase y una separación final entre ganchos de 0.7 m. El primer pase con subsolador en el lote Portón se realizó en sentido Oeste a Este y el segundo pase se orientó en sentido noreste a suroeste a 45° del primero pase. En lote Caoba el primer pase de subsolado fue en el mismo sentido que en el lote Portón paralelo a la calle que divide a los dos lotes. El segundo pase se realizó a 45° del primer pase en dirección Noroeste a Sureste.

Delimitación del área para los tratamientos. Para la aplicación de cal las áreas utilizadas fueron de 8.78 ha en el lote Caoba y 6 ha en el lote Portón. Cada área fue dividida en seis parcelas, dos parcelas usadas como testigos sin ninguna aplicación, dos parcelas para la aplicación de 1.5 t.ha⁻¹ y dos para 3 t.ha⁻¹ (Figura 3 y 4).



Figura 3. Distribución de parcelas para la aplicación de cal dolomita y el testigo en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.

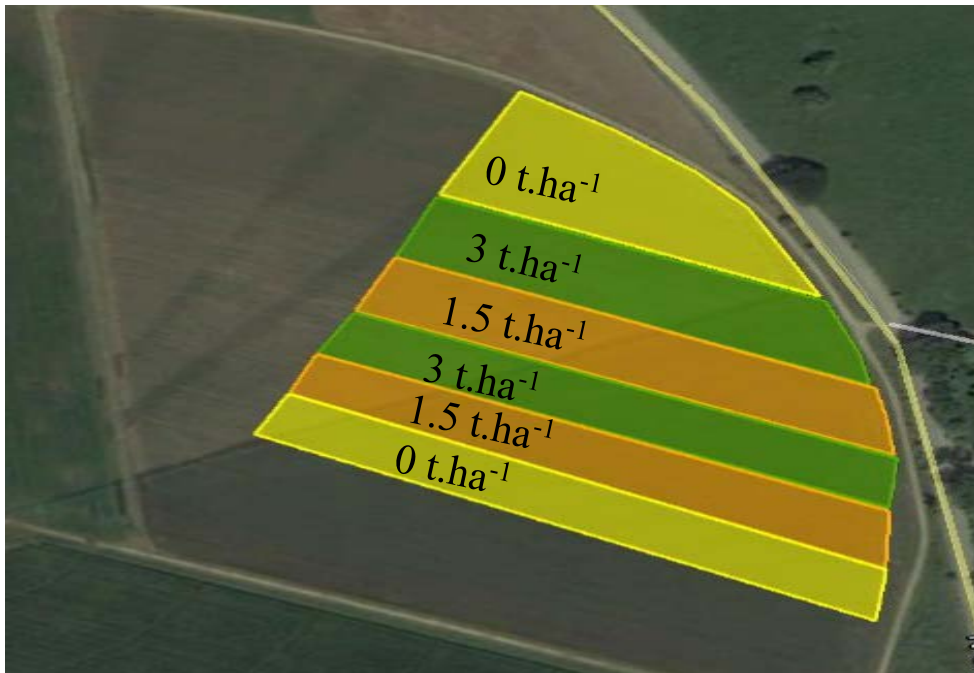


Figura 4. Distribución de las parcelas para la aplicación de cal dolomita y el testigo en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Después de aplicada la cal se definieron aleatoriamente tres parcelas experimentales dentro de cada tratamiento, con un área de 10 m² cada una, 5 metros de largo y 2 de ancho, estas parcelas fueron georreferenciadas para la toma de datos durante la duración del estudio (Figuras 5 y 6).

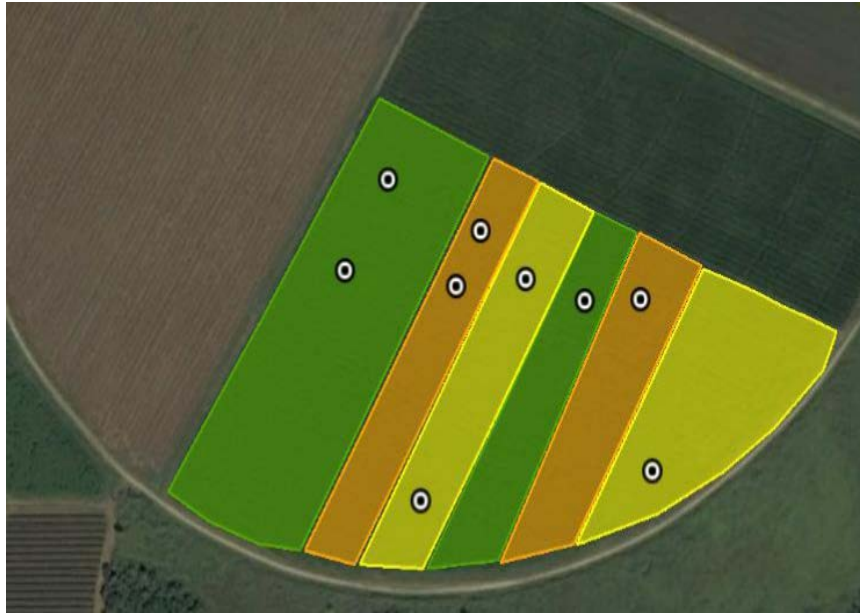


Figura 5. Ubicación de las unidades experimentales para la toma de datos, en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.

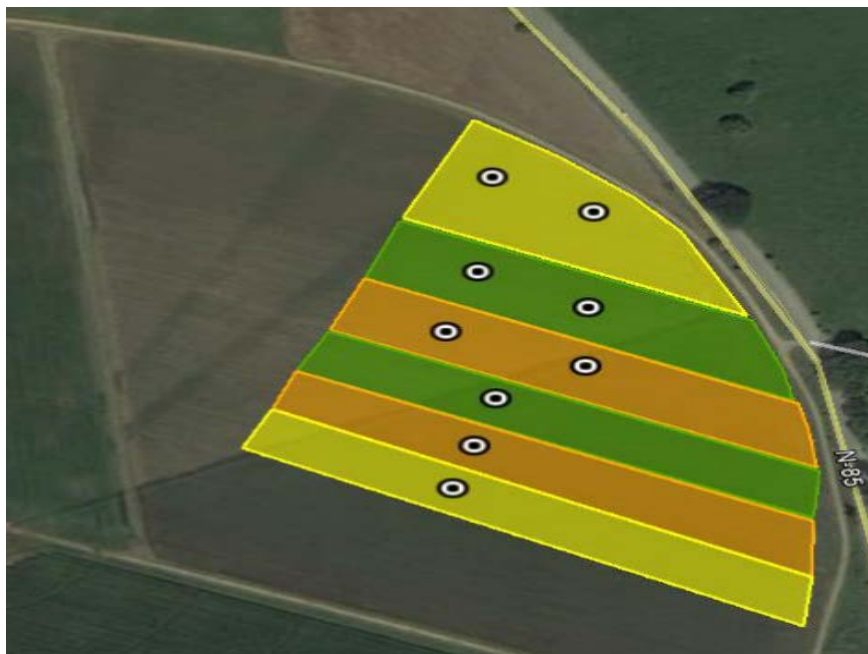


Figura 6. Ubicación de las unidades experimentales para la toma de datos, en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Encalado. El tipo de cal utilizada para el estudio fue cal dolomita, la cual fue analizada en el Laboratorio de suelos y aguas de Zamorano, mostrando un porcentaje de 23.96% de Ca y 8.17% de Mg. Para ambos lotes la cal fue aplicada cinco días antes de la siembra, utilizando una tolva de 24 agujeros, a 20 cm del suelo. Después de aplicada la cal, fue incorporada al suelo con una rastra liviana.

Establecimiento del cultivo. El cultivo establecido para estos lotes fue sorgo sureño destinado a ensilaje para consumo animal. Para ambos lotes se definió una densidad de 18 semillas por metro de siembra, con un porcentaje de germinación de 83%, a una distancia de 80 cm entre surco, para un total de 225,000 plantas.ha⁻¹.

En el lote de Portón la siembra se realizó a una dirección de Sur a Norte perpendicular a la pendiente. En el lote Caoba la dirección de siembra se realizó en dirección Norte a Sur, coincidiendo para ambos lotes con la dirección de encalado.

El manejo agronómico fue el mismo para ambos lotes, el cual estuvo a cargo de la unidad de producción de Sorgo de Zamorano. El cultivo se desarrolló en los meses de mayo a agosto del año 2016, los datos de las condiciones climáticas se obtuvieron de la estación climatológica de Zamorano.

Variables determinadas. El ciclo completo del sorgo duró 80 días desde la siembra hasta la cosecha.

Suelo. La medida de pH se realizó al día 40 después de la siembra y al momento de la cosecha, para lo cual en cada unidad experimental se realizaron 15 barrenaciones en forma aleatoria para cubrir toda el área. Se tomó un kg de la muestra en una bolsa rotulada, posteriormente estas bolsas fueron llevadas al laboratorio de suelos y aguas de Zamorano para la determinación de pH.

Cultivo. El período de desarrollo del sorgo consiste de tres fases: la vegetativa (EC1), la reproductiva (EC2) y el período de llenado de grano (EC3) (Paul 1990). Las variables de altura de planta y grosor de tallo se tomaron en de cada una de estas tres fases en 15 plantas con la ayuda de una cinta métrica y un pie de rey. La altura se midió desde la base del tallo hasta la papada más alta durante los 40 días después de siembra y hasta la altura de la panoja a los 60 y 80 días después de siembra (Paul 1990). Por otro lado el grosor se midió en la base del tallo a 2 cm sobre el suelo con la ayuda de un pie de rey.

Al final de la fase EC3 a los 80 días se realizó la cosecha de sorgo ya que este es destinado a la producción de forraje. En cosecha se midió peso de panojas, peso de hojas y peso de tallo, además de rendimiento en dos metros lineales, extrapolados a t.ha⁻¹.

Análisis bromatológicos del sorgo. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Alimentos de Zamorano, en los cuales se determinó proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), fibra ácido detergente (FAD), fibra nitro detergente (FND), materia orgánica (MO), cenizas, materia seca (MS) y humedad.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar (BCA), con tres tratamientos de 0, 1,5 y 3 t.ha⁻¹ de cal dolomítica cada uno con tres repeticiones, completando un total de 9 unidades experimentales.

Análisis estadístico. Para analizar los datos del estudio se utilizó el programa “Statistical Analysis System” (SAS[®] VERSIÓN 9.3), con un análisis de varianza ANDEVA, un modelo lineal general GLM con la probabilidad de ($P \leq 0.05$) y una separación de medias usando LSMeans.

Análisis económico. Se tomó la cantidad de cal dolomita utilizada en los tratamiento de 1.5 y 3 t.ha⁻¹ y se procedió al análisis. En la evaluación de rentabilidad del estudio, se realizó el cálculo de rendimiento de cada tecnología y se restaron los costos totales, para obtener los beneficios netos, este dato se utilizó para el análisis de dominancia, comparando el beneficio neto de cada tecnología con los costos totales. La tecnología que aumentaba su beneficio neto y a la vez reducía sus costos totales, se dice que es dominante, por otro lado las tecnologías dominadas que aumentaban sus costos y tenían menor beneficio neto, se consideraban dominadas y eran excluidas en la parte del análisis de retorno. La tasa de retorno marginal (TRM) se calculó expresando la diferencia entre los beneficios netos de ambas como un porcentaje de costo total adicional Evans (2015).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelo

Eficiencia de encalado con respecto al pH inicial. El lote Caoba tiene un comportamiento similar que el lote Portón. La aplicación de enmiendas calcáreas ayuda al suelo a aumentar el pH reduciendo así su acidez como lo determinan Espinosa y Molina (1999). La aplicación de las dosis de 1.5 y 3 t.ha⁻¹ muestran un cambio significativo al día 40 comparado al pH inicial y una reducción a los 80 días (Cuadro 1), lote Portón. Por otro lado se observa que en el testigo no existe un aumento significativo ($P \leq 0.05$) de pH a lo largo del tiempo. Se observa también que el mayor aumento en unidades de pH con respecto a la cantidad de cal aplicada se obtuvo con la dosis de 1.5 t.ha⁻¹ con un aumento de 0.51 unidades pH.t⁻¹ de cal dolomita.

Cuadro 1. Reacción del suelo (pH) a los días 0, 40 y 80 después de la siembra (DDS), en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Dosis de cal t.ha ⁻¹	pH a DDS		
	0	40	80
0.0	5.62 c	5.72 c	5.74 c
1.5	5.62 c	6.38 a	6.25 ab
3.0	5.62 c	6.12 ab	5.99 bc

$R^2 = 0.74$

Coefficiente de variación 4.38

^{abc} Las variables que comparten la misma letra en la fila no tienen diferencia significativa

Eficiencia del encalado. La cal dolomita ayuda a reducir la acidez de los suelos aumentando las unidades de, pH tal como lo menciona Ortiz (2008), en el cuadro 1 se puede observar que el suelo en el lote Portón consta de un pH de 5.14, valor que se encuentra por debajo del rango óptimo para una producción normal de sorgo y se clasifica a este suelo como altamente ácido según la categorización hecha por Arévalo de Gauggel y Castellanos en el 2009. Las unidades de pH aumentaron en un 0.98 y 0.85 para las dosis de 1.5 y 3 t.ha⁻¹ respectivamente, lo que reduce su acidez permitiendo a este suelo ingresar en el rango de pH óptimo para la producción del cultivo. También se observa que al día 80 en comparación al día 40 las unidades de pH empiezan a reducir, aunque esta reducción no demuestra una diferencia significativa, lo cual se atribuye al efecto residual de la cal dolomita, la misma que llega a su punto máximo entre los dos y tres meses, haciendo que las partículas finas

de estas actúen primero y luego de este tiempo las partículas más gruesas actúen durante un año o dos más, pero reduciendo su eficiencia como lo menciona Espinosa y Molina (1999). Se observa también un mayor aumento de unidades de pH para la dosis de 1.5 t.ha⁻¹ de cal dolomita, aumentando 0.98 unidades de pH.t⁻¹ de cal dolomita. Este comportamiento es igual al del lote Caoba, coincidiendo con las recomendaciones de la FAO para los suelos tropicales las aplicaciones de cal de 1 – 2 t.ha⁻¹ durante cada dos o tres años puede ser suficiente para regular la acidez. Además que en suelos cercanos a pH neutros como es el caso del lote Caoba la aplicación de cantidades excesivas de cal puede llevar al suelo a un problema de sobreencalado. La respuesta al encalado también se ve afectada, el uso excesivo de cal puede dispersar los coloides al afectar la agregación de las partículas en el suelo como lo menciona Navarro y Navarro (2013).

Cuadro 2. Reacción del suelo (pH) a los días 0, 40 y 80 después de la siembra (DDS), en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Dosis de cal t.ha ⁻¹	pH DDS		
	0	40	80
0.0	5.14 c	4.94 c	4.87 c
1.5	5.14 c	6.12 a	5.82 a
3.0	5.14 c	5.99 ab	5.71 b

R² = 0.92
 Coeficiente de variación 3.72

^{abc} Las variables que comparten la misma letra en la fila no tienen diferencia significativa

Cultivo de sorgo.

Efecto de la aplicación de cal dolomita en la altura de planta y diámetro de tallo. En el lote Caoba para las variables de altura de planta y grosor de tallo no se observó ninguna diferencia significativa entre el testigo y las dosis usadas (Cuadro 3), debido a que el desarrollo del cultivo se dio bajo los parámetros óptimos de pH, determinado por el rango óptimo dado por Porta et al. 1999 de 5.5 y 7 unidades, teniendo en el testigo un pH de 5.62.

Cuadro 3. Altura de la planta y diámetro del tallo de sorgo forrajero por el efecto de la aplicación de cal. En el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Dosis de cal (t.ha ⁻¹)	DDS					
	40		60		80	
	altura	diámetro	altura	diámetro	altura	diámetro
	m	cm	m	cm	m	cm
0.0	1.21	1.77	2.12	1.70	2.63	1.57
1.5	1.23	1.71	2.15	1.69	2.65	1.56
3.0	1.11	1.71	2.12	1.69	2.61	1.56
R ²	0.99	0.57	0.99	0.57	0.99	0.57
CV	5.31	7.42	5.31	7.42	5.31	7.42

Para el lote Portón el comportamiento del cultivo fue distinto, tomando en cuenta el pH del testigo que se encontró bajo el rango óptimo determinado por Porta *et al.* (1999). En los primeros 40 días de desarrollo del cultivo, no se observó ninguna diferencia significativa para ninguna de las dos variables, pero se pudo observar que para los días 60 y 80 existe una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en cuanto a altura de planta, teniendo mayor altura con la dosis de, 1.5 y 3 t.ha⁻¹ en comparación con el testigo (Cuadro 4) tomando en cuenta que el pH aumento en los lotes encalados llegando los valores óptimos de 6.12 y 5.99, los cuales se encuentran dentro del rango para el desarrollo del cultivo. Al aumentar las unidades de pH los nutrientes del suelo se hacen más disponibles para la planta, cabe recalcar que la cal dolomita al ser un carbonato doble de calcio y magnesio no solo ayuda al suelo a reducir la acidez, sino que también es una fuente de estos nutrientes como lo mencionan Espinosa y Molina (1999). El calcio como principal nutriente encargado de la actividad celular, interviene en la elongación de las células para el crecimiento de las plantas de acuerdo a Arévalo de Gauggel y Castellanos (2009), todo esto combinado en la etapa de crecimiento que se determina “el gran período de crecimiento” Paul (1990), el cual consiste en el agrandamiento y expansión de las células, dando como resultado el crecimiento de los entrenudos y consecuentemente una altura mayor del tallo, lo cual marca una diferencia para la etapa final o de cosecha.

Cuadro 4. Altura de la planta y diámetro del tallo de sorgo forrajero a los 40, 60 y 80 días después de siembra (DDS) por el efecto de la aplicación de cal. En el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Dosis de cal (ton.ha ⁻¹)	DDS					
	40		60		80	
	altura m	diámetro cm	altura m	diámetro cm	altura m	diámetro cm
0.0	1.00	2.03	2.11 b	1.76	2.65b	1.69
1.5	1.03	2.03	2.33 a	1.81	2.90a	1.67
3.0	0.96	2.11	2.29 b	1.89	2.78ab	1.75
R ²	0.99	0.89	0.99	0.89	0.99	0.89
CV	6.14	4.85	6.14	4.85	6.14	4.85

^{abc} Las variables que comparten la misma letra en la columna no tienen diferencia significativa

Variables de cosecha. En las variables de cosecha no se observó diferencia alguna en cuanto al rendimiento entre el testigo y los tratamientos ($P \leq 0.05$), debido a que el testigo presentó un pH óptimo aun sin la aplicación de cal dolomita (Cuadro 5). Se observó un aumento en el peso de panoja con las dosis de encalado, lo que se atribuye a la disponibilidad de potasio en el suelo dado por la aplicación de cal dolomita y el subsolado. Restrepo Jaramillo (2015), quien determinó que los suelos de Zamorano presentan una buena concentración de potasio pero que no está disponible para las plantas por la compactación, por lo tanto al trabajar en suelos previamente subsolados este macroelemento se hizo disponible para el cultivo, teniendo en cuenta que el potasio interviene en la translocación de almidones al grano dándole mayor peso y tamaño. El encalado a su vez permite mayor disponibilidad de nutrientes como el zinc, el cual tiene mayor disponibilidad a un rango de pH 5.5 a 7 que en conjunto con el boro participan en la formación de frutos.

Cuadro 5. Peso de panoja, hojas y tallo a cosecha de sorgo forrajero a diferentes dosis de encalado. En el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Dosis de cal t.ha ⁻¹	Peso (g/planta)			Rendimiento	
	Panoja	Hojas	Tallos	kg.2m ⁻¹	t.ha ⁻¹
0.0	43.3 b	50.7	273.4	9.0	56.25
1.5	57.7 ab	60.5	277.0	10.5	65.63
3.0	68.3 a	60.8	284.0	10.3	64.25
R ²	0.74	0.58	0.85	0.72	0.72
CV	17.36	16.67	10.38	11.18	11.18

^{abc} Las variables que comparten la misma letra en la columna no tienen diferencia significativa

En el lote Portón se obtuvo mejores rendimientos con la aplicación de 1.5 y 3t.ha⁻¹ de cal dolomita en comparación con el testigo ($P \leq 0.05$) (Cuadro 6), tomando en cuenta que el pH inicial de este lote fue de 5.14 el cual se encontraba fuera del rango óptimo para un buen desarrollo de sorgo (Porta et al. 1999). Un incremento en pH mejoró la disponibilidad de nutrientes en el suelo y de categoría de un suelo altamente ácido a uno ligeramente ácido con la aplicación de enmiendas calcáreas. En ambos lotes se observó un aumento de peso de panoja con la aplicación de cal, el potasio es el nutriente encargado de la reserva de almidones en la planta, por otro lado el boro y zinc son nutrientes que se encargan del desarrollo de los frutos como lo menciona Arévalo de Gauggel y Castellanos 2009, los almidones son depositados en los granos de la panoja del sorgo, lo cual permite un aumento del peso de la misma (Paul 1990).

Cuadro 6. Peso de panoja, hojas y tallo a cosecha de sorgo forrajero a diferentes dosis de encalado. En el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Dosis de cal t.ha ⁻¹	Peso (g.planta ⁻¹)			Rendimiento	
	Panoja	Hojas	Tallos	kg.2m ⁻¹	t.ha ⁻¹
0.0	54.9 b	61.0	292.1 b	11.8 b	73.8 b
1.5	68.9 ab	62.7	300.1 a	13.3 a	83.1 a
3.0	76.5 a	73.5	293.2 a	12.9 a	80.6 a
R ²	0.89	0.43	0.075	0.63	0.63
CV	7.17	15.94	23.97	7.88	7.88

^{abc} Las variables que comparten la misma letra en la columna no tienen diferencia significativa

Análisis nutricional. Un pH óptimo no solo mejora la caracterización de los suelos, sino que también beneficia el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Dentro de los cultivos forrajeros como es el caso del sorgo un rango óptimo de pH no solo aumenta sus rendimientos sino que también mejora sus características nutricionales. En el lote Caoba los valores nutricionales se encuentran dentro de los niveles adecuados (Cuadro 7), siendo estos seis a nueve % para proteína cruda, 35 a 60% para fibra neutro detergente y 20 a 30% de materia seca, según lo reportado por Fassio *et al.* (2002). La proteína cruda presenta un aumento porcentual dentro de las dosis de 1.5 y 3 t.ha⁻¹ en comparación con el testigo, de acuerdo a Cabalceta (1999), quien determina que el nitrógeno que absorben las plantas es considerado un macro elemento que no solo tiene efecto en el crecimiento, sino que también tiene una relación directa con la formación de la proteína cruda y la materia seca. Por esta razón con un mayor contenido de fibra cruda se mejora la digestibilidad del forraje, beneficiando así el consumo animal. La materia seca y la proteína cruda tienen una relación inversamente proporcional, es decir a medida que aumenta la proteína cruda se reduce el porcentaje de materia seca. Así mismo la fibra neutro detergente nos indica la cantidad de lignina, celulosa y hemicelulosa formada en la pared celular del cultivo, por lo tanto menor porcentaje de fibra neutro detergente mayor digestibilidad del forraje.

Cuadro 7. Análisis Nutricional de proteína cruda (PC), fibra neutro detergente (FND) y materia seca (MS) en sorgo sureño en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Dosis de cal (t.ha ⁻¹)	PC (%)	FND (%)	MS (%)
0.0	6.0	56.3	27.1
1.5	7.2	54.7	27.0
3.0	7.5	53.2	26.9

Para el lote Portón (Cuadro 8), que la cantidad de proteína cruda en la parcela testigo se encuentra por debajo de los niveles óptimos, el nivel inicial de nitrógeno para el lote Portón y el lote Caoba presentó baja disponibilidad. La aplicación de cal incrementa la eficiencia de la fertilización tal como lo menciona Espinoza y Molina (1999), permitiendo que las plantas absorban de una mejor manera los nutrientes brindados por la fertilización, obteniendo así un material forrajero de mejor calidad para consumo animal.

Cuadro 8. Análisis nutricional de proteína cruda (PC), fibra neutro detergente (FND) y materia seca (MS) en sorgo sureño en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Dosis de cal (t.ha ⁻¹)	PC (%)	FND (%)	MS (%)
0.0	5.6	58.3	28.7
1.5	7.2	54.5	25.5
3.0	7.0	55.0	26.6

Análisis económico. En el lote Caoba no se recuperó la inversión de la aplicación de cal en la primera cosecha. Por ello los siguientes rendimientos fueron determinados a partir del primer corte que incluye el rebrote (Cuadro 9), considerado como el 30% del rendimiento del primer corte.

Cuadro 9. Efecto de la aplicación de cal en el rendimiento de sorgo en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Tecnología	Cal (t.ha ⁻¹)	Rendimiento 1° corte (t.ha ⁻¹)	Rendimiento 1°corta + rebrote (t.ha ⁻¹)
1	0.0 cal	56	73
2	1.5 cal	66	85
3	3.0 cal	64	84

En el lote Caoba el cálculo de beneficio que presentó mayor retorno fue el cálculo de tratamiento de 1.5 t.ha⁻¹ (1,417 \$.ha⁻¹) y el de menor beneficio neto fue para el tratamiento de 3 t.ha⁻¹ (1161 \$.ha⁻¹), (Cuadro 12).

Cuadro 10. Cálculo de los beneficios netos obtenidos por la aplicación de 1.5 y 3ton.ha⁻¹ de cal dolomita en la producción de sorgo en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Actividad	Unidad	Tecnología		
		1	2	3
Producción	t.ha ⁻¹	73	85	83
Beneficio Bruto en campo	\$.ha ⁻¹	1,404	1,639	1,605
Cantidad Cal	kg.ha ⁻¹	0	1500	3,000
Costo Cal	\$.ha ⁻¹	0	222	444
Costos Totales que varían	\$.ha ⁻¹	0	222	444
Beneficio neto	\$.ha ⁻¹	1,405	1,417	1,161

Para el análisis de dominancia la tecnología uno (0 t.ha⁻¹ de cal dolomita) y dos (1.5 t.ha⁻¹ de cal dolomita) son dominantes a la tecnología tres (3 t.ha⁻¹ de cal dolomita), la cual fue eliminada para la determinación de la tasa marginal de retorno (TMR). También la tecnología uno fue menor que la dos, por lo que esta última es la única considerada económicamente rentable (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de dominancia de las dosis de cal dolomita sobre el rendimiento en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Tecnología	Cal (t.ha ⁻¹)	Costos totales que varían (\$.ha ⁻¹)	Beneficio Neto (\$)	Dominancia
2	1.5	222	1,417	Dominante
3	3.0	444	1,161	Dominado

La tasa marginal de retorno (TMR), indica lo que el productor espera recibir en promedio al cambiar de una tecnología uno a un tecnología dos de acuerdo a Evans (2005). Para el lote Caoba la tasa marginal es de 638% al aplicar 1.5 t.ha⁻¹ de cal dolomita, es decir que por cada dólar invertido se percibe una ganancia de 6.38 dólares, considerando que solo se está representando los costos de la cal, (Cuadro 12).

Cuadro 12. Tasa de Retorno Marginal sobre el efecto de encalado en la producción de sorgo forrajero en el lote Caoba, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Tecnología	Cal (t.ha ⁻¹)	Costos totales que varían		Beneficio neto (\$.ha ⁻¹)	TMR	
		(\$.ha ⁻¹)	(\$.cambio ⁻¹)		(\$.cambio ⁻¹)	(%)
1	0.0	-	0	1,405		
2	1.5	222	222	1,417	12.25	638

En el lote Portón, para realizar una comparación entre lotes, el análisis marginal en el lote Portón se hizo con los rendimientos obtenidos en el primer corte que incluye el 30% de rebrote al igual que en el lote Caoba, (Cuadro 13).

Cuadro 13. Efecto de la aplicación de cal en el rendimiento de sorgo en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Tecnología	Cal (t.ha ⁻¹)	Rendimiento 1° corte (t.ha ⁻¹)	Rendimiento 1° corte + rebrote (t.ha ⁻¹)
1	0.0	74	96
2	1.5	83	108
3	3.0	81	105

El mayor beneficio neto obtenido en el lote Portón fue con la tecnología dos (1.5 t.ha⁻¹ de cal dolomita) 1,853 \$.ha⁻¹ y el beneficio más bajo se reportó con la tecnología tres (3 t.ha⁻¹), 1569 \$.ha⁻¹, (Cuadro 14).

Cuadro 14. Cálculo de los beneficios netos obtenidos con la aplicación de 1.5 y 3 t.ha⁻¹ de cal dolomita en la producción de sorgo en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Actividad	Unidad	Tecnología		
		1	2	3
Producción	t.ha ⁻¹	96	108	105
Beneficio Bruto en campo	\$.ha ⁻¹	1,847	2,075	2,013
Cantidad Cal	kg.ha ⁻¹	0	1500	3,000
Costo Cal	\$.ha ⁻¹	0	222	444
Costos Totales que varían	\$.ha ⁻¹	0	222	444
Beneficio neto	\$.ha ⁻¹	1,847	1,853	1,569

El análisis de dominancia nos indica que las tecnologías uno (0 t.ha⁻¹ de cal dolomita) y dos (1.5 t.ha⁻¹ de cal dolomita), son dominantes a la tecnología tres (3 t.ha⁻¹ de cal dolomita) la misma que no es tomada en cuenta para el análisis de la tasa de retorno marginal (TRM), (Cuadro 15).

Cuadro 15. Análisis de dominancia de las dosis cal dolomita sobre el rendimiento en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Tecnología	Cal (t.ha ⁻¹)	Costos totales que varían (\$.ha ⁻¹)	Beneficio Neto (\$)	Dominancia
2	1.5	222	1,853	Dominante
3	3.0	444	1,569	Dominado

La tasa de retorno marginal para la tecnología dos (1.5 t.ha⁻¹ de cal dolomita) fue de 884%, lo cual indica que por cada dólar invertido, el beneficio alcanzado fue de 8.84 dólares (Cuadro 16), siendo esta mayor en comparación del lote Caoba.

Cuadro 16. Tasa de Retorno Marginal sobre el efecto de encalado en la producción de sorgo forrajero en el lote Portón, finca San Nicolás, Zamorano, Honduras

Tecnología	Cal (t.ha ⁻¹)	Costos totales que varían		Beneficio neto (\$.ha ⁻¹)	TMR	
		(\$.ha ⁻¹)	(\$.cambio ⁻¹)		(\$.cambio ⁻¹)	(%)
1	0.0	-	0	1,847		
2	1.5	222	222	1,963	116.13	884

4. CONCLUSIONES

- La aplicación de cal dolomita en suelos de pH menor a 5.62 incrementa significativamente el pH en suelos agrícolas de Zamorano.
- La aplicación de cal dolomita cuando el pH es menor a 5.62, tiene un efecto positivo en el rendimiento y una mejora en el contenido de proteína cruda del sorgo.
- Aplicar cal dolomita en dosis de 1.5 t.ha^{-1} recupera la inversión en el primer corte más el 30% de su rebrote en sorgo.

5. RECOMENDACIONES

- Usar dosis de 1.5 t.ha^{-1} de cal dolomita en suelos de uso agrícola de Zamorano bajo las mismas condiciones de los lotes estudiados.
- Evaluar diferentes densidades de siembra del sorgo sureño, para evitar la competencia entre plantas y el acame.
- Tomar las decisiones de aplicación de cal basadas en el análisis de suelo, ya que resulta económicamente rentable.
- Realizar análisis foliares para determinar la absorción de nutrientes del cultivo.

6. LITERATURA CITADA

Arévalo de Gauggel G, Castellanos M. 2009. Manual de Fertilizantes y Enmiendas [internet]. [consultado 2016 sep. 25].

Bernier R, Alfaro M. 2006. Acidez de los Suelos y Efectos del Encalado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Osorno, Chile [consultado 2016 mayo. 23].

Cabalceta G. 1999. Fertilización y Nutrición de Forrajes de Altura. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

Campillo R, Sadzawka A. 2011. Encalado de suelos para control de acidez y manejo de enmiendas calcáreas. Centro Regional de Investigación INIA.

Espinosa J, Molina E. 1999. Acidez y encalado de suelos. International Plant Nutrition Institute IPNI.

Evans E. 2005. Análisis Marginal: Un procedimiento económico para seleccionar tecnologías o prácticas alternativas. University of Florida. [internet]. [consultado 2016 sep 04] Available online at <http://edis.ifas.ufl.edu>.

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2016a. Manejo de suelos problemáticos [internet]. [consultado 2016 jul. 08]. Available online at <http://www.fao.org/soils-portal/manejo-del-suelo/manejo-de-suelos-problematicos/es/>.

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2016b. Propiedades Químicas | FAO |. El pH del Suelo [internet]. [consultado 2016 jul. 08]. Available online at <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/>.

Fassio A, Cozzolino D, Ibáñez W, Fernández E. 2002. Sorgo: Destino Forrajero [internet]. [consultado 2016 sep. 02].

Navarro G, Navarro S. 2013. Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. 3ra ed. España. Mundi Prensa. [internet]. [consultado 2016 sep. 02].

Ortiz E. 2008. Evaluación del efecto de la cal dolomita sobre algunas características químicas del suelo y la absorción de nutrientes en el cultivo de piña (*Ananas comosus*) (L) Merr.. híbrido MD-2 en finca ganadera La Flor S.A. En Río Cuarto, Grecia, Costa Rica.

Instituto Tecnológico de Costa Rica, sede regional San Carlos [internet]. [consultado 2016 sep. 02].

Paul C. 1990. Agronomía del Sorgo. 1st ed. San Salvador: CENTA. 301p.

Porta J, López Acevedo M, Roquero C. 1999. Edafología para la agricultura y Medio Ambiente. Mundi Prensa. Madrid.

Restrepo Jaramillo J. 2015. Efecto de la aplicación de cuatro dosis de potasio en el rendimiento de banano, en el suelo con alto contenido de potasio, subsolado y uno no subsolado. Zamorano. Honduras.

Vázquez M. 2013. Acidez del suelo y necesidad del encalado [internet]. [consultado 2016 sep. 21].