

## Uso de yeso agrícola como enmienda en el cultivo de maíz forrajero en el valle central de Tarija

### Use of agricultural gypsum as an amendment in the cultivation of forage maize in the central valley of Tarija

Luis Acosta<sup>1\*</sup>, José Rivera<sup>2</sup>, Félix Marza<sup>3</sup>, Tito Claire<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Responsable Departamental INIAF-Tarija, Avenida Panamericana Km 2.5 Ruta Tomatitas Zona Las Barrancas Tarija, Bolivia<sup>2</sup> Consultor Independiente Tarija, Bolivia

<sup>3</sup> Director Nacional de Investigación INIAF, Calle Batallón Colorados N° 24, Piso 16, La Paz, Bolivia

<sup>4</sup> Responsable Proyecto Maíz-INIAF Yacuiba-Bolivia

\* Email para correspondencia: luistarija@gmail.com

#### Resumen

En la gestión agrícola 2013/2014, se realizó un experimento en las localidades de Chocloca y Charaja, municipio de Uriondo del Departamento de Tarija, con altitudes de 1700 a 1750 m.s.n.m., con el objetivo de evaluar el uso de yeso agrícola como enmienda en el cultivo de maíz forrajero y determinar su incidencia en la producción de biomasa foliar y rendimiento en grano. Para tal efecto se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar con 2 variedades de maíz (Compuesto 20 y Erquis 2); 4 tratamientos: T1) 0-0-0 Testigo, sin yeso agrícola, T2) 41-46-00 sin yeso agrícola, T3) 41-46-00 con yeso agrícola y T4) 00-00-00 con yeso agrícola a razón de 2000 kg ha<sup>-1</sup>; y 3 repeticiones. Los resultados del análisis de varianza combinado entre las 2 localidades, muestran diferencias significativas al 5 % para rendimiento de la masa foliar, rendimiento en grano, beneficio neto y Tasa de Retorno Marginal favorable para el nivel 41-46-00 + yeso agrícola. En las variables rendimiento de masa foliar y rendimiento en grano, los mejores tratamientos fueron 41-46-00 + yeso agrícola y 41-46-00 Testigo con 41431 kg ha<sup>-1</sup> y 38341 kg ha<sup>-1</sup> de masa foliar, y 4907 kg ha<sup>-1</sup> y 4370 kg ha<sup>-1</sup> de rendimiento en grano, respectivamente. Tomando en cuenta la preferencia de los productores de maíz forrajero, los resultados estadísticos y el análisis económico, se recomienda el uso de yeso agrícola con el nivel 41-46-00 de N-P-K, especialmente por su alto rendimiento en masa foliar y alto rendimiento en grano.

**Palabras claves:** Análisis económico, rendimiento de grano, biomasa de forraje, varianza.

#### Abstract

Two year experiment was carried out (2013/2014), with the objective to determine the influence of SO<sub>4</sub>Ca in the forage biomass and in the grain yield in corn. The experiment was located in Agricultural Research Center of Chocloca and Agricultural Production Center of Charaja in Tarija, Bolivia (21° 14' 18.89" S and 64° 50' 37.81" W). Thus, a randomized block was designed with four treatments and three replicates as follow: T1) 0-0-0 without SO<sub>4</sub>Ca supply, T2) 41-46-00 and without SO<sub>4</sub>Ca supply, T3) 41-46-00 with SO<sub>4</sub>Ca supply and T4) 00-00-00 with SO<sub>4</sub>Ca application. For this experiment, two varieties of corn were used (Var. Compuesto 20 and Var. Erquis 2). The results showed differences among treatments (Tuckey P<0.05). Thus the best biomass production yield was for treatment, T3) 41-46-00 with SO<sub>4</sub>Ca use and T2) 41-46-00 and without SO<sub>4</sub>Ca use that registered 41431 kg ha<sup>-1</sup> and 38341 kg ha<sup>-1</sup> respectively. Also those treatments yielded 4907 kg ha<sup>-1</sup> and 4370 kg ha<sup>-1</sup> in grain production for. T3) 41-46-00 with SO<sub>4</sub>Ca supply and T2) 41-46-00 and without SO<sub>4</sub>Ca supply, respectively. We concluded that management of corn cultivation with the application of SO<sub>4</sub>Ca and fertilizer of 41-46-00 it can improve the yield for forage and grain of corn.

**Key words:** Economic analysis, grain yield, forage biomass, variance.

## Introducción

Uno de los principales problemas en la merma de la producción de maíz en zonas productoras del Valle Central de Tarija son la baja precipitación, la erosión de los suelos y el desbalance nutricional, en los suelos lo que provocó, que los rendimientos de maíz, principalmente los forrajeros, disminuyan considerablemente. Una de las alternativas para paliar esta situación es el uso del yeso agrícola como enmienda, fertilizante y mejorador del sistema radicular. El yeso ha sido beneficioso para la mayoría de los cultivos anuales, destacándose principalmente en los cultivos de maíz, trigo y soya. Así, Barrow (2012) indica que en la Argentina, el uso del yeso agrícola, comenzó a expandirse en la provincia de Córdoba y centro y sur de Santa Fe usando como fuente de azufre y calcio en cultivos como trigo, soja, maíz y pasturas. La adopción de esta tecnología innovadora continuó, pasando al norte de Buenos Aires y año tras año se amplía su zona de uso con excelentes resultados. Este fertilizante natural, a base de sulfato de calcio, puede adoptarse de dos maneras clásicas: como fertilizante, por un lado, y como corrector de suelos por otro. Así Gordon *et al.* (2013) señala que las ventajas de aplicar este producto sobre los suelos desempeñan un rol importante, a saber: en la mejora, acondicionamiento y fertilización. La aplicación generosa de yeso, al suelo es un buen procedimiento para mejorar la permeabilidad y permitirá que los fertilizantes aplicados en la superficie penetren más fácilmente a consecuencia del yeso. Así, Dao *et al.* (2001); Kang y Osinama (2011) indican que el uso de yeso impide el endurecimiento del suelo, ayuda a la germinación de las semillas, disminuye la formación de costras en la superficie del suelo, estos autores indican que el uso del yeso ayuda a disminuir la pérdida de nitrógeno hacia la atmósfera y el calcio del yeso ayuda a disminuir la pérdida por volatilización del amoníaco nitrogenado, nitrato de amonio, urea, sulfato de amonio, o cualquiera de los fosfatos de amonio. El calcio puede disminuir la eficacia de pH por la precipitación de carbonatos y también por la formación de un complejo de la sal de calcio con el hidróxido de amonio que impide la pérdida de amoníaco hacia la atmósfera. En realidad el calcio mejora la absorción de nitrógeno por las raíces de las plantas sobre todo cuando las plantas son jóvenes. El yeso ayuda a las plantas a absorber

nutrientes, el calcio, el cual es provisto por el yeso, es esencial para los mecanismos bioquímicos por los cuales la mayoría de los nutrientes de las plantas son absorbidos por las raíces. Consecuentemente debido a los bajos rendimientos en el cultivo de maíz y la falta de agua, se vio la necesidad de implementar un experimento para evaluar del uso del yeso agrícola como enmienda en el cultivo de maíz forrajero en las comunidades de Chocloca y Charaja, del Departamento de Tarija con el objetivo de evaluar la respuesta del cultivo del maíz forrajero al uso de yeso agrícola como enmienda y mejorador del sistema radicular.

## Materiales y métodos

El experimento se desarrolló en la gestión agrícola 2013/2014, en el Centro Experimental de Chocloca de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS) y Centro Productivo de Charaja del Servicio Departamental Agrícola (SEDAG) de Tarija, ambas en el municipio de Uriondo son parte del Valle Central tarijeño, con clima templado, precipitaciones que varían de 550 a 650 mm al año y altitudes de 1700 a 1750 m.s.n.m., respectivamente.

## Metodología y diseño experimental

Para este trabajo, se realizó la siembra con las variedades de maíz Var Compuesto 20 y la Var Erquis 2 en la comunidad de Chocloca y Charaja, respectivamente, con una densidad de 4 plantas por metro lineal. El yeso agrícola más el fertilizante 18-46-00 se colocó dentro del surco a la siembra y al aporque se aplicó urea para completar la dosis de los tratamientos. Dichos tratamientos fueron establecidos bajo un diseño de Bloques Completos al Azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Los tratamientos estudiados fueron: T1) 0-0-0 Testigo, sin yeso agrícola sin fertilización, T2) 41-46-00 sin yeso agrícola, T3) 41-46-00 con yeso agrícola y T4) 00-00-00 con yeso agrícola a razón de 2000 kg ha<sup>-1</sup>. Para determinar diferencias entre medias de tratamientos, se realizó la prueba de Tuckey al 5% de probabilidad.

El levantamiento de datos para las variables de respuesta se siguió según el protocolo de rutina, como:

análisis del yeso agrícola, análisis del suelo, días a la floración masculina y femenina, altura de planta, inserción de mazorca, número de plantas cosechadas, acame de raíz y tallo, y rendimiento de la masa foliar en  $\text{kg ha}^{-1}$ . Además se realizó un análisis económico de beneficio costo para determinar el retorno marginal mediante el uso del yeso agrícola en la producción de maíz forrajero.

### Resultados y discusión

En la Tabla 1, se presentan los rendimientos de biomasa foliar en el presente experimento, donde se muestran diferencias significativas en los tratamientos y localidades estudiadas ( $P < 0.05$ ) diferenciadas según Tukey. Así por ejemplo en la comunidad de Chocloca para la variedad Compuesto 20, registró un rendimiento de biomasa de  $44291 \text{ kg ha}^{-1}$  para el tratamiento T3 donde se usó 41-46-00 de NPK más yeso agrícola, es decir, el tratamiento T3 el rendimiento fue superior con más de  $17863 \text{ kg ha}^{-1}$  de biomasa comparado con el tratamiento T1 testigo. Así mismo en la localidad de Chocloca, el tratamiento T4, donde se usó sólo yeso agrícola sin fertilización, registró diferencias en biomasa foliar con un rendimiento de  $30000 \text{ kg ha}^{-1}$  comparado con el testigo que sólo registró  $26428 \text{ kg}$

$\text{ha}^{-1}$  de masa foliar. Se detecta diferencias, entre T2 y T4 así, en la localidad de Chocloca el T2 (utilización sólo de 41-46-00) registró rendimientos de biomasa superior de  $13571 \text{ kg ha}^{-1}$  comparado con el T4 (sólo la utilización del yeso agrícola sin fertilización). En la localidad de Charaja se reportó diferencias ( $P < 0,05$ ) en todos los tratamientos estudiados, los rendimientos más elevados fueron para el T3 y los más bajos para el T1. Cuando se realizó un análisis combinado entre las localidades, también se detectó diferencias en biomasa ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos. El análisis de los resultados obtenidos en el presente experimento podemos deducir que el uso de NPK a razón de 41-46-00 más yeso agrícola registró los mejores resultados de  $41431 \text{ kg ha}^{-1}$  de rendimiento en biomasa foliar, es decir superior con  $15433 \text{ kg ha}^{-1}$  de biomasa foliar de maíz cuando es comparado con el testigo donde no se usa ni fertilización ni yeso agrícola. También en el análisis combinado se destaca la diferencia entre el uso de fertilización ( $P < 0,05$ ) cuando es comparado con el yeso agrícola. Donde la fertilización con una formulación de 41-46-00 tendría un rendimiento superior de  $8341 \text{ kg ha}^{-1}$  cuando es comparado con el uso de yeso agrícola sin fertilización (Tabla 1).

**Tabla 1.** Rendimiento de biomasa foliar ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de maíz forrajero en dos localidades, con el uso de yeso agrícola (YA) y fertilización. Tarija 2013 – 2014.

Tratamientos	Rendimiento en grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ )			Media		
	Chocloca		Charaja			
T3. 41-46-00 + YA	44291	A	38572	A	41431	A
T2. 41-46-00	43571	A	33111	B	38341	B
T4. 00-00-00 + YA	30000	B	30572	C	30286	C
T1. 00-00-00 (Testigo)	26428	C	25367	D	25898	D
C.V. (%)	2.74		2.79		3.24	
Promedio	36072.5		31905.5		33989.0	

Letras similares a lo largo de cada columna no difieren entre si según Tuckey ( $P < 0,05$ )

Así, varios autores como Agbenin (2003); Cuenca *et al.* (2001); Blamey *et al.* (1997); Corrales *et al.* (1997), en base a diferentes estudios realizados coinciden en señalar que el uso del yeso en la agricultura tiene sus ventajas comparativas no solo en el cultivo de maíz sino también en otros cultivos debido a que ayuda a la proliferación de lombrices de tierra, e indican que un suministro continuo de calcio es esencial para las lombrices de tierra que mejoran la aireación del suelo, mejoran la concentración del suelo y mezclan el suelo. También señalan que las propiedades del yeso como enmienda agrícola, el calcio reemplaza el sodio sostenido en los sitios de atascamiento de arcilla, el yeso mejora la estructura del suelo, ayuda a reciclar suelos sódicos, previene el encostramiento de suelo y ayuda a la semilla a emerger, produce la descompactación del suelo, hace más fácil las tareas de labranza, detiene la erosión y la corriente de agua, disminuye la expansión y agrietamiento del suelo asociado a las arcillas, mejora los niveles de infiltración en suelos y también la conductividad hidráulica del suelo, disminuye el pH de los suelos sódicos, previene la inundación del suelo, previene el lavado del suelo por agua, mejora el balance de la materia orgánica del suelo, corrige la acidez del subsuelo, mejora la eficiencia en el uso de agua, hace posible el uso de riego con agua de baja calidad, disminuye la erosión del suelo, ayuda a las

plantas a absorber nutrientes, disminuye la toxicidad de metales pesados, incrementa el aprovechamiento de enmiendas orgánicas, ayuda a preparar el suelo en un sistema de siembra directa, aumenta la calidad de frutos y previene algunas enfermedades de las plantas, ayuda a preparar y manejar suelos no cultivados o con pasturas. Disminuye la densidad del suelo, disminuye el efecto tóxico de salinidad (NaCl), mejora el pH de la zona radicular, multiplica la absorción de otros fertilizantes, disminuye las pérdidas de nitrógeno a través del aire, permite que los organismos benéficos del suelo se desarrollen adecuadamente, ayuda a la formación de nódulos en las raíces de las plantas leguminosas, ayuda a la conservación de suelo para mantener un campo productivo a lo largo del tiempo, aumenta el período productivo de las pasturas y ayuda a mantener un alto stand de plantas, aumenta el rendimiento de los cultivos y produce un incremento de la materia seca de las pasturas. Se deduce que el calcio (Ca) es absorbido por las plantas como catión:  $\text{Ca}^{+2}$  y es acumulado por las plantas, especialmente en las hojas donde se deposita y es inmovilizado. El yeso ( $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y fosfatos de calcio  $\text{Ca}^{+2}$  en el complejo de intercambio: debido a su carga y reducida hidratación el Ca es adsorbido con mayor fuerza que el Mg, el K y el Na por lo que es común que el  $\text{Ca}^{+2}$  ocupe del 30 al 90% de la capacidad total de intercambio del suelo.

**Tabla 2.** Uso de yeso agrícola (YA) como enmienda en maíz para rendimiento en grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), en dos localidades del valle central de Tarija 2013 – 2014.

Tratamientos	Rendimiento en grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ )				Media	
	Chocloca		Charaja			
T3. 41-46-00 + YA	4958	A	4856	A	4907	A
T2. 41-46-00	4627	A	4113	B	4370	B
T4. 00-00-00 + YA	3203	B	3571	C	3387	C
T1. 00-00-00 (Testigo)	2985	B	1830	D	2407	D
C.V. (%)	3.62		2.83		2.95	
Promedio	3943.250		3592.500		3767.875	

Letras similares a lo largo de cada columna no difieren entre si según Tuckey ( $P < 0,05$ )

En la Tabla 2, se indican los resultados obtenidos en las dos localidades, con uso de yeso agrícola como enmienda en maíz para rendimiento en grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Los resultados muestran diferencias significativas en los tratamientos y localidades estudiadas (Tuckey  $p < 0,05$ ). Así por ejemplo en la comunidad de Chocloca para la variedad Compuesto 20, registró un rendimiento en grano de  $4958 \text{ kg ha}^{-1}$  para el tratamiento T3 donde se usó 41-46-00 de NPK más yeso agrícola es decir, el tratamiento T3 el rendimiento fue superior con más de  $1973 \text{ kg ha}^{-1}$  de rendimiento en grano comparado con el testigo T1. Así mismo en la localidad de Chocloca, el tratamiento T4, donde se usó yeso agrícola sin fertilización, es similar comparado con el Testigo. Se encontró diferencias entre T2 y T4, así en la localidad de Chocloca el T2 (utilización sólo de 41-46-00) registró rendimientos en grano superior de  $1424 \text{ kg ha}^{-1}$  comparado con el T4 (sólo la utilización del yeso agrícola sin fertilización). En la localidad de Charaja se reportó diferencias ( $P < 0,05$ ) en todos los tratamientos estudiados, los rendimientos más elevados fueron para el T3 y los más bajos para el T1. Cuando se realizó un análisis combinado entre las localidades, también se detectó diferencias en el rendimiento en grano ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos. El análisis de los resultados obtenidos del presente experimento podemos deducir que el uso de NPK a razón de 41-46-00 más yeso agrícola registró los mejores resultados con  $4907 \text{ kg ha}^{-1}$  de rendimiento en grano es decir superior con  $2500 \text{ kg ha}^{-1}$  de grano de maíz cuando es comparado con el Testigo donde no se usa ni fertilización ni yeso agrícola. También, en el análisis combinado se destaca la diferencia entre el uso de fertilización ( $P < 0,05$ ) cuando es comparado con el yeso agrícola (Tabla 2). Similares resultados fueron obtenidos por varios autores que coinciden en señalar las funciones del yeso agrícola en el suelo y en la planta. Así por ejemplo, Gaume *et al.* (2010); indican que la exudación de la raíces de maíz

como respuesta a la aplicación de enmiendas de fósforo. Así mismo Huttová *et al.* (2011) reporta cambios en el citoplasma de las proteínas del maíz como consecuencia de la aplicación de enmiendas. Por otro lado Poudel *et al.* (2010), Waltham y Eick (2002), Sparks (1996), Shoji *et al.* (1993) estudiaron las características, propiedades y usos de suelos, con fosfitos, yeso y otros y su influencia en las plantas e indican, que las ventajas del yeso para prevenir y corregir la sodicidad se deben al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas, físico-químicas y biológicas del suelo y se traducen en: gran estabilidad de materia orgánica del suelo, agregados de suelo más estables, mejoramiento de la infiltración del agua en el suelo. La percolación es una de las variables que más reflejan la recuperación de la condición física del suelo luego de la aplicación del yeso. Dosis de  $1000$  a  $3000 \text{ kg ha}^{-1}$  de yeso son suficientes para lograr cambios significativos en la condición física del suelo. El yeso como fertilizante proporciona Azufre y Calcio, manteniendo el pH del suelo en condiciones de óptima fertilidad para aumentar el rendimiento de los cultivos. El yeso agrícola, tiene una solubilidad mucho menor a la de los fertilizantes sintéticos, lo cual demuestra una importante ventaja porque bajo determinada distribución granulométrica (entre  $1 \text{ mm}$  y  $5 \text{ mm}$ ), se logra una solubilización inmediata pero gradual y con efecto residual, evitando los inconvenientes y mermas de persistencia del azufre y calcio en el suelo generados por disoluciones instantáneas, como la de algunos pelletizados de yeso y el sulfato de amonio. La aplicación de sulfato de calcio produce un mayor aprovechamiento de otros nutrientes esenciales. Está demostrado que la incorporación balanceada de nutrientes favorece la absorción de los mismos por los cultivos. El Nitrógeno (N) y el fósforo (P) son absorbidos más eficientemente cuando se aplican a suelos con niveles apropiados de azufre (S) y calcio (Ca) aumentando de esta forma los rendimientos.

**Tabla 3.** Análisis económico para uso de yeso agrícola (YA) como enmienda en el cultivo de maíz forrajero, de las localidades de Chocloca y Charaja, Tarija (2013 – 2014):

Tratamientos	Rendimiento Masa Foliar (t ha <sup>-1</sup> )	Costos Variables (Bs ha <sup>-1</sup> )	Costos Margin (Bs ha <sup>-1</sup> )	Beneficio Neto (Bs ha <sup>-1</sup> )	Beneficio Neto Marginal (Bs ha <sup>-1</sup> )	T.R.M. (%)
T1) 00-00-00	25.898	0.00	-	10100		
T4) 00-00-00 + YA	30.286	722.00	722.00	11812	1712	237
T2) 41-46-00	38.341	1120.00	398.00	14953	3141	789
T3) 41-46-00 + YA	41.431	1842.00	722.00	16158	1205	163

**Precio:** Maíz para Ensilaje= 0.39 Bs kg<sup>-1</sup>, Abono 18-46-00= 320 Bs por bolsa de 50 kg, Urea= 280 Bs por bolsa de 50 kg, YA = Yeso Agrícola= 0.783 Bs kg<sup>-1</sup>, Dosis Yeso Agrícola= 2000 kg ha<sup>-1</sup>, Jornal= 100 Bs, Aplicación abono= 2 jornales ha<sup>-1</sup>, Aplicación Yeso Agrícola= 6 jornales ha<sup>-1</sup>. Frecuencia aplicación yeso agrícola = 3 años, monto yeso agrícola y jornales se dividió entre 3.

En la Tabla 3, se indican los resultados del análisis económico de uso de yeso agrícola como enmienda en el cultivo de maíz forrajero en las localidades de Chocloca y Charaja. Los datos analizados y deducidos en promedio entre las 2 localidades, con respecto al rendimiento de la masa foliar, reflejan que los mejores tratamientos son los niveles 41-46-00 más yeso agrícola, 41-46-00 y 00-00-00 más yeso agrícola con un Beneficio Neto de 16158 Bs ha<sup>-1</sup>, 14953 Bs ha<sup>-1</sup> y 11812 Bs ha<sup>-1</sup>, y una Tasa de Retorno Marginal de 163 %, 789 % y 237 % respectivamente.

### Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio, son ricos en información original en cuanto al manejo de suelos para el cultivo de maíz en las dos localidades estudiadas en el valle de Tarija. Se concluye que el uso de yeso agrícola tiene ventajas competitivas en cuanto a la producción del maíz en rendimiento de la biomasa foliar y rendimiento en grano. Los mejores tratamientos fueron los niveles 41-46-00 más yeso agrícola y 41-46-00, especialmente por su alto rendimiento de la biomasa foliar, alto rendimiento en grano, tallos más robustos y mayor altura de planta. El análisis económico realizado promediando las 2 localidades, con respecto al rendimiento de la biomasa foliar, se concluye que los mejores tratamientos son el uso de 41-46-00 más yeso agrícola, 41-46-00 y 00-00-00 con yeso agrícola, según el beneficio neto y la tasa de retorno marginal.

### Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a los trabajadores de campo de la Estación Experimental Chocloca de la UAJMS y al Ing, Wilder Guerrero, encargado de La Estación Experimental Chocloca FCAYF.

### Referencias

- Agbenin, J.O. (2003). Extractable iron and aluminum effects on phosphate sorption in a savanna Alfisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 589-595.
- Barrow, N. J. (2012). Effects of adsorption of sulfate by soils on the amount of sulfate present and its availability to plants. *Soil Sci.* 108:193-201.
- Blamey, F.P.C., Ostatek-Boczynski Z, Y, Kerven. G.L. (1997). Ligand effects on aluminium sorption by calcium pectate. *Plant Soil* 192: 269-275.
- Corrales, I., Poschenrieder, Ch., Barceló. J. (1997). Influence of silicon pretreatment on aluminum toxicity in maize root. *Plant Soil* 190: 203-209.
- Cuenca, G., Andrade, Z., Meneses, E. (2001). The presence of aluminum in arbuscular mycorrhizas of *Clusia multiflora* exposed to increased acidity. *Plant Soil* 231: 233-241
- Dao, T.H., Sikora, L.J., Hamasaki, A., Chaney, R.L. (2001). Aluminum and iron by-products and aerobic composting. *J. Environ. Quality* 30:1693- 1698.
- Gaume, A., Mächler, F., Frossard, E. (2010). Aluminum

- resistance in two cultivars of *Zea mays* L. Root exudation of organic acids and influence of phosphorus nutrition. *Plant Soil* 234: 73-81
- Gordón, R., González, A., y Franco, J. (2013). Evaluación de dosis y métodos de aplicación de azufre y su efecto residual en el cultivo de maíz en dos localidades de azuero, Panamá. *agronomía mesoamericana* 3: 52-56.
- Hutková, J., Tamás, I., Mistrik, E. I. (2011). Quantitative changes in maize cytoplasmic proteins induced by aluminium. *Biol. Plantarum* 41:547-554.
- Kang, B.T. y Osinama, O.A. (2011). Sulfur response of maize in Western Nigeria. *Agron. Journ.* 68: 333-336.
- Poudel, D.D., Midmore, D.J., West, L.T. (2010). Soil development and fertility characteristics of a volcanic slope in Mindanao, the Philippines. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1258-1273.
- Shoji, S., Nanzyo, M., Dahlgren, R. (1993). Productivity and utilization of volcanic ash soils. pp. 209-251. In: Shoji, S. *et al.* (eds). Volcanic ash soils: Genesis, properties and utilization. *Developments in Soil Science* 21. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Sparks, D.L. (1996). *Methods of soil analysis*. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Violante, A. y M. Pigna. 2002. Arsenate and phosphate sorption on different clay minerals and soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1788-1796.
- Waltham, C.A. y Eick, M.J. (2002). Kinetics of arsenic adsorption on goethite in the presence of sorbed silicic acid. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 818-825.