

Artículo Original
Original article

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE YESO AGRÍCOLA SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO OXISOL Y LA PRODUCCIÓN DE SOJA Y MAÍZ
EFFECT OF AGRICULTURAL GYPSUM APPLICATION ON THE CHEMICAL PROPERTIES OF AN OXISOL AND ON SOYBEAN AND MAIZE PRODUCTION

Ever Marcelo Maidana Chavez

Universidad Nacional de Canindeyú, Facultad de Ciencias Agrarias
Katueté, Paraguay.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1389-1004>

Diego Augusto Fatecha Fois

Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias
San Lorenzo, Paraguay.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0672-745X>

Jimmy Walter Rasche Alvarez

Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias
San Lorenzo, Paraguay.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2517-6868>

Autor correspondiente: Ever Marcelo Maidana Chavez: evr.maidana@gmail.com

Cómo citar este artículo:

Maidana Chavez EM, Fatecha Fois DA, Rasche Alvarez JW. Efecto de la aplicación de yeso agrícola sobre las propiedades químicas de un suelo oxisol y la producción de soja y maíz. Rev. Soc. cient. Parag. 2025;30(2):32-43

RESUMEN

El yeso agrícola se utiliza como enmienda química del suelo buscando aumentar la producción de cultivos. El estudio evaluó el efecto de la aplicación de yeso agrícola sobre propiedades químicas del suelo y la producción de soja-maíz sobre un Oxisol en Saltos del Guairá, Paraguay. Se empleó el diseño de bloques al azar con dosis de yeso (0, 500, 1000, 1500, 2000 y 2500 kg ha⁻¹) y cinco repeticiones. Se tomaron muestras de suelo a los 12 meses en profundidades de 0–0,10; 0,10–0,20 y 0,20–0,40m, determinándose pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y S. En soja se evaluaron altura de planta, peso de mil granos, rendimiento, vainas por planta y granos por vaina. En maíz; rendimiento, masa de mil granos, diámetro y longitud de mazorca, número de mazorcas, altura de planta e inserción de mazorca. El yeso no afectó el crecimiento ni rendimiento de soja, pero aumentó linealmente el rendimiento y la masa de mil granos en maíz. El S aumentó en todos los perfiles del suelo; pH, Ca²⁺ y K⁺ no fueron alterados. Mg²⁺ disminuyó en el perfil de 0,10–0,20m con dosis superiores a 500 kg ha⁻¹. El yeso agrícola mejoró la producción de maíz.

Palabras clave: azufre; bases intercambiables; Glycine max L.; sulfato de calcio; Zea mays L.

ABSTRACT

Agricultural gypsum is used as a chemical soil amendment aimed at increasing crop production. This study evaluated the effect of agricultural gypsum application on soil chemical properties and soybean–maize production on an Oxisol in Saltos del Guairá, Paraguay. A randomized block design was used with gypsum rates (0, 500, 1000, 1500, 2000, and 2500 kg ha⁻¹) and five replications. Soil samples were collected 12 months after application at depths of 0–0.10, 0.10–0.20, and 0.20–0.40 m, determining pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, and S. In soybean, plant height, thousand-grain weight, yield, pods per plant, and grains per pod

were evaluated. In maize, yield, thousand-grain weight, ear diameter and length, number of ears, plant height, and ear insertion height were measured. Gypsum did not affect soybean growth or yield but linearly increased maize yield and thousand-grain weight. Sulfur increased across all soil depths; pH, Ca²⁺, and K⁺ were not affected. Mg²⁺ decreased in the 0.10–0.20 m layer at rates above 500 kg ha⁻¹. Agricultural gypsum improved maize production.

Keywords: sulfur; exchangeable bases; Glycine max L.; calcium sulfate; Zea mays L.

INTRODUCCIÓN

En Paraguay la siembra directa se inició como una práctica conservacionista del suelo, reemplazando al sistema de siembra convencional, sufriendo una gran expansión en áreas agrícolas que trajo consigo un movimiento intenso de nutrientes en el suelo, a través de la fertilización química, objetivando mantener altas productividades de los cultivos⁽¹⁾. La fertilización agrícola suele enfocarse en suministrar macronutrientes primarios, lo que puede generar desbalances y deficiencias de nutrientes secundarios como el azufre (S).

La principal fuente de S en el suelo es la materia orgánica (MO), concentrada en horizontes superficiales⁽²⁾, juntamente con los demás nutrientes, con pH ideal y sin la presencia de Al³⁺, favoreciendo el desarrollo de raíces superficiales, aumentando el riesgo de estrés hídrico en sequía⁽³⁾. El S es esencial en algunos cultivos, posee función de formación de la clorofila, proteínas, enzimas y favorece la nodulación en leguminosas⁽⁴⁾. Los cultivos con mayor superficie sembrada en Paraguay son la soja y el maíz, requiriendo de 40 a 50 kg ha⁻¹ y 20 a 30 kg ha⁻¹ de S y extrae de 8,2 kg y 7,5 kg de S por tonelada de grano producido respectivamente⁽⁵⁾.

La siembra directa establece la rotación de cultivos, la no remoción del suelo y su cobertura permanente, promoviendo la acumulación de MO y mejora de propiedades del suelo. La aplicación superficial de cal agrícola limita su efecto correctivo a perfiles superficiales del suelo, manteniendo la acidez y el Al³⁺ en profundidad, lo que afecta el desarrollo radicular, la absorción de nutrientes y la productividad de los cultivos^(6,7).

La aplicación superficial de yeso agrícola es una alternativa económica que aporta Ca⁺² y S, mejora la estructura del suelo y reduce la toxicidad del Al³⁺ sin modificar el pH⁽⁸⁾. En la solución del suelo, el yeso se disocia en iones Ca²⁺ y SO₄⁻², posteriormente participando del complejo de intercambio catiónico y aniónico siendo 250 veces más soluble que el CaCO₃ (9). Esta solubilidad permite que la velocidad de reacción del SO₄⁻² sea más rápido que la del CO₃⁻²⁽¹⁰⁾. El efecto del aporte de Ca⁺² y S en el suelo sumado a la solubilidad y movilidad del SO₄⁻², permite la redistribución de estos iones hacia horizontes subsuperficiales mejorando la estructura del suelo⁽¹¹⁾, provocando lixiviación del Mg⁺², K⁺ y disminuye el efecto del Al⁺³ tóxico en el perfil 0,20–0,40 m⁽¹²⁾. La aplicación de yeso debe realizarse con base en criterios técnicos, considerando el tipo de suelo, dosis, cultivo y condiciones climáticas, debido a su comportamiento variable. En Paraguay no existen recomendaciones precisas sobre dosis, forma de aplicación o asociación del yeso con cal para optimizar la producción de cultivos.

En ese contexto, en algunos trabajos realizados en el Paraguay en el cultivo de soja, no se observó aumento significativo sobre rendimiento de grano en función a la aplicación de yeso^(13,14,15,16,17). De igual manera, experimentos realizados en Brasil evidenciaron resultados similares^(18,19,20). Por su parte se ha observado que las gramíneas como el trigo, la cebada y el maíz demuestran mayores incrementos en el rendimiento por la aplicación de yeso en comparación con leguminosas^(6,7,18,21).

La aplicación de yeso tiene un efecto beneficioso en tenores foliares de las plantas con aumento en las concentraciones de S⁽²²⁾. Moda et al., observaron respuesta positiva en el estado nutricional de la soja aumentando los tenores de K, Ca y S en la planta y en el tenor de aceite en el grano, sin influenciar en la productividad de granos⁽²³⁾. Entretanto Pauletti et al., resaltan que aplicando dosis altas de yeso agrícola no garantizan aumentar los tenores foliares de P, K y S⁽²⁰⁾.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de yeso agrícola sobre las propiedades químicas de un suelo Oxisol y la producción de soja y maíz.

METODOLOGÍA

El experimento fue realizado en Saltos del Guaira, Canindeyú, con coordenadas UTM 21J a 762.998 m de longitud este y 7.320.346 m de latitud norte, durante el 2017 al 2018; en un suelo Rhodic Kandiudox, con características de coloración roja oscura, profundo, alta acidez potencial y baja saturación de bases⁽²⁴⁾ y clima subtropical húmedo mesotérmico con temperatura media de 23°C y precipitaciones anuales de 1600 mm⁽²⁵⁾.

El análisis inicial del suelo en los perfiles 0–0,20 y 0,20–0,40 m evidenció alta saturación de bases (82% y 75%) y saturación por Al³⁺ de 16% y 9%, respectivamente. Los contenidos fueron: Ca⁺² (7,5 y 28,1 cmolc dm⁻³), Mg⁺² (6,1 y 4,4 cmolc dm⁻³), K⁺ (1,2 y 1,1 cmolc dm⁻³) y S (7,56 y 5,62 mg kg⁻¹). La textura se clasificó como arcillosa, con predominio de la fracción arcilla en ambas profundidades.

Diseño experimental y manejo de los cultivos

Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con seis dosis de yeso agrícola: 0, 500, 1000, 1500, 2000 y 2500 kg ha⁻¹ y cinco repeticiones. Las unidades experimentales midieron 25 m² totalizando 750 m² de área total. La aplicación de yeso en superficie con dosis única fue realizada en setiembre de 2017 sobre rastrojo del cultivo de maíz. El yeso utilizado estuvo compuesto por 21% de Ca⁺² y 19% de S.

La siembra del cultivo de soja se realizó en forma mecanizada con distanciamiento de 0,50 m entre hileras y 15 plantas por metro, para una densidad de 330.000 plantas ha⁻¹(26). Se utilizó el cultivar Monsoy 6410 caracterizado por su precocidad, crecimiento indeterminado y ciclo promedio de 120 a 130 días⁽²⁷⁾. En sucesión, fue sembrado el cultivo de maíz con distanciamiento entre hileras de 0,5 m y 3 semillas por metro, para una densidad de siembra de 60.000 plantas ha⁻¹(28). Se utilizó la variedad BR 106, caracterizado por su rusticidad, ciclo de 130 días⁽²⁹⁾.

En ambos cultivos se realizó fertilización en la línea de siembra, aplicando 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Superfosfato triple) y 50 kg ha⁻¹ de K₂O (Cloruro de potasio) en el cultivo de soja y 32 kg ha⁻¹ de N (Urea), 82 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 20 kg ha⁻¹ de K₂O en la siembra del cultivo de maíz, más la adición de 46 kg ha⁻¹ de N al voleo a los 20 días después de la emergencia.

Las precipitaciones fueron distribuidas uniformemente durante el periodo experimental, alcanzando la cantidad total de 1621 mm, atendiendo a las necesidades hídricas de los cultivos con requerimiento que varía entre 450 a 800 mm para una máxima producción (Figura 1).

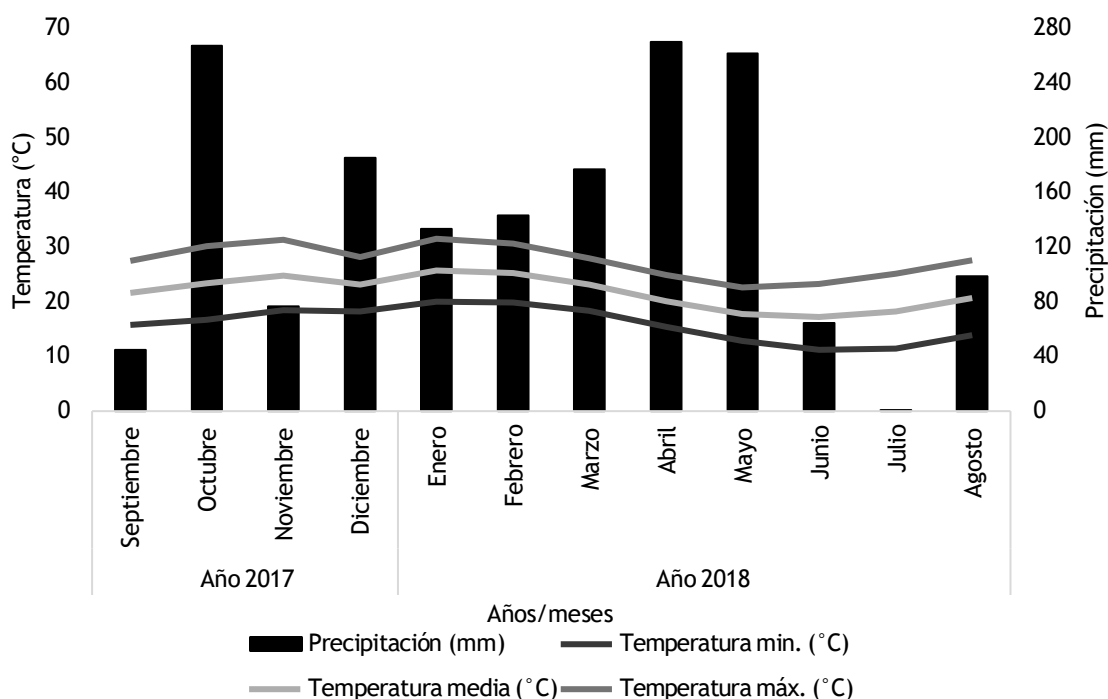


Figura 1. Precipitación, temperatura máxima, media y mínima ocurridas durante el periodo experimental. Salto del Guairá, Canindeyú, Paraguay. Fuente: DINAC, 2018

VARIABLES EVALUADAS

Propiedades químicas del suelo. La determinación de propiedades químicas se realizó 12 meses después de la aplicación de yeso, extrayendo muestras de cada unidad experimental en los perfiles 0–0,10; 0,10–0,20 y 0,20–0,40m de profundidad. El pH se determinó en agua, el tenor de S fue extraído con $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Los niveles de Ca^{+2} y Mg^{+2} por KCl mientras que el K por Mehlich-1⁽³⁰⁾.

Parámetros de crecimiento y rendimiento del cultivo de soja. Fueron seleccionadas aleatoriamente diez plantas de cada parcela útil con dimensión de 16 m². La altura de planta fue determinada utilizando un flexómetro midiendo del cuello al ápice de las plantas seleccionadas, seguidamente se contabilizaron la cantidad de vainas y granos por vaina de las mismas. La masa de mil granos se calculó a partir del peso promedio de cuatro muestras de 100 granos que se multiplicaron por⁽³¹⁾. El rendimiento de soja se determinó cosechando manualmente las parcelas útiles al llegar la madurez fisiológica, trillando y pesando los granos en balanza de precisión, expresando los resultados en kg ha⁻¹.

Parámetros de crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz. Al alcanzar la madurez fisiológica del cultivo de maíz, se evaluaron diez plantas por parcela útil. Se midieron altura de dichas plantas y la altura de inserción de mazorca midiendo con un flexómetro, el diámetro y longitud de mazorca de todas las plantas de la parcela útil se midió con un calibrador Vernier. También se contabilizó el número de mazorcas por hectárea. El rendimiento de grano se determinó cosechando, trillando y pesando en balanza de precisión las mazorcas de las plantas de cada parcela útil, La masa de mil granos se determinó siguiendo el mismo procedimiento empleado para los parámetros evaluados en el cultivo de soja.

Análisis de datos.

Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza; las variables que tuvieron diferencias significativas fueron sometidos a análisis de regresión y comparación de medias por test de Tukey ($p=0,05$). Los cálculos se realizaron utilizando el programa estadístico Assisat[®](32).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades químicas de suelo.

El yeso agrícola, doce meses posteriores a su aplicación no alteró el valor del pH del suelo en los tres perfiles evaluados (Tabla 1), en concordancia con Bortolanza et al. y Fatecha^(33,34). El yeso no posee la capacidad de alterar la acidez del suelo, es lixiviado a zonas más profundas en forma de CaSO_4 o separado en Ca^{+2} y SO_4^{-2} (35), aumentando el contenido del Ca^{+2} en subsuperficie; mientras que el SO_4^{-2} es repelido por coloides orgánicos y otros aniones no modificando el pH del suelo en perfil superficial⁽³⁶⁾. Sin embargo, en perfiles más profundos el SO_4^{-2} puede solubilizarse con facilidad, formando par iónico AlSO_4 reaccionando con Al^{+3} , siendo dicho compuesto menos tóxico a las plantas⁽³⁷⁾.

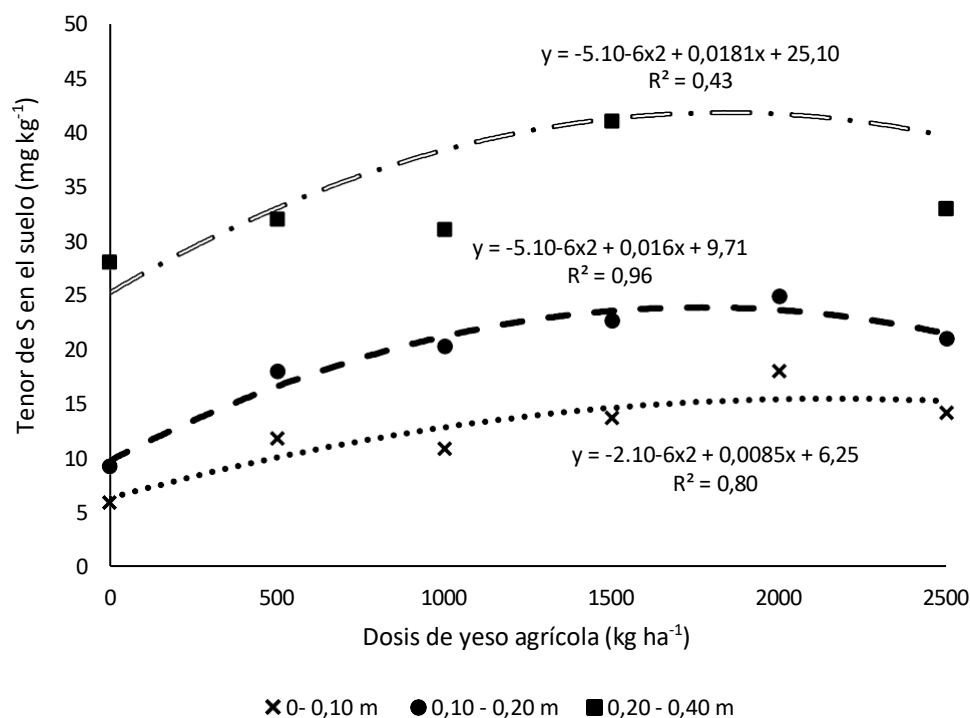
Perfil del suelo (en m)	Dosis de yeso agrícola (kg ha ⁻¹)	pH	----- cmol _c kg ⁻¹ -----		
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺
0-0,10	0	5,45 ^{ns}	6,66 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,46 ^{ns}
	500	5,55	7,12	1,30	0,48
	1000	5,55	6,77	1,07	0,58
	1500	5,31	6,96	1,02	0,56
	2000	5,33	7,01	0,98	0,39
	2500	5,25	6,84	1,11	0,45
	CV	3,2	11,2	19,1	18,1
0,10-0,20	0	4,56 ^{ns}	5,61 ^{ns}	0,83*	0,34 ^{ns}
	500	4,36	6,04	0,86	0,30
	1000	4,36	5,23	0,72	0,30
	1500	4,87	5,53	0,71	0,36
	2000	4,83	5,23	0,62	0,34
	2500	4,65	5,27	0,67	0,30
	CV	6,6	18,5	13,2	15,4
0,20-0,40	0	4,76 ^{ns}	4,43 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,31 ^{ns}
	500	4,84	4,90	0,83	0,28
	1000	5,07	4,23	0,72	0,30
	1500	4,92	5,70	0,77	0,33
	2000	4,85	5,78	0,76	0,34
	2500	4,88	5,49	0,75	0,29
	CV	5,07	16,10	19,01	20,11

Tabla 1. Valores de pH del suelo y niveles de Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^{+} en las camadas de 0-10 m, 0,10-20 m y 0,20-0,40 m en función a dosis de yeso agrícola. Salto del Guairá, Canindeyú, Paraguay.

*significativo a 5% de error, ns= no significativo; CV: coeficiente de variación. kg ha⁻¹: kilogramos por hectárea, cmol_c kg⁻¹: centimol por kilogramo de suelo.

Los niveles de Ca^{+2} y K^{+} en el suelo no fueron afectados por la aplicación de yeso en ninguno de los perfiles evaluados (Tabla 1). En tanto el Mg^{+2} presentó alteración en la profundidad de 0,10 – 0,20 m, donde, a partir de la dosis de 1000 kg ha⁻¹ de yeso, disminuye 0,1 cmol_c kg⁻¹ en su concentración por cada tonelada aplicada, resultado similar reportado por Soratto y Crusciol⁽³⁸⁾. El yeso agrícola se lixivia a través del perfil del suelo, circunstancialmente promoviendo la migración de Ca^{+2} y en ocasiones de K^{+} y Mg^{+2} (20,39,40). En ese contexto Basso et al., mencionan que el movimiento vertical del Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^{+} en suelos con alto contenido de arcilla por aplicación superficial de yeso es escaso⁽¹¹⁾, siendo mayor en suelos arenosos⁽⁴¹⁾.

El contenido de S en el suelo se vio influenciado por la aplicación de yeso agrícola, registrándose un incremento en las tres profundidades evaluadas hasta la dosis de 1500 kg ha⁻¹, a partir de la cual se observó un posterior descenso (Figura 2), coincidiendo con varios autores quienes reportaron aumento del contenido de S por la adición de yeso al suelo, principalmente en perfiles más profundos^(20,33,42). La migración del S pudo deberse a la alta concentración de MO con carga negativa, menor contenido de arcilla, mayor pH y alta presencia de Ca⁺² y Mg⁺ por aplicación de cal agrícola; provocando que el SO₄⁻² se mantenga en la solución de suelo y permita su movimiento a través del perfil del suelo, depositándose en capas más profundas, donde existe mayor contenido de arcilla y de la fracción mineral (con carga positiva) asociado a valores más bajos de pH; reaccionando con estos minerales formándose complejos estables⁽⁴³⁾.



mg kg⁻¹: miligramo por kilogramo de suelo.

Figura 2. Nivel de S en los perfiles de 0 -10 m, 0,10- 20 m y 0,20 – 0,40 m en función a dosis de yeso agrícola. Salto del Guairá, Canindeyú, Paraguay.

Parámetros de crecimiento y de rendimiento del cultivo de soja.

La aplicación de yeso agrícola no influenció en las variables de crecimiento y rendimiento del cultivo de soja (Tabla 2), coincidiendo con Fatecha et al., quienes en experimento análogo observaron resultados similares⁽¹⁶⁾. La ausencia de respuesta puede atribuirse a la homogénea distribución de precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo, con un total de 706 mm (Figura 1), asociado al posible aporte del S atmosférico, pudiendo estar alrededor de 3,2 a 4,5 kg ha⁻¹ año⁻¹⁽³⁹⁾.

cm: centímetro, g: gramo

Dosis de yeso agrícola (kg ha ⁻¹)	Altura de plantas (cm)	Masa de 1000 granos (g)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Número de vainas por planta (unidad)	Granos por vaina (unidad)
0	109 ^{ns}	127 ^{ns}	3005 ^{ns}	75 ^{ns}	2 ^{ns}
500	109	125	3544	65	2
1000	119	125	3681	67	2
1500	120	128	3301	67	3
2000	122	126	3532	83	2
2500	121	129	3557	76	2
CV (%)	9,68	15,89	15,5	15,49	17,39

Tabla 2. Parámetros de crecimiento y rendimiento del cultivo de soja en función dosis de yeso agrícola. Salto del Guairá, Canindeyú, Paraguay. 2019.

Los altos niveles iniciales de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en el perfil superficial del suelo (0,0 – 0,10 m) con 28,1; 6,1 y 4,4 cmol_c dm⁻³, respectivamente; pudieron incidir en la no respuesta de la soja a la adición de yeso. En ese contexto, Neis et al., aseveran que niveles altos de Ca²⁺ y Mg²⁺ en el suelo disminuyen la probabilidad de aumento en los parámetros de rendimiento de soja en función a la adición de yeso⁽⁴⁴⁾. Del mismo modo Tiecher et al., sugiere que para presentar respuesta a la aplicación de yeso debe contar con alta saturación de aluminio (m>10%) y bajo nivel de calcio (Ca< 3,0 cmol_c kg⁻¹) en subsuperficie, además de déficit hídrico⁽³⁸⁾.

Del mismo modo, niveles de S en el suelo, inicialmente de 7,56 mg kg⁻¹, cercanos al nivel crítico del cultivo de 10 mg kg⁻¹⁽⁴⁵⁾, pudieron haber influenciado en la ausencia de respuesta del cultivo a la aplicación de yeso, asociado a que el suelo presentó nivel alto de M.O. (3,31%), resultando suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo, siendo que la mineralización de la M.O. es la principal fuente de S al suelo⁽⁵⁾, coincidiendo con Reinheimer et al., quienes sostienen que la respuesta a la fertilización sulfatada es mayor en suelos con pH alto, pobres en arcilla y MO, bajo cultivos intensivos y sin aporte de S.

Parámetros de crecimiento y de rendimiento del cultivo de maíz.

Los parámetros de crecimiento del cultivo de maíz (Tabla 3) no presentaron diferencias significativas en función a la aplicación de dosis de yeso agrícola, coincidiendo con trabajos similares realizados por Quiñonez, Fatecha y Duarte^(15,33,46), donde fueron registrados altos tenores iniciales de S y MO en el suelo, que posiblemente contribuyeron al aporte de este elemento al cultivo, sin influenciar en las variables de crecimiento del maíz⁽⁴⁷⁾.

Dosis de yeso agrícola (kg ha ⁻¹)	Cantidad de mazorcas por hectárea	Longitud de mazorca (cm)	Altura de inserción de mazorca (cm)	Altura de plantas (cm)
0	59333 ^{ns}	13,72 ^{ns}	148 ^{ns}	197 ^{ns}
500	59000	13,91	163	196
1000	59333	13,83	163	196
1500	58333	13,89	169	196
2000	57667	13,79	166	197
2500	58333	13,52	176	199
CV (%)	2,46	1,86	1,83	1,92

Tabla 3. Parámetros agronómicos del cultivo de maíz en función a dosis de yeso agrícola. Salto del Guairá, Canindeyú, Paraguay.

En cuanto a los parámetros de rendimiento del cultivo de maíz, la masa de mil granos presentó respuesta lineal a las dosis de yeso agrícola, ajustada a la ecuación: masa de mil granos = 0,0199 x (dosis de yeso) + 353,81 (Figura 3); donde por cada kilogramo de yeso aplicado se obtuvo un aumento de 20 g en la masa de mil granos. Contrariamente, Amaral et al., no observaron alteración en el mismo parámetro por la aplicación de yeso, atribuyendo el resultado a la adecuada distribución de lluvias, que favoreció la disponibilidad de agua en el suelo y un desarrollo uniforme del cultivo, situación también observada en el experimento⁽⁴⁸⁾.

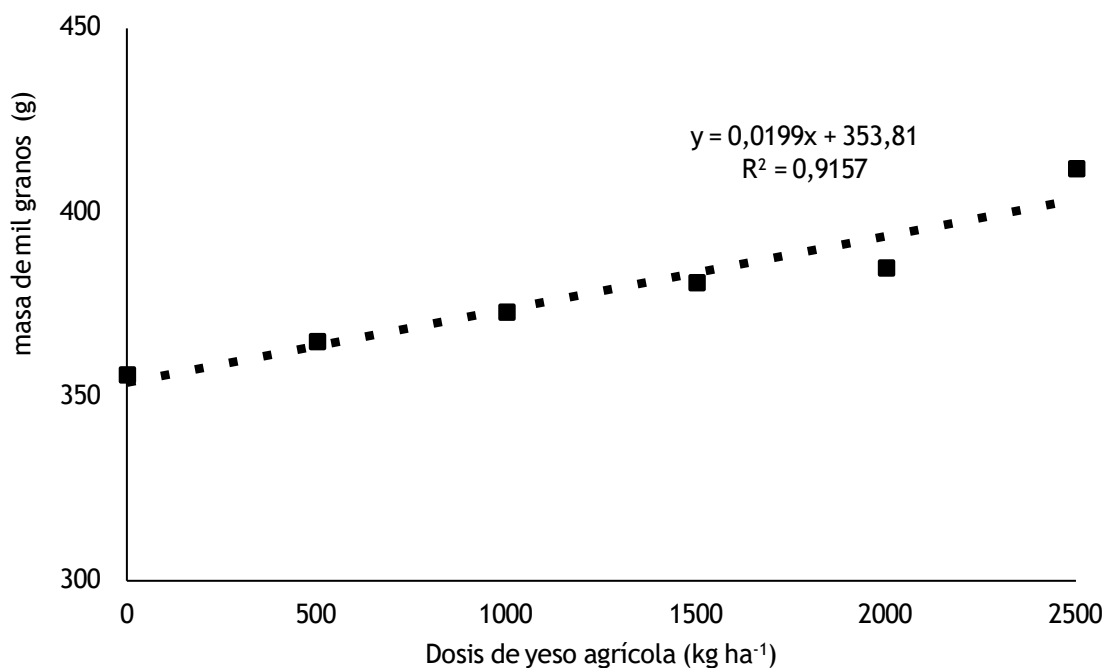


Figura 3. Masa de mil granos de maíz en función a la aplicación de dosis de yeso agrícola. Salto del Guairá, Departamento de Canindeyú, Paraguay.

El rendimiento de maíz aumentó linealmente con la aplicación de yeso (Figura 4), alcanzando un máximo de 10.781 kg ha⁻¹, incrementando 1,41 kg de granos por cada kg de yeso aplicado. A partir de la dosis de 1.000 kg ha⁻¹ de yeso se observó un incremento en el rendimiento, superando en un 26% al testigo.

Diversos autores reportaron aumentos en el rendimiento de maíz con la aplicación de yeso, observándose incrementos lineales con la aplicación de hasta 9.000 kg ha⁻¹ y mejoras en el rendimiento de entre 10, 11 y 18% con dosis máximas entre 5000, 6000 y 6220 kg ha⁻¹(18,49,50).

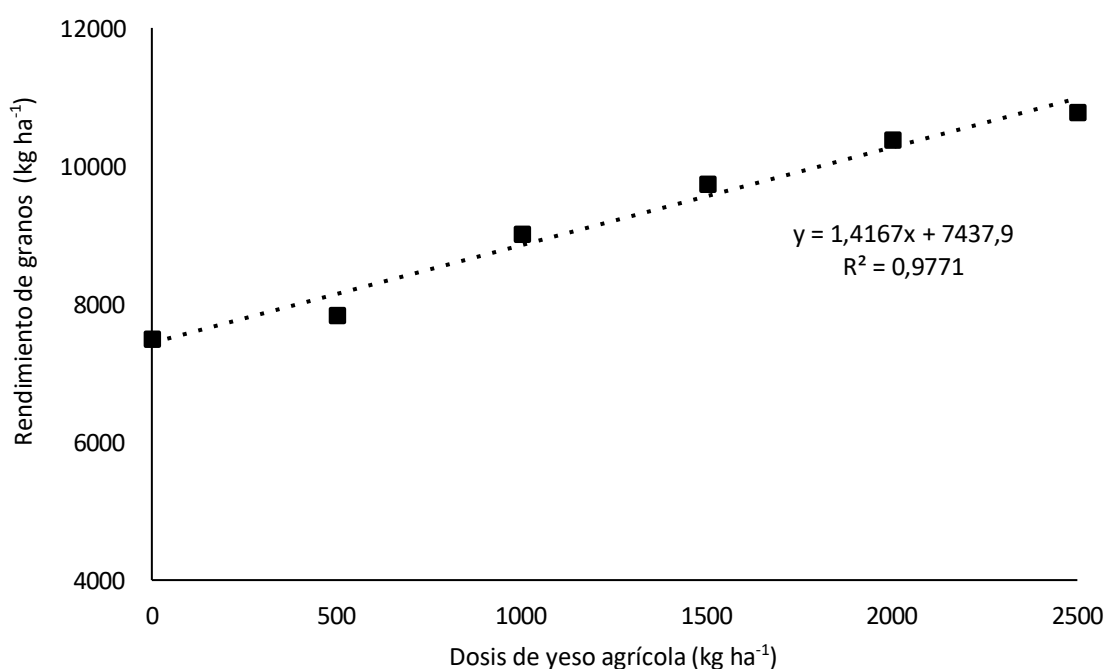


Figura 4. Rendimiento de grano de maíz (kg ha⁻¹) con aplicación de dosis de yeso agrícola. Salto del Guairá, Departamento de Canindeyú, Paraguay.

CONCLUSIONES

La adición de yeso agrícola contribuyó al incremento de S en el suelo en las tres profundidades analizadas.

La aplicación de dosis superiores a 1000 kg ha⁻¹ de yeso provocó una disminución en la concentración de Mg⁺² en el perfil 0,10–0,20 m de suelo.

Los valores de pH, Ca⁺² y K⁺ del suelo no fueron afectados por la adición de yeso.

La aplicación de dosis de yeso no presentó efecto en los parámetros de crecimiento y rendimiento del cultivo de soja.

La aplicación de yeso provocó respuesta lineal en la masa de mil granos y en el rendimiento de granos del maíz.

Declaración de financiamiento:	Los autores declaran financiación propia.
Declaración de conflicto de intereses:	Los autores declaran no tener conflictos de interés.
Declaración de autores:	Los autores aprueban la versión final del artículo.
Contribución de autores:	EMMC: diseño y ejecutó el experimento, recopiló los datos y realizó el análisis estadístico, además de gestionar el financiamiento. DAFF y JWRA: supervisaron el desarrollo del estudio y elaboraron el borrador inicial del artículo. Finalmente, los tres autores revisaron el manuscrito.
Revisión por pares:	Este artículo fue evaluado mediante un proceso de revisión por pares anónimos, conforme al procedimiento de transparencia editorial de la revista. Las observaciones y sugerencias de los revisores fueron consideradas por los autores hasta alcanzar la versión final publicada, garantizando la integridad científica del trabajo y la confidencialidad de los evaluadores.
Disponibilidad de datos:	Los datos están disponibles previa solicitud al autor corresponsal.

REFERENCIAS

1. Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas. Área de siembra, producción y rendimiento. Paraguay: CAPECO; 2022. Disponible en: <https://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento>
2. García Lamothe A, Quincke JA, Sawchik J. Respuesta del cultivo de soja al azufre en argiudoles típicos del sudoeste de Uruguay. Agrociencia Uruguay. 2017; 21(2): 44-53. Disponible en: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v21n2/2301-1548-agro-21-02-00044.pdf>
3. Costa MJD, Rosa Junior EJ, Rosa YBCJ, Souza LCFD, Rosa CBJ. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. Acta Sci Agron. 2007;29(5):701-8. Doi: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v29i5.751>
4. Bartzen BT, Oliveira PSRD, Seidel GO, Hoelscher GL, Piano JT. Resposta do trigo e soja após a aplicação de doses de gesso agrícola. Rev Act Igu. 2020;9(3):113-23. Doi: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v9i3.24834>
5. Sfredo GJ, Lantmann ÁF. Enxofre nutriente necessário para maiores rendimentos da soja. Circular Técnica; 2007. 1-6 p. Disponible en: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/470730/1/2007CircularTecnica.n.53.Enxofre21x28OK.pdf>
6. Rampim L, Lana MDC, Frandoloso JF, Fontaniva S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. Rev Bras Ciênc Solo 2011;35(5):1687-98. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500023>
7. Zandoná RR, Beutler AN, Burg GM, Barreto CF, Schmidt MR. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. Pesqui Agropecu Trop. 2015;45(2):128-37. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v45i30301>
8. Parizotto C, Pandolfo CM, Veiga M. Calcário de conchas, calcário calcítico e gesso na linha de semeadura e seu efeito sobre o rendimento de grãos das culturas. Unoesc & Ciência. 2018; 9(2): 115-120 p.
9. Dominguez OR. Calidad del yeso natural para uso agrícola. Cultivos de verano. Academica; 2006.110-113 p. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50153885/Calidad_de_los_yesos-libre.pdf

10. Monzón ADD, Álvarez JWR, Caceres EG, Fois DAF, Rojas CAL, Santacruz DE. Resposta das culturas de milho e soja à aplicação de gesso com calcário em sistema de plantio direto. Revista Cultivando o Saber. 2022;15:105-18. Disponible en: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/1128>
11. Schmidt F, Tomelero V, Bona FDD. Gesso agrícola e calcário aplicados no sistema de plantio direto com e sem revolvimento do solo. RAC. 2017;29(1):86-93. Doi: <https://doi.org/10.52945/rac.v29i1.97>
12. Mantovani A, Felicio TP, Zilio A, Menosso P, Bulla DP, Mecabô PC. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de gesso e calcário. Scientific Electronic Archives. 2017; 10(5): p. 35-43.
13. Klock, C. Dosis de yeso y su efecto en el pH del suelo y el cultivo de la Soja. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional del Este; 2016.
14. Giménez MB. Residualidad del yeso agrícola en el cultivo de soja en un suelo arenoso. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Asunción; 2017.
15. Quiñónez LR. Yeso agrícola en sucesion soja-maiz en sistema de siembra directa. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Asunción; 2017.
16. Fois DAF, Lana MDC, Alvarez JWR, Frandoloso J, Vera LRQ, Tiecher T. Resposta da soja ao gesso agrícola em plantio direto no Paraguai. Rev Ceres. 2018;65(5):450-62. Doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737X20>
17. Martinez D. Residualidad de la aplicación de yeso agrícola sobre la producción de maíz. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Asunción; 2020.
18. Nora DD, Amado TJC, Bortolotto RP, Ferreira A de O, Keller C, Kunz J. Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. MAGISTRA. 2017; 26(1), 1–10. Disponible en: <https://periodicos.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/3952>
19. Caires EF, Garbuio FJ, Churka S, Joris HAW. Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system. Agronomy Journal. 2011;103(6):1804-14. Doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0192>
20. Pauletti V, Pierri LD, Ranzan T, Barth G, Motta ACV. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. Rev Bras Ciênc Solo. 2014;38(2):495-505. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000>
21. Vicensi M, Müller MML, Kawakami J, Nascimento RD, Michalovicz L, Lopes C. Do rates and splitting of phosphogypsum applications influence the soil and annual crops in a no-tillage system? Rev Bras Ciênc Solo. 2016;40. Doi: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150155>
22. Gelain E, Rosa Junior EJ, Mercante FM, Fortes DG, Souza FRD, Rosa YBCJ. Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. Ciênc agrotec. 2011;35(2):259-69. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000200005>
23. Moda LR, Borges BMMN, Flores RA, Santos CLRD, Prado RDM, Sousa JID. Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica. Agroambiente. 2013;7(2):129. Doi: <https://doi.org/10.18227/1982-8470>
24. López Gorostiaga O, Lesme Brun J. Grandes grupos de suelos de la región Oriental del Paraguay; 2024.
25. Dirección de Meteorología e Hidrología. Mapas normales de precipitación mensual y annual; 2018. Disponible en: <https://www.meteorologia.gov.py/adm/up>
26. Petter FA, Silva JAD, Zuffo AM, Andrade FR, Pacheco LP, Almeida FAD. Elevada densidade de sementeira aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. Bragantia. 2016;75(2):173-83. Doi: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.447>
27. Navarro. Monsoy® apresenta variedades com tecnologia INTACTA RR2 PRO™ para o Paraná. 2018. Disponible en: <https://revistacultivar.com.br/noticias/monsoy-apresenta-variedades>
28. Hasang Moran ES, García Bendeúz SJ, Carrillo Zenteno MD, Durango Cabanilla WD, Medina Litardo RC, Lombeida García ED. Evaluación de sistemas productivos de maíz, sobre la sostenibilidad económica. Rev Soc cient Parag 2022;27(1):8-30. Doi: <https://doi.org/10.32480/rscp.2022.27.1.18>
29. Pereira Filho IA. Cultivares de milho para safra 2022/2023 Sete Lagoas; 2022. Disponible en: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1150188/1/Documentos-272-Cultivares-de-milho-para-safra-2022-2023.pdf>
30. Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG. Manual de métodos de análise de solo. 3ra ed. Brasília: Embrapa; 2017. Disponible en: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>

31. Navarro M. Desempeño fisiológico de las semillas de árboles leguminosos de uso múltiple en el trópico. Matanzas: Estación experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. 2003; 2(1). Disponible en: <https://acortar.link/4Kx791>
32. Maldonado W. Agroestat-Online statistical analyses of experimental designs; 2019.
33. Fatecha Fois DA. Produtividade das culturas de soja e milho e alterações dos Atributos químicos do solo em função da aplicação do gesso agrícola no Paraguai. [Tesis de postgrado]. Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná; 2018.
34. Bortolanza DR, Klein VA, Klein C, Levinski F. pH de Solo Sob Aplicação Superficial e Incorporada de Calcário e Gesso. Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo. 2014; 21(4): p. 1-3.
35. Tiecher T, Pias OHDC, Bayer C, Martins AP, Denardin LGDO, Anghinoni I. Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brazil: a systematic review. Rev Bras Ciênc Solo. 2018;42. Doi: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170025>
36. Medeiros Saldanha EC, Tavares da Rocha A, Almeida de Oliveira EC, Araújo do Nascimento CW, Freire FJ. Uso do gesso mineral em latossolo cultivado com cana de açúcar. Caatinga. 2007; 20(1):36-42. Disponible en: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/109/pdf>
37. Nogueira KB, Cassiano Garcia R, Rezende Zuffo Borges MC, Betiolo Troleis MJ, Ferreira Barreto R, Pacola Oliveira M. Atributos físicos do solo e matéria orgânica sob dois manejos e efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. 2016; 115(1):45-54. Disponible en: [http://revista-
vieja.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/284](http://revista-vieja.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/284)
38. Peres Soratto R, Costa Crusciol C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e Gesso em sistema plantio direto Recém-implantado. Revista Brasileira de Ciencias de Solo. 2008; 35, 675-688. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200022>.
39. Peñuela J, Hernandez M, Rodriguez J. Efecto del yeso sobre las características químicas de un Oxisol de la Orinoquia colombiana cultivado con lima ácida Tahití. Temas agrarios. 2018; 23(2):154-163. Disponible en: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/1299/1567>
40. Tiecher T, Denardin LGDO, Martins AP, Pias OH, Nunes LR, Tiecher TL, et al. Dynamics of sulfate and basic cations in soil solution as affected by gypsum fertilization in an Ultisol of Southern Brazil. Archives of Agronomy and Soil Science. 2019 ;65(14):1998-2012. Doi: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1587748>
41. Watanabe S. Aplicación de yeso y cal agrícola en la sucesión soja-trigo en siembra directa en un Ultisol. [Tesis de postgrado]. Universidad Nacional de Asunción; 2013.
42. Serafim M, Lima J, Lima V, Zeviani W, Pessoni P. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. Bragantia. 2012; 71(1):75-81. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012005000006>
43. Neis L, Paulino HB, Souza EDD, Reis EFD, Pinto FA. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. Rev Bras Ciênc Solo. 2010;34(2):409-16.409-416. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200014>
44. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina; 2016.
45. Duarte, A. Producción de maíz – soja y alteraciones de parámetros químicos del suelo por aplicación de yeso con cal agrícola. [Tesis de postgrado]. Universidad Nacional de Asunción; 2019.
46. Melo LCA, Avanzi JC, Carvalho R, Souza FSD, Pereira JLAR, Mendes ADR, et al. Nutrição e produção de matéria seca de milho submetido a calagem e adubação sulfatada. Pesq Agropec Trop [Internet]. 6 de abril de 2011 [citado 14 de octubre de 2025];41(2). Doi: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i2.8685>
47. Amaral LA, Ascari JP, Duarte WM, Mendes IRN, Santos ES, Julio OLL. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. Agrarian. 2017;10(35):31. Doi: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v10i35.4139>
48. Oliveira Ferreira A, Carneiro Amado TJ, Dalla Nora D, Keller C. Mudança no conteúdo de carbono e cálcio em Latossolo melhorado por gesso e calcário no Rio Grande do Sul. Ciencia Del Suelo. 2013; 31(1):1-13.
49. Michalovicz L, Müller MML, Foloni JSS, Kawakami J, Nascimento RD, Kramer LFM. Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till. Rev Bras Ciênc Solo. 2014;38(5):1496-505. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500015>

50. Minato EA, Esper Neto M, Sakurada RL, Inoue TT, Batista MA. Foliar macronutrient contents and maize (*Zea mays* L.) production in response to gypsum application in an oxisol. *Rev. Sci. Agr. Paranaensis*. 2017;16(2):219-24. Doi: <https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v16n1p219-224>