

**PRODUCCIÓN DE MAÍZ – SOJA Y ALTERACIONES DE PARÁMETROS
QUÍMICOS DEL SUELO POR APLICACIÓN DE YESO CON CAL
AGRÍCOLA**

ALDER DELOSANTOS DUARTE MONZÓN

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de *Magister Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial*. Programa de Postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Dirección de Postgrado
San Lorenzo – Paraguay
2019

**PRODUCCIÓN DE MAÍZ – SOJA Y ALTERACIONES DE PARÁMETROS
QUÍMICOS DEL SUELO POR APLICACIÓN DE YESO CON CAL
AGRÍCOLA**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: FERTILIDAD DE SUELOS Y
NUTRICIÓN DE PLANTAS**

ALDER DELOSANTOS DUARTE MONZÓN

Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Diego Augusto Fatecha Fois

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Jimmy Walter Rasche Álvarez

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de *Magister Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial*. Programa de Postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Agrarias

Dirección de Postgrado

San Lorenzo – Paraguay

2019

**DATOS INTERNACIONALES DE CATALOGACIÓN EN LA PUBLICACIÓN (CIP)
DPTO. DE BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS / UNA**

Duarte Monzón, Alder Delosantos.

Producción de maíz - soja y alteraciones de parámetros químicos del suelo por aplicación de yeso con cal agrícola. / Alder Delosantos Duarte Monzón. – San Lorenzo, Paraguay: Dirección de Postgrado, FCA, UNA, 2019.

xiv, 75 h. : tablas, figuras ; 29 cm.

Incluye bibliografías y anexos.

Tesis (Magister Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial) – Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Dirección de Postgrado, 2019.

1. pH del suelo. 2. Suelo - Propiedades fisicoquímicas. 3. Cal agrícola - Aplicación. 4. Yeso - Aplicación. 5. Sulfato de calcio. 6. Yeso. 7. Maíz - Producción. 8. Soja - Producción. 9. Rendimiento. 10. Tesis y disertaciones académicas - Paraguay. I. Título.

CODFCA 12.19.746

CDD: 631.821

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Dirección de Postgrado

**PRODUCCIÓN DE MAÍZ – SOJA Y ALTERACIONES DE PARÁMETROS
QUÍMICOS DEL SUELO POR APLICACIÓN DE YESO CON CAL
AGRÍCOLA**

Esta tesis fue aprobada por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el grado de *Magister Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial*. Programa de Postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias/UNA.

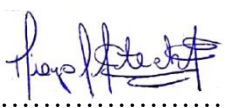
Autor: Alder Delosantos Duarte Monzón



.....

Miembros de la Mesa Examinadora:

Prof. Ing. Agr. Dr. Diego Augusto Fatecha Fois



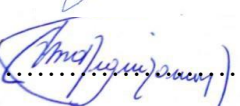
.....

Prof. Ing. Agr. Dr. Jimmy Walter Rasche Álvarez



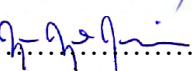
.....

Prof. Ing. Agr. Dr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas



.....

Prof. Ing. Agr. Dr. Juan José Bonnin Acosta



.....

San Lorenzo – Paraguay, 28 de octubre de 2019

DEDICATORIA

*A mi querido padre Alejandro,
quien es mi ejemplo de constancia y dedicación.*

*A mi querida madre Luisa,
quien es mi fortaleza e inspiración diaria.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso y a la Virgen María por engrandecerme espiritualmente, mantenerme con salud, guiar mis pasos y por darme la fuerza necesaria para seguir siempre adelante y alcanzar mis sueños.

A mis padres Alejandro y Luisa por la confianza de siempre, el constante e incondicional apoyo, a quienes debo este triunfo profesional, por todo su trabajo y dedicación para darme una formación académica y sobre todo humanista y espiritual. De ellos es este triunfo y para ellos es todo mi agradecimiento.

A mis hermanos por la ayuda que siempre me han brindado, por sus consejos, apoyo moral e incondicional, por estar siempre ahí.

A Adriana Morel, compañera de vida, amiga incondicional, por su apoyo, confianza y consejos en todos los momentos de la vida.

A mis orientadores Ing. Agr. Dr. Diego Augusto Fatecha Fois, Ing. Agr. Dr. Jimmy Walter Rasche Alvarez y Ing. Agr. Dr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas, por el apoyo, confianza, sus excelentes guías para esta investigación y simplemente por ser personas increíbles.

Agradezco al equipo de Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNA, Campus San Lorenzo, en especial a los profesores Geol. MSc. Higinio Moreno y Q.A. MSc. Doralicia Zacarías, por la paciencia y ayuda en la realización del análisis química.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción en especial al Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, por el apoyo brindado para la realización del trabajo de Tesis.

Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), por el fortalecimiento a postgrados nacionales a través del Programa de Incentivos para la Formación de Docentes-Investigadores y por el financiamiento de la Tesis dentro del Marco del Proyecto 14-INV-130 “Manejo Sostenible de la Fertilidad del Suelo para la Producción de Alimentos”.

A la Cooperativa Volendam, en especial Ing. Agr. Pedro Viveros y al Sr. Albert Ens, por la gran colaboración en facilitar el terreno, maquinarias e implementos para la realización del trabajo de Tesis.

A mis compañeros y amigos Eugenio González, Guido Samudio y Derlis Enciso por la ayuda brindada para la ejecución del presente experimento. Y los demás compañeros de la maestría por la ayuda, la comprensión y la amistad brindada durante estos años de estudio.

A los alumnos de graduación de la Carrera Ingeniería Agronómica, FCA/UNA, específicamente a Guido Mario, José Bogado, Fernando Martínez y Juan José Espínola, por el apoyo en los trabajos de campo y laboratorio.

PRODUCCIÓN DE MAÍZ – SOJA Y ALTERACIONES DE PARÁMETROS QUÍMICOS DEL SUELO POR APLICACIÓN DE YESO CON CAL AGRÍCOLA

Autor: ALDER DELOSANTOS DUARTE MONZÓN
Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Diego Augusto Fatecha Fois
Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Jimmy Walter Rasche Álvarez
Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas

RESUMEN

La agricultura mecanizada es uno de los principales rubros que impulsa la economía de Paraguay. La región Oriental se caracteriza por presentar predominio de suelos con altos niveles de acidez, que limitan el desarrollo de las plantas, propiciando una baja productividad, que pueden ser corregidos con el uso de cal agrícola combinado con yeso agrícola neutralizando la acidez, reduciendo elementos tóxicos y proporcionando calcio, magnesio y azufre al suelo, inclusive hasta camadas subsuperficiales. El objetivo de esta investigación es evaluar la producción de maíz-soja en sucesión y las alteraciones de algunos parámetros químicos del suelo, por aplicación de yeso y cal agrícola. El experimento se realizó en Villa del Rosario, Departamento San Pedro. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar, dispuestos en parcelas divididas, en cuatro bloques. El factor A correspondió a la cal agrícola, con y sin aplicación (0 y 2.000 kg ha^{-1}), el factor B a las dosis de yeso agrícola (0 , 150 , 300 , 450 y 600 kg ha^{-1}). Cada unidad experimental tuvo una dimensión de 6 m de largo por 6 m de ancho (36 m^2), siendo el total del área utilizada de 1.440 m^2 . Fue sembrado maíz en marzo de 2018 y soja en noviembre de 2018. Después de la cosecha de los cultivos fueron colectadas las muestras de suelos. En el cultivo de maíz fueron evaluadas altura de planta, altura de inserción de mazorca, número de hojas por planta, diámetro del tallo, longitud y diámetro de espigas, peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento de granos. En el cultivo de soja, altura de planta, número de vainas por planta, peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento de granos. Las muestras del suelo fueron colectadas de las camadas de $0-10$, $10-20$ y $20-40 \text{ cm}$ para análisis de $\text{pH H}_2\text{O}$, pH SMP , Al^{+3} , H+Al , disponibilidad de Ca^{+2} , Mg^{+2} , S , P y K^+ , saturación por bases y saturación por Al^{+3} . Los parámetros de crecimiento y componentes de productividad del maíz y soja no fueron influenciados por la aplicación del yeso y cal agrícola, excepto en la altura de planta de soja, donde hubo incremento de $7,47 \text{ cm}$ con la aplicación de cal. A los 5 meses posterior a la aplicación del yeso se observó incremento en los tenores de S en las camadas $0-10$ y $10-20 \text{ cm}$, pero a los 12 meses posteriores no hubo efecto. El pH , los tenores de P , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al , saturación por bases y saturación por Al no fueron afectados por la aplicación del yeso y cal agrícola, excepto el pH y Ca^{+2} que fueron alterados por la cal en la camada $0-10$. Los tenores de K^+ fueron influenciados por el yeso agrícola en la camada $0-10 \text{ cm}$ a los 5 meses, pero no hubo efecto significativo a los 12 meses posteriores.

Palabras clave: sulfato de calcio, carbonato de calcio, suelo arenoso.

PRODUÇÃO DE MILHO – SOJA E ALTERAÇÕES DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO POR APLICAÇÃO DE GESSO COM CALCÁRIO

Autor: ALDER DELOSANTOS DUARTE MONZÓN

Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Diego Augusto Fatecha Fois

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Jimmy Walter Rasche Álvarez

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas

RESUMO

A agricultura mecanizada é uma das principais áreas que impulsiona a economia do Paraguai. A região Oriental caracteriza-se pela predominância de solos com altos níveis de acidez, que limitam o desenvolvimento de plantas, levando a baixa produtividade, que pode ser corrigida com o uso de calcário combinada com gesso neutralizando a acidez, reduzindo elementos tóxicos e fornecendo o cálcio, o magnésio e o enxofre ao solo, incluindo ninhadas do subsuperfície. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a produção de milho-soja em sucessão e alterações de alguns parâmetros químicos do solo, por aplicação de gesso e calcário. O experimento foi conduzido em Villa del Rosario, departamento de San Pedro. O delineamento experimental utilizado foi de blocos completos ao acaso, dispostos em parcelas divididas, em quatro blocos. O fator A correspondeu à calagem, com e sem aplicação (0 e 2.000 kg há⁻¹), fator B em doses de gesso (0, 150, 300, 450 e 600 kg há⁻¹). Cada unidade experimental possuía uma dimensão de 6 m de comprimento por 6 m de largura (36 m²), sendo a área total utilizada de 1.440 m². O milho foi semeado em março de 2018 e soja em novembro de 2018. Após a colheita das culturas, foram coletadas amostras de solo. No cultivo do milho, avaliaram-se altura da planta, altura de inserção da espiga, número de folhas por planta, diâmetro do caule, comprimento e diâmetro dos picos, peso de mil grãos, peso hectolítrico e produtividade de grãos. No cultivo de soja, altura da planta, número de vagens por planta, peso de mil grãos, peso hectolítrico e produtividade de grãos. Amostras de solo foram coletadas de ninhadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm para análise de pH de H₂O, pH SMP, Al⁺³, H+Al, Ca⁺², Mg⁺², S, P e K⁺ disponibilidade, saturação por base e saturação por Al⁺³. Os parâmetros de crescimento e os componentes de produtividade do milho e da soja não foram influenciados pela aplicação de gesso e calcário, exceto na altura da planta de soja, onde houve um aumento de 7,47 cm com a aplicação de calcário. Aos 5 meses após a aplicação do gesso, houve um aumento nos tenores de S nas ninhadas 0-10 e 10-20 cm, mas aos 12 meses após não haver efeito. O pH, os tenores de P, Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³, H+Al, saturação por base e saturação por Al não foram afetados pela aplicação de gesso e Cal agrícola, exceto pH e Ca⁺² que foram alterados pôr o calcário na profundidade de 0-10 cm. Os tenores de K⁺ foram influenciados pelo gesso na profundidade de 0-10 cm em 5 meses, mas não houve efeito significativo aos 12 meses.

Palavras-chave: sulfato de cálcio, carbonato de cálcio, solo arenoso.

PRODUCTION OF CORN-SOYBEAN AND ALTERATIONS OF CHEMICAL PARAMETERS OF THE SOIL BY APPLICATION OF GYPSUM WITH LIMESTONE

Author: ALDER DELOSANTOS DUARTE MONZÓN
Advisor: Prof. Ing. Agr. Dr. Diego Augusto Fatecha Fois
Co- Advisor: Prof. Ing. Agr. Dr. Jimmy Walter Rasche Álvarez
Co- Advisor: Prof. Ing. Agr. Dr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas

SUMMARY

Mechanized agriculture is one of the main items that drives the economy of Paraguay. The Eastern region is characterized by predominantly soils with high levels of acidity, which limit the development of plants, promoting low productivity, which can be corrected with the use of agricultural lime combined with agricultural plaster neutralizing acidity, reducing toxic elements and providing calcium, magnesium and sulfur to the soil, including up to subsurface litters. This research aims to evaluate the production of corn-soybeans in succession and the alterations of some chemical parameters of the soil, by application of plaster and agricultural lime. The experiment was conducted in Villa del Rosario, San Pedro Department. The experimental design used was randomized complete blocks, arranged in divided plots, in four blocks. Factor A corresponded to agricultural lime, with and without application (0 and 2,000 kg ha⁻¹), factor B at doses of agricultural gypsum (0, 150, 300, 450 and 600 kg ha⁻¹). Each experimental unit had a dimension of 6 m long and 6 m wide (36 m²), with the total area used being 1,440 m². Corn was planted in March 2018 and soybeans in November 2018. After harvesting the crops, soil samples were collected. In the corn crop, plant height, ear insertion height, number of leaves per plant, stem diameter, length and diameter of spikes, weight of a thousand grains, hectolitic weight and grain yield were evaluated. In soybean cultivation, plant height, number of pods per plant, weight of one thousand grains, hectolitic weight and grain yield. Soil samples were collected from litters of 0-10, 10-20 and 20-40 cm for analysis of pH H₂O, pH SMP, Al⁺³, H+Al, availability of Ca⁺², Mg⁺², S, P and K⁺, base saturation and Al⁺³ saturation. The growth parameters and productivity components of corn and soybeans were not influenced by the application of the plaster and agricultural lime, except in the height of the soybean plant, where there was an increase of 7,47 cm with the application of lime. At 5 months after the application of the plaster, an increase in the levels of S was observed in litters 0-10 and 10-20 cm, but at 12 months later there was no effect. The pH, the levels of P, Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³, H+Al, base saturation and Al⁺³ saturation were not affected by the application of the plaster and agricultural lime, except for pH and Ca⁺² which were altered by lime in litter 0-10. The tenors of K⁺ were influenced by the agricultural plaster in the litter 0-10 cm at 5 months, but there was no significant effect at 12 months later.

Keywords: calcium sulfate, calcium carbonate, sandy soil.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
HOJA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	v
RESUMO.....	vi
SUMMARY.....	vii
TABLA DE CONTENIDO.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ANEXOS.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Cultivos de granos: características generales.....	3
2.2 Acidez del suelo.....	4
2.3 Encalado - enyesado y corrección de acidez.....	4
2.4 El azufre en el suelo y en la planta.....	5
2.5 Uso de cal y yeso agrícola en la productividad de los cultivos maíz y soja.....	7
2.6 Alteraciones de propiedades químicas del suelo por aplicaciones de cal y yeso agrícola.....	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1 Localización y caracterización del área experimental.....	12
3.2 Diseño experimental y tratamientos.....	14
3.3 Implantación y manejo del experimento.....	16
3.4 Variables de medición.....	17
3.4.1 Parámetros químicos del suelo.....	17
3.4.2 Variables de crecimiento y componentes de rendimiento del maíz.....	17
3.4.3 Variables de crecimiento y componentes de rendimiento de la soja.....	19
3.5 Método de análisis de datos.....	19
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1 Efecto de la aplicación de cal y yeso agrícola en parámetros químicos del suelo.....	21

TABLA DE CONTENIDO

4.2 Efecto de la aplicación de cal y yeso agrícola en el cultivo de maíz	37
4.3 Efecto de la aplicación de cal y yeso agrícola en el cultivo de soja.....	41
5. CONCLUSIONES	45
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
7. ANEXOS	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características químicas del suelo del área experimental.....	14
Tabla 2. Tenores de S (mg kg^{-1}) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.....	22
Tabla 3. Tenores de pH en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.....	24
Tabla 4. Tenores de P (mg kg^{-1}) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.....	26
Tabla 5. Tenores de K^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.....	27
Tabla 6. Tenores de Ca^{+2} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.....	29
Tabla 7. Tenores de Mg^{+2} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.....	31
Tabla 8. Tenores de Al^{+3} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.....	33
Tabla 9. Tenores de H+Al ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.....	34
Tabla 10. Tenores de saturación por bases (V%) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.	35
Tabla 11. Tenores de saturación por Al (m%) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.....	36
Tabla 12. Valores medios de altura de planta, altura de inserción de mazorca y número de hojas por planta de maíz en función a dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.	37

LISTA DE TABLAS

Tabla 13. Valores medios diámetro del tallo, longitud de espiga y diámetro de espiga del maíz en función a dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.....	38
Tabla 14. Valores medios de peso hectolítrico, peso de mil semillas y rendimiento de granos del maíz en función a dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.....	39
Tabla 15. Valores medios de altura de planta, número de vainas por planta, peso hectolítrico de soja en función a dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.....	41
Tabla 16. Valores medios de peso de mil granos y rendimiento de granos la soja en función a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.	42

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Ubicación del experimento en la Colonia Volendam, Distrito de Villa del Rosario, Departamento de San Pedro. 12
- Figura 2. Precipitación pluviométrica mensual registrada en los periodos de marzo a agosto del 2018 (a) y noviembre del 2018 a febrero del 2019 (b), durante la ejecución del experimento en campo en el Distrito Villa del Rosario. Departamento San Pedro. Fuente: Fecoprod (2019)..... 13
- Figura 3. Distribución de tratamientos en la parcela experimental, Colonia Volendam, Distrito Villa del Rosario, Dpto. San Pedro, 2018/2019..... 15
- Figura 4. Tenores de S (mg kg^{-1}) en el suelo a los 5 (a: sin cal; b: con cal) y 12 (c: sin cal; d: con cal) meses posteriores a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}) Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019. *Significativo ($p < 0,05$); ns =no significativo..... 23
- Figura 5. Tenores de K^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en el suelo a los 5 (a: sin cal; b: con cal) y 12 (c: sin cal; d: con cal) meses posteriores a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}) Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019. *Significativo ($p < 0,05$); ns =no significativo..... 28
- Figura 6. Tenores de Ca^{+2} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en el suelo a los 5 (a: sin cal; b: con cal) y 12 (c: sin cal; d: con cal) meses posteriores a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}) Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019. *Significativo ($p < 0,05$); ns =no significativo..... 30
- Figura 7. Tenores de Mg^{+2} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en el suelo a los 5 (a: sin cal; b: con cal) y 12 (c: sin cal; d: con cal) meses posteriores a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}) Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019. *Significativo ($p < 0,05$); ns =no significativo..... 32

LISTA DE ANEXOS

1A. Análisis de varianza de altura de planta del maíz	59
2A. Análisis de varianza de altura de inserción de mazorca del maíz	59
3A. Análisis de varianza de número de hojas por planta del maíz	59
4A. Análisis de varianza de diámetro del tallo del maíz.....	60
5A. Análisis de varianza de longitud de espiga del maíz.....	60
6A. Análisis de varianza de diámetro de espiga del maíz.....	60
7A. Análisis de varianza de peso hectolítrico del maíz	61
8A. Análisis de varianza de peso mil granos del maíz.....	61
9A. Análisis de varianza de Rendimiento de granos del maíz.....	61
10A. Análisis de varianza de planta de soja.....	62
11A. Análisis de varianza del número de vainas por planta de soja	62
12A. Análisis de varianza del peso hectolítrico de soja.....	62
13A. Análisis de varianza del peso de mil granos de soja	63
14A. Análisis de varianza del rendimiento de granos de soja.....	63
15A. Datos generales del cultivo de maíz en función a aplicación del yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.....	64
16A. Datos de análisis del suelo extraído de la camada 0-0,1 m a los 5 meses después de la aplicación de yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.	65
17A. Datos de análisis del suelo extraído de la camada 0,1-0,2 m a los 5 meses después de la aplicación de yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.	66
18A. Datos de análisis del suelo extraído de la camada 0,2-0,4 m a los 5 meses después de la aplicación de yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.	67
19A. Datos generales del cultivo de soja en función a aplicación del yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.....	68
20A. Datos de análisis del suelo extraído de la camada 0-0,1 m a los 12 meses después de la aplicación de yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.	69
21A. Datos de análisis del suelo extraído de la camada 0,1-0,2 m a los 12 meses después de la aplicación de yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.	70

LISTA DE ANEXOS

22A. Datos de análisis del suelo extraído de la camada 0,2-0,4 m a los 12 meses después de la aplicación de yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.	71
23A. Valores promedio de la resistencia mecánica del suelo a la penetración en función a la aplicación de yeso y cal agrícola después de 12 meses hasta 50 cm de profundidad. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.	72
24A. Aplicación de los tratamientos en estudio (yeso y cal agrícola).	72
25A. Aplicación de insecticida.	73
26A. Cosecha de los cultivos y extracción de muestras de suelos (5 y 12 meses)	73

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura mecanizada es uno de los motores principales que impulsan la economía del Paraguay, basada en la sucesión de cultivos extensivos constituidos por soja, maíz y trigo, producidos bajo un sistema conservacionista (Siembra directa), con empleo de avanzada tecnología, por ende, con potencial para la buena precisión en la aplicación de insumos.

La Región Oriental del Paraguay, presenta predominio de suelos con niveles altos de acidez, toxicidad de aluminio, y baja disponibilidad de nutrientes que limitan el crecimiento de los cultivos, propiciando baja productividad. La aplicación de la cal agrícola es una práctica utilizada para neutralizar la acidez del suelo, reducir la actividad de los elementos tóxicos, proporcionar calcio y magnesio al suelo, incrementar la disponibilidad de nutrientes, aportando de esta manera condiciones favorables para el desarrollo normal del sistema radicular de las plantas y mejorar la productividad de los cultivos.

La aplicación de la cal agrícola bajo sistema de siembra directa es realizada en la superficie del suelo, sin incorporación, lo que promueve una reacción lenta, limitada y localizada, produciendo efecto solo en capas superficiales en los primeros centímetros del perfil, formando una capa más corregida y fértil, debido a la baja solubilidad y movilidad vertical del calcáreo en el suelo, no corrigiendo de esta forma la deficiencia de calcio, magnesio y acidez del suelo en capas subsuperficiales, las cuales continúan ácidas, con alta concentración de Al intercambiable y bajo contenido de bases intercambiables. Considerando que la cal agrícola solo puede reaccionar en capas superficiales, el uso del yeso agrícola es una buena alternativa para mejorar las condiciones del suelo y complementar el efecto del calcáreo para el desarrollo radicular en profundidad.

El yeso agrícola presenta una alta movilidad debido a la mayor solubilidad con relación al calcáreo, por la cual se transloca en capas subsuperficiales del perfil del suelo mediante la percolación del agua, aumentando la concentración de calcio intercambiable y reduciendo la actividad tóxica del aluminio, lo que se traduce en una mejor condición para el desarrollo del sistema radicular, con mayor exploración del perfil y mayor absorción de aguas y nutrientes por las plantas.

El objetivo general de la presente investigación fue determinar el efecto de la aplicación de dosis de yeso con y sin cal agrícola en la sucesión de maíz-soja, y en algunas propiedades químicas del suelo. Los objetivos específicos fueron determinar pH del suelo, K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} y Al^{+3} intercambiables, P, S, H+Al, saturación por bases y saturación por Al en las capas del suelo 0 - 0,1, 0,1 - 0,2 y 0,2 - 0,4 m; también fueron determinados los parámetros de crecimiento y componentes de rendimiento de los cultivos maíz y soja, bajo un sistema de siembra directa (SSD).

Para el trabajo se plantearon las siguientes hipótesis: la aplicación conjunta de yeso y cal agrícola influenciará sobre las condiciones químicas del suelo en la capa superficial 0 - 0,1 m y subsuperficial 0,1 - 0,2 y 0,2 - 0,4 m, y proporcionará aumento en el rendimiento de maíz zafrita y soja. Por otro lado, los niveles de azufre, calcio y magnesio intercambiables se incrementarán significativamente con la adición de dosis crecientes de yeso agrícola en el perfil del suelo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cultivos de granos: características generales

La soja fue introducida en Paraguay, aproximadamente en 1921, expandiéndose como rubro de producción agrícola recién en la década del 60 e intensificándose su producción a partir de 1968 (Maldonado 2005). Actualmente la soja es el cultivo agrícola de mayor importancia, la que mayor renta produce en el Paraguay. El área de siembra en el periodo 2018/2019 fue de aproximadamente 3.500.000 ha con un rendimiento promedio nacional de 2.216 kg ha⁻¹, posicionando al país como el 6° mayor productor, con más de 7.854.600 toneladas producidas y 4° mayor exportador de granos de soja (CAPECO 2019).

El maíz, (*Zea mays* L.) es una gramínea anual originaria y domesticada por los pueblos indígenas en el centro de México (Acosta 2009). En Paraguay el área de siembra del maíz en el periodo 2017/2018 fue de aproximadamente 760.000 ha con un rendimiento promedio nacional de 5.526 kg ha⁻¹, y con una producción total de 4.200.000 toneladas (CAPECO 2019). Tanto la soja como el maíz son sembrados principalmente bajo un sistema de siembra directa, con 90% de su producción (Cubilla et al. 2012).

El suelo ideal para el cultivo de maíz es de textura intermedia, de franco a franco-arcilloso. Los suelos para el maíz deben ser bien drenados y aireados, al ser este uno de los cultivos menos tolerantes a la baja difusión de aire en el suelo. El pH ideal para la siembra de maíz es de 5,5 a 7,0 existiendo fuera de estos límites problemas de toxicidad de ciertos elementos (Ortigoza et al. 2019). La soja prospera en casi todos los tipos de suelo, excepto en los muy arenosos. Los mejores rendimientos se obtienen en suelos de alta fertilidad, con un pH de 5,6 a 7,5 (Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG 2006).

2.2 Acidez del suelo

Los suelos de la Región Oriental se caracterizan por presentar alta acidez, que interfiere en la disponibilidad de nutrientes (Fatecha 2004; Bataglia 2011; Arce 2017). El proceso de acidificación del suelo consiste en la pérdida o remoción de cationes alcalinos (K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}) a capas más profundas del suelo mediante la percolación del agua de lluvia o de sistema de riego y aumento de la concentración de Al^{+3} , Fe^{+3} y Mn^{+4} , que pueden sufrir hidrólisis ácida, o también por la extracción continua en la cosecha de granos de los cultivos (Mateus 2003; Zapata 2004).

La acidez del suelo es uno de los principales obstáculos que incide directamente en la fertilidad, ocasionando mayor o menor grado de solubilidad de los elementos nutricionales para las plantas, afectando su productividad a lo largo del tiempo. Igualmente incide en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), en la absorción de elementos y en la presencia de Al^{+3} en forma tóxica para las plantas (Zapata 2004).

En la agricultura, la toxicidad por Al^{+3} es un problema conocido (Barcelo y Poschenrieder 2002), solubilizándose en agua incrementando la concentración de este catión en el suelo, provocando acidificación, toxicidad en plantas y por lo tanto, una disminución de la productividad de los cultivos (Barabasz et al. 2002). La toxicidad por Al^{+3} restringe la penetración de las raíces en el subsuelo, incidiendo en la absorción de agua y nutrientes (Marschner 2002). Raj (2008), afirma que la alta toxicidad de aluminio afecta también la parte aérea de las plantas, ya que existe una relación directa entre el peso de las raíces y la parte aérea de las plantas.

2.3 Encalado - enyesado y corrección de acidez

El correctivo más comúnmente utilizado para neutralizar el Al^{+3} tóxico en capas superficiales es la cal agrícola, además de proporcionar calcio y magnesio para las plantas (Alcarde y Rodella 2003; Zambrosi et al. 2007b; Pádua et al. 2008), aumenta la saturación de bases, proporcionando condiciones favorables al crecimiento del sistema radicular y absorción de agua y nutrientes por las plantas, aumentando la posibilidad de éxito de los cultivos (Miranda y Miranda 2000; Melo et al. 2011; Zandoná et al. 2015).

La corrección de acidez en suelos manejados bajo sistema de siembra directa es realizada mediante la aplicación de cal agrícola en superficie, sin incorporación, con dosis reducida (Nora et al. 2013), caracterizada por producir efectos en el suelo solamente en la primera camada debido a su poca solubilidad en agua ($0,0014 \text{ g } 100 \text{ mL}^{-1}$) y escasa movilidad (CQFS-RS/SC 2016) (Caires et al. 1998; Rampim et al. 2011), no siendo corregida la camada subsuperficial, provocando un bajo contenido de Ca^{+2} , y elevado tenor de Al^{+3} tóxico, que influyen en la absorción de agua y nutrientes por parte del sistema radicular y consecuentemente en el desarrollo normal de las plantas, principalmente en condiciones de deficiencia hídrica (Zandoná et al. 2015).

En ese sentido Caires et al. (2003), recomiendan la aplicación del yeso agrícola, a fin disminuir la actividad tóxica del aluminio y aumentar la concentración de calcio en la camada subsuperficial, mediante el cual se mejorará las condiciones del suelo para un mejor desarrollo del sistema radicular de las plantas. El yeso se comercializa no solo como fertilizante, sino también como acondicionador del suelo por ser una sal altamente soluble que aumenta rápidamente el contenido de Ca y sulfato en la capa subsuperficial del suelo.

El yeso agrícola es un subproducto de la industria de ácido fosfórico que contiene principalmente Ca (20%) y S (15-18%) y en pequeñas concentraciones de P (0,5-0,8%) y F (Caires et al. 2004), se origina de la reacción del ácido sulfúrico con la roca fosfatada (Apatita) (Raij, 1988). La reducción de la acidez del suelo en la camada subsuperficial por la aplicación del yeso agrícola ha sido demostrada en varios trabajos (Carvalho y Raij 1997; Caires et al. 1999; Caires et al. 2004; Pauletti et al. 2014).

2.4 El azufre en el suelo y en la planta

El azufre (S) en el suelo se encuentra en dos grandes compartimientos, el que está en la forma inorgánica adsorbido por los coloides del suelo y el azufre orgánico, lo cual es la forma predominante en los suelos agrícolas, representando más del 90 % del S total (Brady y Weil 2002; Valeur et al. 2002). Solomon et al. (2005), mencionan que el azufre total en el suelo varía entre 150 a 230 mg kg^{-1} de suelo, siendo mayor su

contenido en suelos inalterados con alto contenido de materia orgánica en relación a suelos de uso prolongado sin buen manejo.

En la solución del suelo el S se encuentra en forma de sulfato (Formas inorgánicas) y en menor medida puede formar parte de otros minerales como piritita (FeS_2) (Haneklaus et al. 2000). Por otro lado, los minerales restringidos de S son más frecuentes en suelos con bajos potenciales de óxido-reducción (Como suelos anegados o pantanosos) y no forman reservas importantes de azufre mineral en suelos agrícolas (Ponce y Torres 2005).

El azufre disponible para las plantas se encuentra en la solución del suelo como sulfatos que se origina de la mineralización del S orgánico encontrado en la materia orgánica (Tiecher et al. 2013). Por su parte, Rheinhermer et al. (2007), mencionan que su disponibilidad se debe a diversos factores como la cantidad de materia orgánica en el suelo, al pH del suelo, las precipitaciones registradas, el manejo agronómico del cultivo, a la aplicación de fertilizantes a base de azufre y a la cantidad de arcilla presente en el suelo.

Ponce y Torres (2005), mencionan que las entradas al sistema suelo-planta se realiza mediante la fertilización (Fertilizantes químicos o enmiendas orgánicas) y los aportes atmosféricos junto con la precipitación del agua. Tiecher et al. (2013), observaron una acumulación de $4,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de azufre atmosférico depositada en el suelo por el agua de lluvia.

En suelos y ambientes de zonas templados las pérdidas por lixiviación de sulfatos no son muy altas, sin embargo, en suelos tropicales muy intemperizados sujetos a un régimen hídrico elevado, las pérdidas por lixiviación pueden ser más altas (Ponce y Torres 2005). El sulfato (SO_4^{-2}) presente en la camada superficial del suelo, puede reaccionar con el Al^{+3} intercambiable formando pares iónicos y precipitarse como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, de esta forma reduciendo la actividad tóxica de este elemento (Zambrosi et al. 2007a).

El S- SO_4^{-2} se caracteriza por ser móvil en el suelo intermedia entre los nitratos (Muy móviles) y el fósforo (Poco móvil). La mayoría del azufre inorgánico del suelo

se encuentra en forma de sulfatos y en una pequeña proporción en forma de sulfuros. El ión sulfato presenta carga negativa, por lo que, no es adsorbido por los coloides del suelo (Arcilla, materia orgánica y humus) y por los óxidos (Común en suelos con minerales criptocristalinos), excepto sobre ciertas condiciones (Araujo 2011).

La menor movilidad del S en el suelo respecto al N-NO_3^- , permite la residualidad, mediante esta característica de este nutriente los efectos de la fertilización azufrada se pueden evaluar a más de un ciclo de producción de un determinado cultivo. Esta particularidad de la residualidad se presenta también con el fósforo (P) y por ello, la fertilización con P y S puede ser programada para secuencias de 2 o más cultivos (Haneklaus et al. 2000).

El sulfato puede ser fijado en capas superficiales en suelos arcillosos con arcilla de tipo 1:1 caolinita, con una alta intemperización y presencia de los óxidos de hierro y aluminio por las cargas que presentan, sin embargo, en suelos arenosos el sulfato es lixiviado a capas subsuperficiales debido a que en este tipo de suelo existen pocos coloides que puedan retener a este compuesto (Rheinheimer et al. 2007). Rasche (2004), menciona que el pH del suelo tiene una relación directa con la concentración de SO_4^{2-} en el suelo, a medida que se eleva el pH del suelo provoca una desorción del SO_4^{2-} de los coloides del suelo, y por ende su concentración momentánea aumenta, sin embargo, aumenta la pérdida por lixiviación.

Duggan et al. (2010), destacan que la deficiencia de azufre en el suelo es más probable en los suelos arenosos con bajo nivel de materia orgánica y en condiciones de alta precipitación, que interfiere directamente en la calidad y rendimiento de los granos, considerando que el nivel crítico del mismo es de 5 y 10 mg kg^{-1} de suelo para el maíz y la soja respectivamente, establecido por Comissão de Química e Fertilidade do Solo – Rio Grande do Sul/Santa Catarina, CQFS-RS/SC (2016).

2.5 Uso de cal y yeso agrícola en la productividad de los cultivos maíz y soja

Con la aplicación de 400 kg ha^{-1} de yeso agrícola en el cultivo de maíz de segunda (Zafrita) Rodríguez (2016), encontró incrementos significativos de 1,5 cm, 46 y 655 kg ha^{-1} en la longitud de espigas, cantidad de granos por espigas y el rendimiento de granos respectivamente, en relación con el testigo. Sin embargo, en la altura de

plantas, hilera de granos por mazorca, peso de mil granos y peso hectolítrico no observaron influencia, siendo las medias generales 227,4 cm; 13,4; 277 g y 81,2 g hL⁻¹ respectivamente.

Por su parte, Quiñonez (2017), al realizar aplicación y reaplicación de dosis de yeso agrícola no encontró influencia en el rendimiento de granos en el cultivo de soja y de maíz, registrándose como medias generales 3.952 y 6.211 kg ha⁻¹, respectivamente. Con relación al tenor de S en granos tampoco aumentó con la aplicación de diferentes dosis de S-SO₄⁻², sin embargo, el contenido de S en el suelo varió de 2,26 a 2,50 g kg⁻¹ y comparando el comportamiento de la aplicación con la reaplicación, la misma fue inferior solamente en 1,29%.

Al examinar resultados de diferentes temporadas de crecimiento de cultivos, Tiecher et al. (2018), observaron que el yeso agrícola en suelos con alta acidez subsuperficial aumenta el rendimiento promedio en un 14% en el maíz (85% de los casos estudiados) y en un 20% en los cultivos de invierno (75% de los casos), sin considerar la deficiencia del agua. Sin embargo, la soja respondió positivamente al yeso en un 23% pero solo en presencia de alta acidez subsuperficial del suelo y deficiencia de agua (100% de los casos estudiados). Por otro lado, el yeso aplicado a suelos con baja acidez subsuperficial (saturación de Al < 10%), contenido de Ca intercambiable (> 3,0 cmol_c dm⁻³), los contenidos de P y S disponibles adecuados no lograron aumentar el rendimiento del cultivo; más bien, disminuyeron el rendimiento de los cultivos cuando se aplicaron a tasas muy altas (6-15 Mg ha⁻¹), probablemente induciendo deficiencia de K⁺ y Mg⁺².

Al aplicar de yeso agrícola Zandoná et al. (2015), observaron aumento en la productividad de granos de maíz y soja, respondiendo hasta una dosis de 2 t ha⁻¹, con incremento del 9,2% en el maíz y de 11,4 a 11,3% con y sin calcáreo en la soja respectivamente, hasta inclusive en condiciones de déficit hídrica. Por su parte, Caires et al. (2004), evaluando la producción de maíz sometidos a la aplicación de cal agrícola obtuvieron aumentos en un 13%, por otro lado, con la aplicación de yeso agrícola la producción del maíz se incrementó en 5%, obtenido con la dosis más alta (9 t ha⁻¹) de este compuesto, sin embargo, al combinar ambos correctivos ya mencionados se alcanzó un incremento de 17%, demostrando ser una estrategia eficiente para

maximizar el rendimiento de los granos. Sin embargo, Caires et al. (1998, 1999, 2003), con la aplicación conjunta de cal con yeso agrícola bajo SSD no observaron influencia en la producción de granos de la soja. Del mismo modo, Fatecha (2018), al aplicar yeso agrícola hasta una dosis de 1.600 kg ha⁻¹ bajo SSD tampoco observó respuesta significativa en el rendimiento de granos de la soja y del maíz.

Pauletti et al. (2014), realizando aplicación de cal agrícola observaron incrementos significativos en la productividad de maíz y soja bajo SSD, en de 5.981 kg ha⁻¹, sin aplicación de correctivo, a 6.948 kg ha⁻¹, con aplicación y 3.499 kg ha⁻¹ (Sin calcáreo) a 3.818 kg ha⁻¹ (Con calcáreo), respectivamente. Existen varios trabajos que comprobaron incremento en la productividad de soja y maíz en función a la aplicación de la cal agrícola en combinación al yeso agrícola bajo SSD (Raij et al. 1998; Caires et al. 2004; Martins 2011; Espindola et al. 2014; Zandoná et al. 2015; Schmidt et al. 2016). Sin embargo, existen otros trabajos donde la productividad de los cultivos maíz y soja no fueron influenciados por la aplicación de los correctivos agrícolas (Yeso y cal agrícola) bajo SSD (Watanabe 2013; Soares 2016; Quiñónez, 2017).

2.6 Alteraciones de propiedades químicas del suelo por aplicaciones de cal y yeso agrícola

En un experimento realizado por Soratto (2005), en apenas 3 meses después de la aplicación del calcáreo, constata que se produjo incremento del pH del suelo y elevación de los tenores de Ca⁺² y Mg⁺² intercambiable en la camada 0-0,05 m. A los 6 y 12 meses posteriores a la aplicación del calcáreo observaron aumento del pH hasta la profundidad 0,05-0,10 m. Pauletti et al. (2014), destacan que después de 36 meses de aplicación de cal agrícola en una superficie bajo SSD, corrige la acidez del suelo disminuyendo el contenido del Al⁺³, por lo que se elevó el pH del suelo de 4,7 a 5,4; de la misma forma se incrementó los tenores de Ca⁺² y Mg⁺² intercambiables hasta la camada 0-0,10 m. Sin embargo, después de 72 meses de aplicación se observa que el calcáreo se translocó hasta la camada 0,10-0,20 m, incrementando también los tenores de Ca⁺² y Mg⁺². Por su parte, Martins (2011), estudiando el efecto residual de la aplicación superficial de calcáreo, verificó que a los 48 y 60 meses después de la

aplicación, hubo incremento del pH del suelo hasta las profundidades 0,20 y 0,40 m, respectivamente.

Aplicando cal agrícola Corrêa et al. (2007), observaron que a los tres y quince meses después de la aplicación superficial, el calcáreo aumentó el pH del suelo hasta los 0,10 m de profundidad y la saturación de bases hasta 0,20 m de profundidad en el perfil del suelo. Mello et al. (2003), verificaron alteración de los atributos químicos del suelo (pH, H+Al, Ca⁺² y Mg⁺²) en las capas 0,05 y 0,05-0,10 m después de doce meses de aplicación de cal agrícola en superficie bajo sistema de siembra directa. Además, observaron que a mayor dosis de calcáreo existe un efecto residual para la corrección de la acidez del suelo.

Por otro lado, bajo sistema de siembra directa Caries et al. (2004), constataron la disminución del Al⁺³ intercambiable y el incremento de pH del suelo en profundidades superficiales, observando efecto hasta 0-0,05 m de profundidad, después de 46 meses de la aplicación de calcáreo. Sin embargo, al realizar incorporación del calcáreo en el suelo observaron aumento de pH y disminución de los tenores del Al⁺³ intercambiable en la capa subsuperficial (0,20-0,40 m).

A los 6 meses posterior a la aplicación del calcáreo, Silva et al. (2008), no observaron influencia de la dosis aplicada en el pH del suelo, sin embargo, en los periodos de 12, 18 y 24 meses después de la aplicación verificaron incrementos en el pH del suelo hasta una profundidad de 0,10 m, lo que evidencia la reacción lenta del calcáreo actuando en el aumento del pH hasta después de 2 años. Gatiboni et al. (2003), enfatizan que los valores de Ca⁺² y Mg⁺² intercambiable y el pH del suelo permanecen en niveles altos aún después de 84 meses de la aplicación del calcáreo, mostrando que los efectos del calcáreo pueden perdurar por varios años.

Ferraris et al. (2004), afirman que generalmente, la respuesta a la aplicación de S se presenta en suelos arenosos de reducida estabilidad estructural, con bajos contenidos de MO, con uso prolongado en sistema agrícola, donde hubo quema de residuos y poca o nada de aplicación de fertilizante a base de azufre. Soratto (2005), al aplicar yeso agrícola bajo SSD constató incremento en el contenido de Ca⁺² y S, y

la reducción de la actividad del Al^{+3} intercambiable en la camada subsuperficial (20-40 cm).

Nava et al. (2012), destacan que el yeso agrícola permite el incremento del contenido de Ca^{+2} en camadas más profundas del suelo, debido a que el SO_4^{2-} puede formar un par iónico con el Ca^{+2} , lo que lleva a la formación de una molécula, con lo que se evita que el Ca^{+2} sea fijado por los coloides del suelo. Por su parte, Pauletti et al. (2014), mediante la aplicación del yeso agrícola observaron incremento en el contenido de Ca^{+2} y Mg^{+2} en camadas subsuperficiales del suelo, siendo este aumento constante en todos los estratos analizados, sin embargo, en el caso del SO_4^{2-} el incremento fue aumentando a medida que aumentaba de profundidad, llegando la medición hasta los 100 cm.

En estudio con yeso agrícola con y sin cal agrícola en sistema de siembra directa, Zandoná et al. (2015), verificaron que al combinar ambos correctivos aumenta la capacidad de intercambio catiónico en camadas superficiales (0-0,10 m), incrementa los tenores de Ca^{+2} y Mg^{+2} intercambiable, y disminuye los tenores de Al^{+3} en las camadas más profundas (0,20-0,40 m). Costa (2011), menciona que el aumento del Ca^{+2} en el subsuelo es debido a la movilidad del nutriente, ocasionada por la infiltración del agua en el suelo, y por la reacción con el anión S-SO_4^{2-} . El ión sulfato permanece en la solución del suelo y se mueve con el agua, siendo lixiviado fácilmente llevando consigo a camadas subsuperficiales a los cationes como Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ y Al^{+3} (Araujo 2011).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y caracterización del área experimental

El experimento fue llevado a cabo en la propiedad de la Cooperativa Volendam Ltda, ubicada en la Colonia Volendam, Distrito de Villa del Rosario, Departamento de San Pedro. Las coordenadas geográficas del lugar son latitud Sur $24^{\circ}15'27''$ y longitud Oeste $56^{\circ}56'53''$ (Datum WGS 84). (Figura 1).

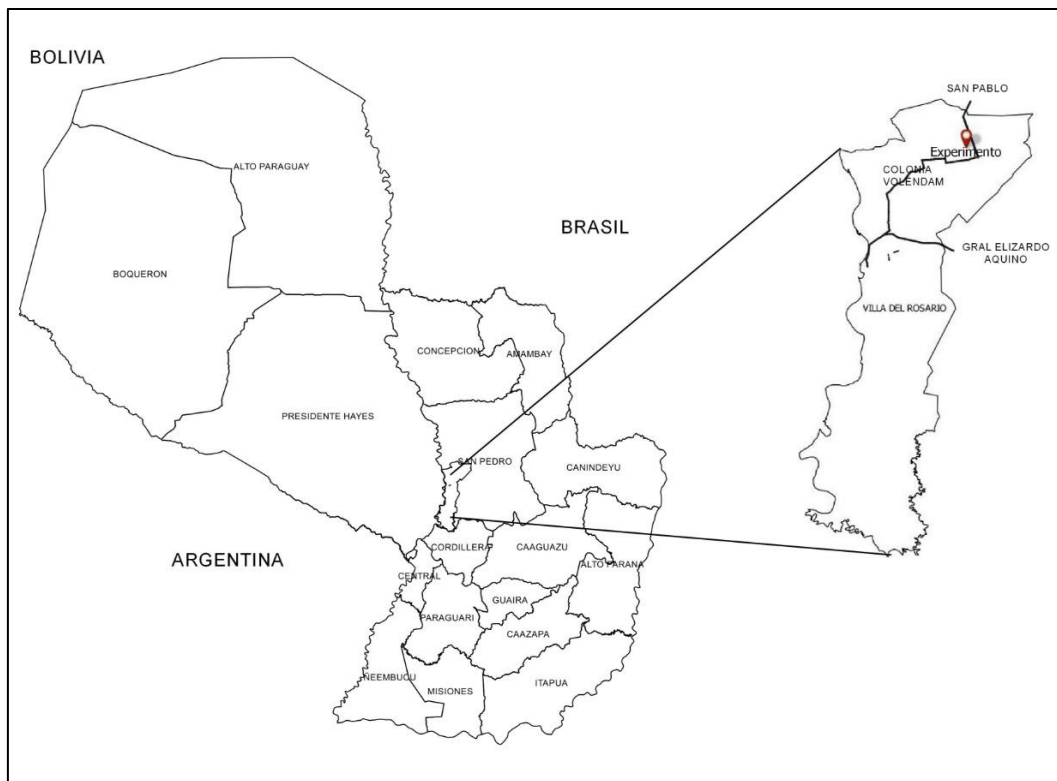


Figura 1. Ubicación del experimento en la Colonia Volendam, Distrito de Villa del Rosario, Departamento de San Pedro.

La zona de localización del experimento presenta una temperatura media anual es de 23°C, la máxima es de 40°C y la mínima es de 10°C. La humedad relativa es de 70 a 80%. El promedio anual de precipitación es de 1.400 milímetros (DINAC 2016). En la Figura 2 se presenta el régimen de precipitaciones ocurrido en la zona del Distrito Villa del Rosario, Departamento San Pedro, durante el ciclo del cultivo de maíz (a) y del cultivo de soja (b) y las medias históricas anuales.

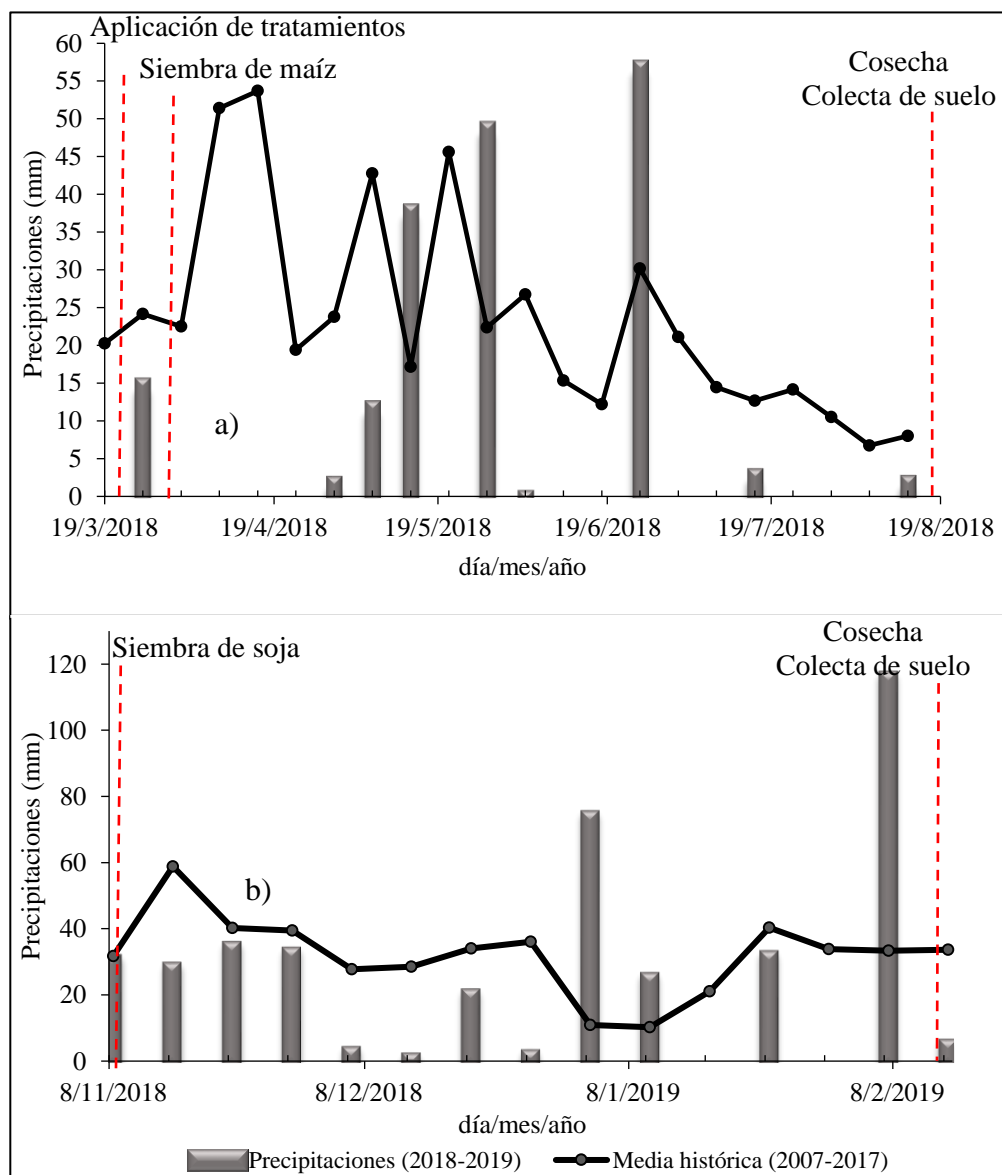


Figura 2. Precipitación pluviométrica mensual registrada en los periodos de marzo a agosto del 2018 (a) y noviembre del 2018 a febrero del 2019 (b), durante la ejecución del experimento en campo en el Distrito Villa del Rosario, Departamento San Pedro. Fuente: Fecoprod (2019).

Las precipitaciones durante el experimento tuvieron comportamientos muy desfavorables para el periodo de ambos cultivos, debido a que la mayor parte se encuentran por debajo de la media histórica. Durante el ciclo del maíz y de la soja se registraron una precipitación total de 178,1 y 406,2 mm habiendo una diferencia de 340 y 85 mm respectivamente, en relación con el promedio anual de 2007-2017. El requerimiento hídrico del cultivo de maíz varía entre 500-700 mm (Ortigoza et al. 2019) y de la soja entre los rangos 450-800 mm (Embrapa 2003).

La escasa cantidad de lluvia registrada y la mala distribución temporal de las mismas interfirió notoriamente en los resultados obtenidos en el experimento (Figura 2). Además, otro aspecto importante de resaltar son los días sin precipitación, especialmente después de la aplicación de los tratamientos y en el estadio crítico del desarrollo reproductivo de ambos cultivos.

El área viene siendo manejada bajo un sistema de manejo de suelo conservacionista, específicamente un sistema de siembra directa (SSD) a más de 15 años, en sucesión de cultivos, utilizando soja, maíz y abonos verde (Avena, nabo forrajero o lupino), en un suelo clasificado como Rhodic Paleudult, con textura francosa gruesa, paisaje de lomadas, material de origen arenisca, posee menos de 3% de pendiente, con buen drenaje y pedregosidad nula según López et al. (1995). Para conocer las características químicas fue extraída una muestra de suelo del área experimenta, para el análisis previo a la instalación del experimento (Tabla 1).

Tabla 1. Características químicas del suelo del área experimental

Prof.	pH	H+Al	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Al ⁺³	M.O.	V	m	P	S
cm	H ₂ O	-----cmol _c kg ⁻¹ -----				-----%-----			---mg kg ⁻¹ ---		
0-10	5,22	3,56	6,5	0,45	0,14	0,95	1,8	65,5	11,8	6,2	18,7
10-20	5,12	3,64	6,2	0,42	0,06	1,25	1,5	64,7	15,7	5,4	19,2
20-40	5,31	3,21	5,3	0,38	0,05	0,90	1,6	64,1	13,5	2,8	18,1

Extractores: pH= Agua; P y K⁺= Mehlich-1; Ca⁺² + Mg⁺² y Al⁺³=KCl 1Mol L⁻¹; S= Ca(H₂PO₄)₂.H₂O + (HOAc) 2 mol L⁻¹

3.2 Diseño experimental y tratamientos

Los tratamientos del experimento fueron distribuidos en un diseño de bloques completos al azar, dispuestos en parcelas subdivididas, con arreglo factorial, en cuatro

bloques. Las parcelas (Factor A) fueron ocupadas por la cal agrícola y las subparcelas (Factor B) por las dosis de yeso agrícola. Dichos tratamientos consistieron en la aplicación de cinco dosis de yeso agrícola (0, 150, 300, 450 y 600 kg ha⁻¹) sin y con la aplicación de cal agrícola (0 y 2.000 kg ha⁻¹).

En la Figura 3 se observa la distribución de los tratamientos en la parcela experimental.

CAMINO							
Frente del área experimental							
BI		BII		BIII		BIV	
Cal kg ha ⁻¹	Yeso kg ha ⁻¹	Cal kg ha ⁻¹	Yeso kg ha ⁻¹	Cal kg ha ⁻¹	Yeso kg ha ⁻¹	Cal kg ha ⁻¹	Yeso kg ha ⁻¹
0	600	2.000	450	2.000	300	0	0
	150		0		150		150
	0		300		0		450
	450		600		450		600
	300		150		600		300
2.000	300	0	0	0	450	2.000	600
	150		300		300		450
	0		150		600		0
	450		600		150		300
	600		450		0		150

Figura 3. Distribución de tratamientos en la parcela experimental, Colonia Volendam, Distrito Villa del Rosario, Dpto. San Pedro, 2018/2019.

Producto de la aplicación y no aplicación de cal agrícola y las cinco dosis de yeso agrícola se tuvo 10 tratamientos por bloque y considerando los 4 bloques fueron en total 40 unidades experimentales. Para cada unidad experimental se utilizó un área de 36 m² que corresponden a 6 m de largo x 6 m de ancho, utilizando una superficie total de 1.440 m². Se utilizó cal agrícola dolomítica (CaMgCO₃) con 100% de PRNT (Poder Relativo de Neutralización Total) y yeso agrícola (Ca 23%, S 18%).

3.3 Implantación y manejo del experimento

Primeramente, se procedió a la toma de muestras de suelo para determinar el nivel de fertilidad del mismo, fue realizada en forma de zig-zag, a una profundidad de 0-0,1; 0,1-0,2 y 0,2-0,4 m, con una cantidad de 5 submuestras. Las mismas fueron mezcladas con el fin de dejarlos bien homogéneas y así obtener una muestra compuesta. Posterior a la mezcla se procedió a extraer de la misma una muestra de 500 g para cada profundidad de extracción y llevarla al laboratorio de suelos del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción ubicada en la ciudad de San Lorenzo, para su análisis.

La delimitación y marcación del terreno se realizó marcando cada unidad experimental, para la cual se utilizó cinta métrica y banderines. Las mismas fueron dimensionadas de acuerdo a lo establecido en el ítem 3.2.

La aplicación de los correctivos fue realizada en el mes de marzo del 2018, previamente a la siembra de los cultivos, al voleo. La variedad de maíz Guaraní V - 312 (Karapé pyta) fue sembrada el 25 de marzo de 2018, con un espaciamiento entre hileras de 0,80 m y 5 plantas por metro lineal con una densidad estimada de 62.500 plantas ha⁻¹. La variedad de soja Nidera A 5909 RG fue sembrada 8 de noviembre de 2018, con un espaciamiento entre hileras de 0,40 m y 12 plantas por metro lineal estimando una densidad de 300.000 plantas ha⁻¹. Ambos cultivos fueron sembrados bajo sistema de siembra directa.

En cuanto a la fertilización, para el cultivo de maíz se aplicó 80 kg ha⁻¹ de N, del cual 20 kg ha⁻¹ en la siembra y 60 kg ha⁻¹ en cobertura, utilizando urea (45-00-00) como fuente nitrogenada. También se aplicó 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 70 kg ha⁻¹ de K₂O, siendo utilizado superfosfato triple (00-46-00) y cloruro de potasio (00-00-60) como fuente de fertilizante, respectivamente. Para el cultivo de soja se realizó una aplicación con la siembra, de 150 kg ha⁻¹ del fertilizante de la formulación 02-20-20. Además, se aplicó 100 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio.

El manejo agronómico de los cultivos estudiados se realizó de acuerdo con el sistema de manejo del productor que proporcionó la superficie para la implementación del experimento.

Una vez que cumplieron su ciclo agrícola los cultivos en estudio, se procedió a la cosecha de los mismos, para lo cual se tuvo en cuenta el efecto borde y cada una de las variables a medir. El maíz se cosechó el 15 de agosto del 2018 y la soja el 25 de febrero del 2019, ambos de un área de 4 m².

3.4 Variables de medición

3.4.1 Parámetros químicos del suelo

La extracción de muestras de suelo se realizó en dos momentos, a los 5 y 12 meses después de la aplicación de los tratamientos. Fueron extraídas tres muestras simples para formar una muestra compuesta de suelo en las profundidades 0-0,1; 0,1-0,2 y 0,2-0,4 m en cada unidad experimental para evaluar los tenores de Ca⁺², Mg⁺², K⁺, P, S, Al⁺³, H+Al y pH del suelo.

Una vez secada y tamizada (2 mm) las muestras del suelo, fueron determinados: el pH del suelo en agua; el pH del suelo en solución SMP para estimar la acidez potencial del suelo (H+Al); K⁺ y P disponibles fueron extraídos por Mehlich-1, siendo el K⁺ determinado por espectrometría de absorción atómica y el P por el método de colorimetría; S disponible fue extraído con fosfato de calcio (500 mg L⁻¹ de P en ácido acético 2 mol L⁻¹) con posterior determinación por el método de turbidimetría; Ca⁺², Mg⁺² y Al⁺³ intercambiables fueron extraídos con KCl 1,0 mol L⁻¹, siendo el Al⁺³ determinado por titulación con solución de NaOH 0,015 mol L⁻¹ y Ca⁺² y Mg⁺² por espectrometría de absorción atómica.

Posteriormente, la suma de bases (SB) fue determinada por la suma de bases intercambiables del suelo (Ca⁺² + Mg⁺² + K⁺). La capacidad de intercambio catiónica potencial a pH 7,0 (CIC_{pH7,0}) fue calculada con la suma de SB + (H+Al). La saturación por Al (m%) se calculó mediante la siguiente fórmula: $m (\%) = [Al / (SB + Al^{+3})] \times 100$. La saturación por bases (V%) fue calculada con el uso de la fórmula: $V (\%) = 100 \times SB / CIC_{pH7,0}$.

3.4.2 Variables de crecimiento y componentes de rendimiento del maíz

Para ambos cultivos, en el momento de la madurez fisiológica, fueron seleccionadas de forma aleatoria 10 plantas de la parcela útil de cada unidad

experimental, para realizar todos los análisis relacionados a los parámetros de crecimiento, considerando las líneas centrales para reducir el efecto borde.

-Altura de planta: se evaluó con la utilización de una cinta métrica, se midió desde la base hasta la punta de la inflorescencia masculina (Panoja), que fueron registradas en metro (m) y promediadas por cada unidad experimental.

-Altura de inserción de la mazorca: corresponde a la distancia media entre la superficie del suelo y la inserción de la primera mazorca. Esta medición fue realizada utilizando una cinta métrica, expresándose los promedios de las mediciones en centímetro (cm).

-Diámetro del tallo: se midió por encima del segundo nudo de cada planta seleccionada, con un paquímetro y los resultados fueron promediados y registrados en centímetros.

-Número de hojas por planta: la cuantificación del número de hojas, se realizó de 10 plantas seleccionadas de forma aleatoria en cada parcela útil, que posteriormente se promediaron.

-Longitud de espigas: de las espigas cosechadas de la parcela útil, fueron seleccionadas 10 espigas para realizar la medición de la longitud de las mismas, mediante la utilización de una cinta métrica, desde la base hasta el extremo superior, descartando las chalas y posteriormente se promediaron las mediciones. Los datos fueron expresados en centímetros (cm).

-Diámetro de espigas: para la medición de diámetro de la espiga se tuvo en cuenta las espigas escogidas para la medición de la longitud, para lo cual se utilizó un paquímetro, posteriormente los datos fueron promediados y registrados en cm.

-Peso de mil semillas: para evaluar el peso de mil granos, fueron seleccionadas en forma aleatoria de cada unidad experimental 100 granos con cinco repeticiones, que fueron pesados con una balanza de precisión y posteriormente promediados. Finalmente, del resultado de cada medición, fue determinado el peso de mil granos por regla de tres simple.

-Peso hectolítrico: para realizar esta medición se utilizó una probeta de 100 mL, se pesó la masa de granos de maíz que ocupa en un volumen conocido, para el pesaje se utilizó una balanza de precisión.

-Rendimiento de granos: para determinar el rendimiento de granos del cultivo, se realizó la cosecha de las espigas del área útil (4 m^2) de cada unidad experimental, teniendo en cuenta el efecto borde, luego de forma manual se realizaron el desgranado para posteriormente embolsarlos y pesarlos con una balanza de precisión, los resultados fueron expresados en kg ha^{-1} .

3.4.3 Variables de crecimiento y componentes de rendimiento de la soja

-Altura de planta: se determinó con la utilización de una cinta métrica, dicha medición se realizó desde la base del tallo hasta el ápice, los datos fueron promediados y registrados en centímetros.

-Número de vainas por planta: para la medición del número de vainas por planta fueron cuantificadas la cantidad total de vainas por cada planta seleccionada.

-Peso hectolítrico: se midió con una probeta de 100 mL, se pesó la masa de granos de la soja que ocupa en un volumen conocido, para el pesaje se utilizó una balanza de precisión.

-Peso de mil semillas: para la determinación del peso de mil granos, en forma aleatoria se extrajo de cada unidad experimental 100 granos con cinco repeticiones, que fueron pesados con una balanza de precisión y posteriormente promediados. Finalmente, del resultado de cada media, se calculó el peso de mil granos por regla de tres simple.

-Rendimiento de granos: se realizó la cosecha de soja del área útil (4 m^2) de cada unidad experimental, teniendo en cuenta el efecto borde, y se determinó el peso de la producción de granos de dicha área con la utilización de una balanza de precisión, los resultados fueron expresados en kg ha^{-1} .

3.5 Método de análisis de datos

Una vez obtenidos los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANAVA) según modelo de parcelas subdivididas, para determinar si hubo o no

diferencia significativa entre tratamientos. Y los tratamientos que presentaron diferencias significativas fueron comparados con la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto de la aplicación de cal y yeso agrícola en parámetros químicos del suelo

La aplicación del yeso agrícola sin cal a los cinco meses posteriores, influyó significativamente sobre los tenores del S en el suelo, en la profundidad de 0,1-0,2 m (Tabla 2; Figura 4), aplicando 600 kg ha⁻¹ se verificó un incremento de 12,8 mg kg⁻¹ en comparación con el testigo. Sin embargo, en donde se realizó la aplicación de cal agrícola produjo incrementos en las camadas de 0-0,1 y 0,1-0,2 m, de 6,3 y 9,1 mg kg⁻¹, con la adición de 600 kg ha⁻¹ de yeso en relación al tratamiento control. A los doce meses posteriores no produjo efecto la adición de yeso y cal agrícola en todas las camadas estudiadas (Tabla 2; Figura 4).

Coincidentemente Fatecha (2018), observó incremento lineal del tenor de S en las camadas de 0-10 y 20-40 cm de un suelo arenoso a ocho meses después de la aplicación de yeso agrícola con dosis máxima de 1.600 kg ha⁻¹, sin embargo, a los 20 meses después de la aplicación no verificó efectos significativos en ninguna de las profundidades estudiadas.

Estos resultados se deben a que el yeso agrícola posee aproximadamente 18% de S-SO₄⁻² que se distribuyen fácilmente por el perfil del suelo debido a la baja retención de las cargas del suelo (Caires et al. 2006). La no movimentación del S-SO₄⁻² hasta camadas más profundas del suelo pudo ser debido a que la aplicación del calcáreo solo incrementó el pH en los primeros centímetros del perfil del suelo, ya que con el aumento del pH del suelo se incrementan la cantidad de cargas negativas del suelo, quedando el S-SO₄⁻² más susceptibles al movimiento vertical hasta camadas subsuperficiales por la repulsión de las cargas iguales (Meert 2013).

Del mismo modo, resultados semejantes al presente experimento fueron obtenidos por Watanabe (2013), quien constató incrementos en los tenores del $S-SO_4^{2-}$ en las profundidades 0,1-0,2 y 0,2-0,3 m con la aplicación conjunta de yeso con cal agrícola hasta valores de 6,45 y 7,08 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente. Caires et al. (2004), aplicando yeso agrícola de forma superficial observaron aumentos en los tenores del $S-SO_4^{2-}$ hasta 0,8 m de profundidad después de cuarenta y tres meses de su aplicación. Asimismo, Meert (2013), a los cinco y diez meses después de la aplicación de calcáreo y yeso agrícola respectivamente, registró incrementos en los tenores de S en todo el perfil del suelo estudiado (0-0,8 m).

Tabla 2. Tenores de S ($mg\ kg^{-1}$) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola ($2.000\ kg\ ha^{-1}$). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.

		S ($mg\ kg^{-1}$)					
Prof. (cm)	Yeso Agrícola ($kg\ ha^{-1}$)	5 meses			12 meses		
		Cal Agrícola ($kg\ ha^{-1}$)		Media	Cal Agrícola ($kg\ ha^{-1}$)		Media
		0	2.000			0	
0-10	0	21,4a	20,5c	25,5	19,2	19,0	19,1ns
	150	21,3a	22,5b	23,9	18,8	21,1	20,0
	300	23,6a	24,3ab	29,0	20,3	20,6	20,5
	450	22,7a	25,8a	25,2	18,2	21,2	19,7
	600	22,2a	26,8a	23,5	21,1	19,5	20,3
	Media		22,2	23,8		19,5NS	20,3
CV (%)		25,4	12,2		2,46	2,74	
10-20	0	22,1c	21,8c	23,4	20,7	20,1	20,4ns
	150	23,8c	23,8bc	28,3	21,5	21,8	21,6
	300	24,8b	29,9a	28,8	20,3	24,1	22,2
	450	27,9ab	27,2ab	25,6	20,9	23,0	22,0
	600	34,9a	30,9a	32,9	22,4	25,0	23,7
	Media		28,9	26,7		21,2NS	22,8
CV (%)		5,46	14,02		5,09	11,44	
20-40	0	20,5	16,6	18,5ns	22,5	18,8	20,6ns
	150	19,6	19,4	19,5	22,1	22,4	22,3
	300	19,4	22,8	21,1	20,2	21,8	21,0
	450	21,3	17,8	19,5	18,6	24,2	21,4
	600	24,1	21,4	22,8	18,9	21,0	20,0
	Media		21,0NS	19,6		20,5NS	21,6
CV (%)		16,58	19,91		4,72	10,23	

NS y ns, diferencia no significativa en la línea y columna, respectivamente ($P < 0,05$); medias seguidas por letras mayúsculas y minúsculas diferentes en la línea y columna, respectivamente, se diferencian significativamente, por la prueba de Tukey ($P < 0,05$); CV, coeficiente de variación.

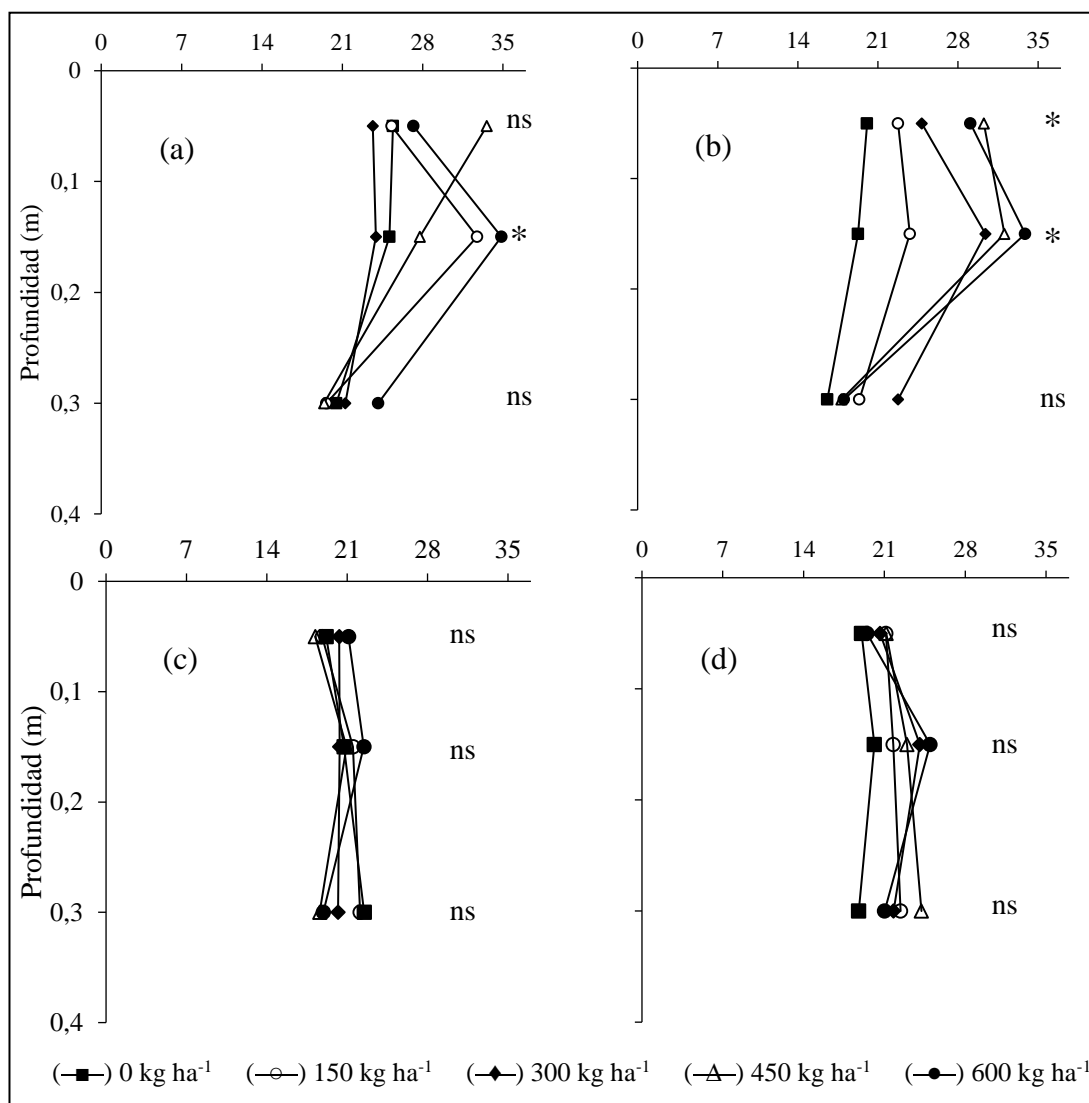


Figura 4. Tenores de S (mg kg^{-1}) en el suelo a los 5 (a: sin cal; b: con cal) y 12 (c: sin cal; d: con cal) meses posteriores a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}) Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019. *Significativo ($p < 0,05$); ns =no significativo.

Los valores de pH en H_2O en el suelo sufrieron alteraciones a los cinco y doce meses posteriores a la aplicación de cal agrícola en la camada superficial del suelo (0-0,1 m), habiendo un incremento de 4,6 a 5,2 y 4,7 a 5,5 respectivamente (Tabla 3). Esta modificación del pH puede ser a consecuencia de que el calcáreo se caracteriza por producir efectos en el suelo solamente en camadas superficiales bajo sistema de siembra directa debido a que es poco soluble en agua ($0,0014 \text{ g } 100 \text{ mL}^{-1}$) (CQFS-RS/SC 2016) y presenta una movilidad limitada (Caires et al. 1998; Rampim et al. 2011), resultados semejantes fueron obtenidos por Caires et al. (1999), Caires et al. (2004) y Meert (2013). Por otro lado, la adición del yeso agrícola no produjo

variaciones del pH a los cinco y doce meses posteriores en las tres profundidades analizadas (Tabla 3), coincidiendo con los resultados de Caires et al. (2004), quienes aplicando dosis de hasta 9 t ha⁻¹ de yeso agrícola no observaron cambios en los valores de pH hasta inclusive cuarenta y tres meses posteriores. La falta de alteración del pH del suelo por influencia del yeso agrícola se debe a que el compuesto es una sal neutra que no ejerce cambios en la acidez, debido a que no libera iones H⁺ ni OH⁻ en su reacción (Caires et al. 2003; Ramos et al. 2006; Ferreira et al. 2007; Soratto y Crusciol 2008; Gonçalves 2009; Meert 2013; Watanabe 2013).

Tabla 3. Tenores de pH en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha⁻¹). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.

pH H ₂ O							
Prof. (cm)	Yeso Agrícola (kg ha ⁻¹)	5 meses			12 meses		
		Cal Agrícola (kg ha ⁻¹)		Media	Cal Agrícola (kg ha ⁻¹)		Media
		0	2.000			0	
0-10	0	4,7	5,3	5,0 ^{ns}	4,5	5,8	5,1 ^{ns}
	150	4,5	5,2	4,9	4,8	5,4	5,1
	300	4,4	5,3	4,9	4,9	5,4	5,2
	450	4,6	5,1	4,9	4,8	5,7	5,2
	600	4,7	4,9	4,8	4,6	5,5	5,1
	Media		4,6^B	5,2^A		4,7^B	5,5^A
CV (%)		14,5	7,2		3,7	21,6	
10-20	0	4,8	5,0	4,9 ^{ns}	5,0	5,6	5,3 ^{ns}
	150	5,2	5,2	5,2	5,1	5,3	5,2
	300	4,8	5,2	5,0	5,2	5,3	5,2
	450	5,0	4,8	4,9	5,0	5,1	5,1
	600	5,1	4,9	5,0	5,0	5,3	5,2
	Media		5,0^{NS}	5,0		5,1^{NS}	5,3
CV (%)		11,7	4,5		3,3	6,3	
20-40	0	4,9	5,0	5,0 ^{ns}	5,2	5,01	5,1 ^{ns}
	150	5,3	5,4	5,3	5,4	5,21	5,3
	300	5,2	5,3	5,2	5,2	5,26	5,3
	450	5,2	5,2	5,2	5,3	5,18	5,2
	600	4,9	5,1	5,0	5,1	5,15	5,1
	Media		5,1^{NS}	5,2		5,2^{NS}	5,2
CV (%)		13,3	4,2		2,9	3,5	

NS y ns, diferencia no significativa en la línea y columna, respectivamente (P<0,05); medias seguidas por letras mayúsculas y minúsculas diferentes en la línea y columna, respectivamente, se diferencian significativamente, por la prueba de Tukey (P<0,05); CV, coeficiente de variación.

De la misma forma, Jimenez et al. (2007), con la aplicación de hasta 2.000 kg ha⁻¹ de yeso agrícola bajo SSD, no encontraron aumentos en el pH en todo el perfil del suelo estudiado, siendo semejante a los resultados del presente experimento. Sin

embargo, Caires et al. (1999), mencionan que el efecto del yeso agrícola aplicado no fue característico en la acidez activa en la camada superficial del suelo (0-10 cm), pero si observó incrementos en los valores de pH en las camadas de 20-40, 40-60 y 60-80 cm, obtenido a los catorce y, treinta y seis meses después de su aplicación. Noia et al. (2014), señalan que después de cuatro meses de aplicar yeso agrícola observaron influencia sobre los valores del pH en la camada superficial (0-20 cm), sin embargo, no observaron influencia en las camadas subsuperficiales (20-40 y 40-60 cm).

Los tenores del P (mg kg^{-1}) no fueron influenciados por las dosis de yeso agrícola ni hubo interacción con la aplicación de calcáreo a los cinco y doce meses posteriores a su aplicación (Tabla 4), concordando con los resultados obtenidos por Caires et al. (2001), quienes aplicando hasta 12 t ha^{-1} de yeso agrícola no verificaron alteraciones en los tenores de P en todas las profundidades estudiadas (0-40 cm). Los tenores de P disponible fueron mayores en la camada superficial (0-0,1 m) del suelo, en comparación con las demás camadas analizadas (0,1-0,2 y 0,2-0,4 m), que puede estar relacionada a la aplicación de fertilizantes fosfatados para los cultivos agrícolas.

Los resultados de la presente investigación también concuerdan con los obtenidos por Fatecha (2018), quien a los ocho meses después de la aplicación del yeso agrícola en un suelo arcilloso, verificó incrementos en la cantidad de P disponible con una dosis de 900 kg ha^{-1} en la profundidad de 10-20 cm, en tanto, a los veinte meses registró incrementos en la camada subsuperficial (20-40 cm) con 600 kg ha^{-1} . Por su parte, Martins (2011), aplicando yeso agrícola de forma superficial incrementó los niveles de P disponible hasta la camada de 0-20 cm a los cuarenta y ocho meses, pero el efecto se mantuvo solamente hasta la profundidad de 0-5 cm a los sesenta meses posteriores. En el mismo sentido, Schmidt et al. (2016), a los ocho meses después de la aplicación de correctivos agrícolas observaron mayor disponibilidad de P con el empleo del calcáreo en la camada 0-20 cm, sin embargo, después de doce meses verificaron mayor disponibilidad con la combinación del calcáreo con yeso agrícola en las dos camadas analizadas (0-20 y 20-40 cm).

Tabla 4. Tenores de P (mg kg^{-1}) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.

		P (mg kg^{-1})					
Prof. (cm)	Yeso Agrícola (kg ha^{-1})	5 meses			12 meses		
		Cal Agrícola (kg ha^{-1})		Media	Cal Agrícola (kg ha^{-1})		Media
		0	2.000		0	2.000	
0-10	0	22,7	17,5	20,1ns	26,6	24,5	25,5ns
	150	16,3	14,9	15,6	19,9	20,2	20,0
	300	17,0	16,7	16,8	21,3	31,7	26,5
	450	20,6	15,9	18,2	25,4	26,7	26,1
	600	18,6	19,1	18,9	21,9	24,0	23,0
	Media		19,0NS	16,8		23,0NS	25,4
CV (%)		27,4	20,4		28,2	26,0	
10-20	0	5,4	5,3	5,4ns	10,2	11,7	10,9ns
	150	3,4	5,3	4,3	6,5	8,2	7,3
	300	5,9	5,0	5,5	13,4	13,8	13,6
	450	4,9	5,2	5,0	11,9	13,6	12,8
	600	5,6	5,5	5,6	8,0	11,2	9,6
	Media		5,0NS	5,3		10,0NS	11,7
CV (%)		35,8	34,1		32,5	29,3	
20-40	0	2,8	3,2	3,0ns	6,3	3,9	5,1ns
	150	2,3	3,1	2,7	3,3	3,8	3,5
	300	3,0	2,8	2,9	6,3	4,7	5,5
	450	2,4	3,0	2,7	6,7	4,7	5,7
	600	2,5	3,5	3,0	3,7	6,3	5,0
	Media		2,6NS	3,1		5,3NS	4,7
CV (%)		20,8	23,5		20,1	23,8	

NS y ns, diferencia no significativa en la línea y columna, respectivamente ($P < 0,05$); medias seguidas por letras mayúsculas y minúsculas diferentes en la línea y columna, respectivamente, se diferencian significativamente, por la prueba de Tukey ($P < 0,05$); CV coeficiente de variación.

Los tenores de K^+ disponible fueron influenciados por la aplicación del yeso agrícola en las parcelas sin y con cal agrícola en la camada superficial (0-0,1 m) a los cinco meses después de su aplicación, evidenciando una disminución a medida que se incrementan las dosis de yeso agrícola, comprobando un movimiento vertical del catión en estudio hasta camadas más profundas ocasionado por el S-SO_4^{-2} . En las profundidades 0,1-0,2 y 0,2-0,4 m no se verificaron efecto de los tratamientos aplicados (Tabla 5; Figura 5). Estos resultados se asemejan a los obtenidos por Meert (2013), que cinco meses posteriores a la aplicación de dosis crecientes del yeso agrícola (0, 2, 4 y 8 t ha^{-1}) observó disminución en los tenores de K^+ disponible en el suelo a medida que aumentaba las dosis hasta 0,2 m de profundidad.

En tanto, la aplicación combinada del yeso con cal agrícola posterior a los doce meses presentó respuesta significativa en la profundidad 0-0,1 m sobre los niveles de K^+ disponible (Tabla 5; Figura 5). Los tenores de K^+ presentan una tendencia de aumento a los doce meses posteriores a la aplicación de los correctivos en comparación a los cinco meses después, esto puede ser debido al Ca^{+2} adicionado por el yeso agrícola, que desplaza al K^+ de los sitios de intercambio dejándolo libre en la solución del suelo, el cual puede ser absorbido por las plantas o puede reaccionar con el $S-SO_4^{-2}$ y si se dan las condiciones hídricas, ser precipitado a capas más profundas del suelo (Raij 2008).

Tabla 5. Tenores de K^+ ($cmol_c\ kg^{-1}$) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola ($2.000\ kg\ ha^{-1}$). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.

		K^+ ($cmol_c\ kg^{-1}$)					
Prof. (cm)	Yeso Agrícola ($kg\ ha^{-1}$)	5 meses			12 meses		
		Cal Agrícola ($kg\ ha^{-1}$)		Media	Cal Agrícola ($kg\ ha^{-1}$)		Media
		0	2.000		0	2.000	
0-10	0	0,14a	0,10ab	0,12	0,15a	0,09b	0,12
	150	0,12ab	0,18a	0,15	0,15a	0,14a	0,14
	300	0,06ab	0,13ab	0,10	0,16a	0,17a	0,17
	450	0,09ab	0,09ab	0,09	0,17a	0,15a	0,16
	600	0,09b	0,07b	0,08	0,16a	0,16a	0,16
	Media	0,10	0,11		0,16	0,14	
CV(%)	26,7	17,21		19,6	23,4		
10-20	0	0,06	0,05	0,06ns	0,06	0,06	0,06ns
	150	0,04	0,04	0,04	0,07	0,08	0,07
	300	0,04	0,06	0,05	0,08	0,07	0,07
	450	0,08	0,05	0,06	0,08	0,08	0,08
	600	0,04	0,05	0,04	0,08	0,08	0,08
	Media	0,05NS	0,05		0,07NS	0,07	
CV(%)	23,7	22,3		29,4	31,1		
20-40	0	0,05	0,07	0,06ns	0,05	0,06	0,05ns
	150	0,04	0,06	0,05	0,05	0,08	0,06
	300	0,08	0,04	0,06	0,04	0,05	0,05
	450	0,04	0,05	0,04	0,07	0,07	0,07
	600	0,08	0,09	0,08	0,06	0,05	0,05
	Media	0,06NS	0,06		0,05NS	0,06	
CV(%)	15,8	18,1		14,7	15,7		

NS y ns, diferencia no significativa en la línea y columna, respectivamente ($P < 0,05$); medias seguidas por letras mayúsculas y minúsculas diferentes en la línea y columna, respectivamente, se diferencian significativamente, por la prueba de Tukey ($P < 0,05$); CV coeficiente de variación.

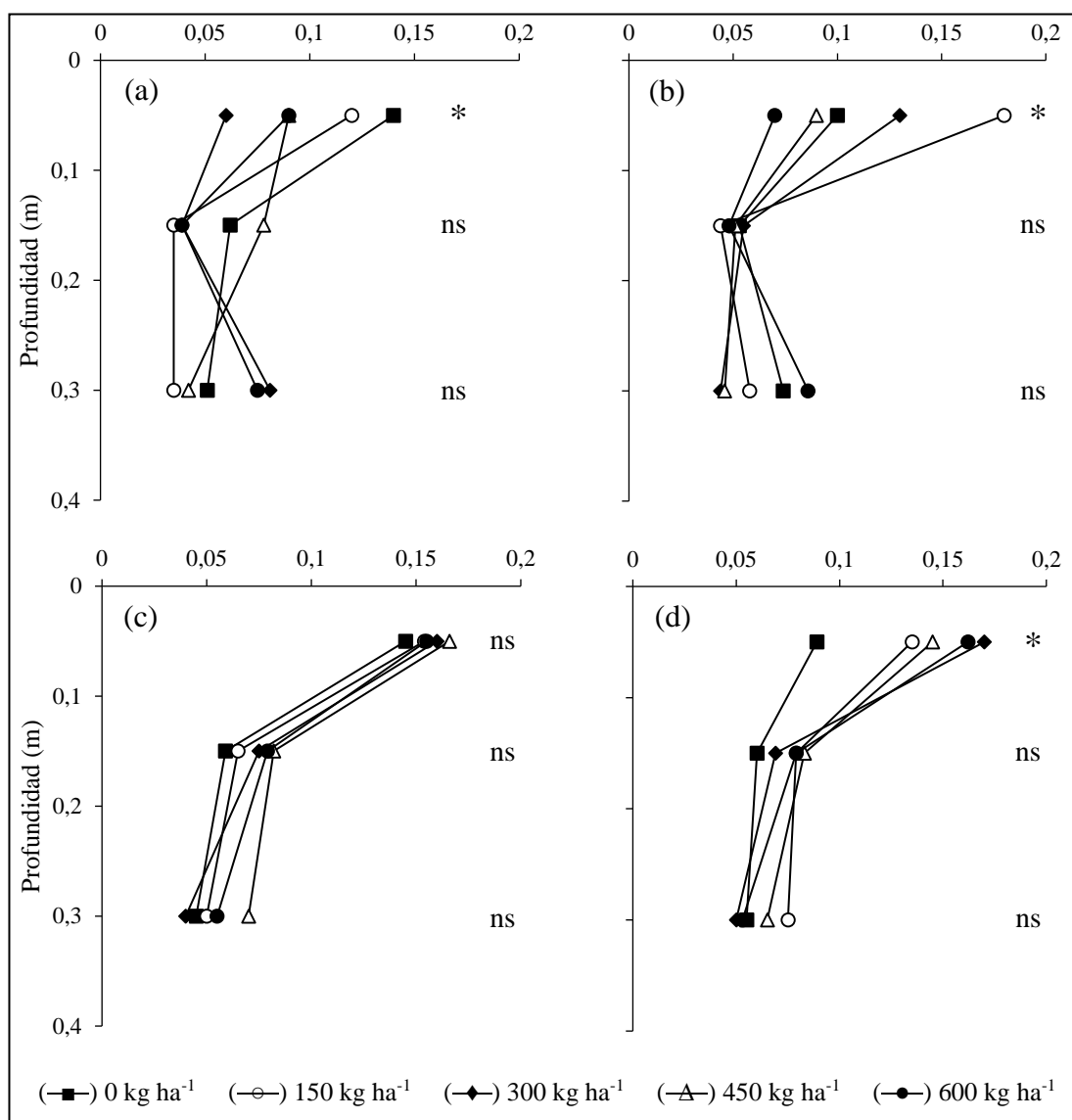


Figura 5. Tenores de K^+ ($cmol_c kg^{-1}$) en el suelo a los 5 (a: sin cal; b: con cal) y 12 (c: sin cal; d: con cal) meses posteriores a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola ($2.000 kg ha^{-1}$) Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019. *Significativo ($p < 0,05$); ns =no significativo.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Fatecha (2018), quien a los veinte meses después de la aplicación del yeso agrícola hasta $1.600 kg ha^{-1}$ encontró efectos solamente en la camada superficial (0-10 cm), no registrando variaciones en mayores profundidades (10-20 y 20-40 cm). Por su parte, Caires et al. (2004), no verificaron influencia sobre los niveles de K^+ disponible después de cuarenta y tres meses de aplicación de yeso agrícola hasta $9 t ha^{-1}$ en ninguna de las profundidades estudiadas (0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm), difiriendo con el presente experimento. Del mismo modo, Pauletti et al. (2014), tampoco observaron lixiviación

del K^+ por efecto de la aplicación del yeso agrícola hasta una dosis de 12 t ha^{-1} tanto a los treinta y seis como setenta y seis meses posteriores.

Los tenores de Ca^{+2} sufrieron alteraciones con la aplicación de la cal agrícola en la camada 0-0,1 m, a los cinco y doce meses después, aumentando $1,6$ y $1,24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente, concordando con los resultados de Meert (2013), quien observó incrementos de $0,42 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ del tenor de Ca^{+2} a los cinco meses después de la aplicación de la cal agrícola, en la profundidad 0-0,1 m. Sin embargo, los niveles de este nutriente en el suelo no fueron afectados por la aplicación del yeso agrícola en ninguna de las tres profundidades del suelo (0-0,1; 0,1-0,2 y 0,2-0,4) a los cinco y doce meses posteriores (Tabla 6; Figura 6), coincidiendo con Souza et al. (2012), quien no registró alteraciones de los tenores de Ca^{+2} con la aplicación de yeso agrícola

Tabla 6. Tenores de Ca^{+2} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.

		Ca^{+2} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)					
Prof. (cm)	Yeso Agrícola (kg ha^{-1})	5 meses			12 meses		
		Cal Agrícola (kg ha^{-1})		Media	Cal Agrícola (kg ha^{-1})		Media
		0	2.000		0	2.000	
0-10	0	5,7	6,5	6,1ns	5,1	6,8	5,9ns
	150	5,7	7,8	6,7	6,2	7,2	6,7
	300	5,5	7,2	6,3	6,0	7,3	6,6
	450	4,8	7,0	5,8	5,9	7,4	6,6
	600	6,2	7,5	6,8	6,5	7,0	6,7
	Media		5,6B	7,2A		5,9B	7,14A
	CV(%)	8,8	15,6		17,2	30,6	
10-20	0	5,0	5,0	5,0ns	4,9	4,6	4,8ns
	150	6,5	5,9	6,2	5,2	5,9	5,6
	300	5,0	5,2	5,1	4,4	5,2	4,8
	450	5,5	5,5	5,4	4,2	5,1	4,6
	600	4,8	5,7	5,2	5,8	6,5	6,1
	Media		5,4NS	5,5		4,9NS	5,5
	CV(%)	19,8	16,2		21,1	31,1	
20-40	0	4,1	4,0	4,0ns	4,4	4,5	4,4ns
	150	3,8	4,5	4,1	4,8	4,9	4,8
	300	4,3	4,2	4,2	4,0	4,7	4,3
	450	4,5	4,0	4,2	4,5	5,5	5,0
	600	3,6	3,5	3,5	5,0	4,0	4,5
	Media		4,1NS	4,0		4,5NS	4,7
	CV(%)	14,8	14,7		19,5	33,1	

NS y ns, diferencia no significativa en la línea y columna, respectivamente ($P < 0,05$); medias seguidas por letras mayúsculas y minúsculas diferentes en la línea y columna, respectivamente, se diferencian significativamente, por la prueba de Tukey ($P < 0,05$); CV, coeficiente de variación.

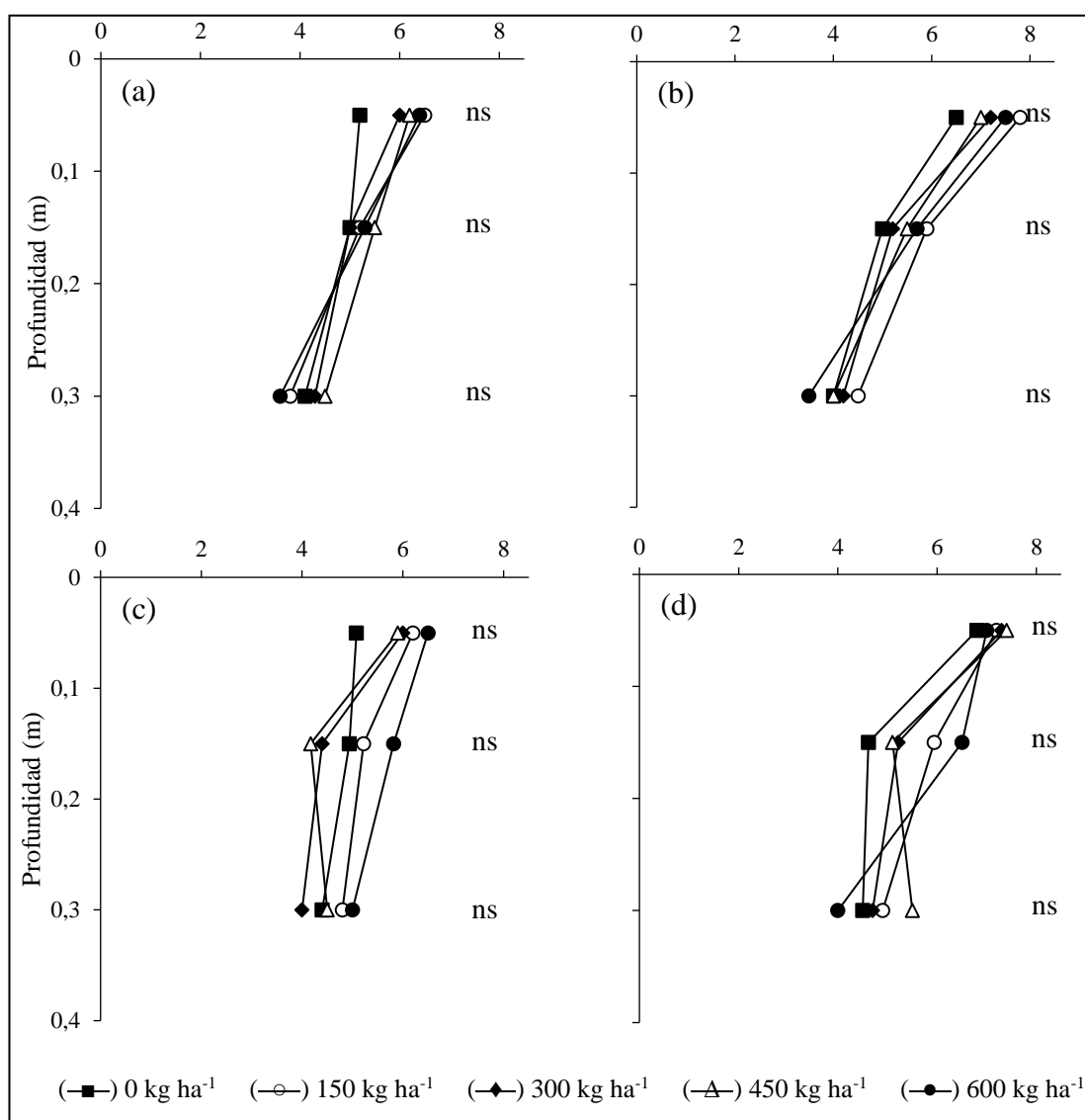


Figura 6. Tenores de Ca^{+2} ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) en el suelo a los 5 (a: sin cal; b: con cal) y 12 (c: sin cal; d: con cal) meses posteriores a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}) Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019. *Significativo ($p < 0,05$); ns =no significativo.

Por su parte, Fatecha (2018), tampoco encontró efecto positivo con la aplicación de dosis creciente de yeso agrícola en un suelo arcilloso en ninguna de las camadas analizadas (0-10, 10-20 y 20-40 cm) evaluando a los ocho y veinte meses posteriores. Por otro lado, Zandoná et al. (2015), a los nueve meses después de la aplicación del yeso verificaron incrementos en los niveles de Ca^{+2} en la camada de 0-10 cm de profundidad con la aplicación de 8 t ha^{-1} . Noia et al. (2014), observaron incrementos en la concentración de Ca^{+2} de $5,62$ a $7,76 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ con la aplicación de 4 t ha^{-1} de yeso agrícola en la camada 0-10 cm de profundidad. Raji (2008), afirma

que el yeso posee aproximadamente 17% de Ca, por lo que tiene la capacidad de incrementar los tenores del mismo hasta camadas subsuperficiales del suelo debido a su alta solubilidad (Caires et al. 2004).

Los niveles de Mg^{+2} no fueron afectados significativamente por la aplicación de yeso y cal agrícola en ninguna de las camadas del suelo evaluados (0-0,1; 0,1-0,2 y 0,2-0,4 m) a los cinco y doce meses posteriores (Tabla 7; Figura 7). Existe una tendencia de aumento en la cantidad de Mg^{+2} a los doce meses después de la aplicación del yeso agrícola (Figura 7 c, d) en comparación a los cinco meses posteriores (Figura 7 a, b). Esto puede estar relacionada a la liberación del Mg^{+2} por el desplazamiento del Ca^{+2} de los sitios de intercambio, dejándolo libre en la solución del suelo.

Tabla 7. Tenores de Mg^{+2} ($cmol_c kg^{-1}$) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola ($2.000 kg ha^{-1}$). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.

		Mg^{+2} ($cmol_c kg^{-1}$)					
Prof. (cm)	Yeso Agrícola ($kg ha^{-1}$)	5 meses			12 meses		
		Cal Agrícola ($kg ha^{-1}$)		Media	Cal Agrícola ($kg ha^{-1}$)		Media
		0	2.000			0	
0-10	0	0,50	0,45	0,47ns	0,45	0,5	0,48ns
	150	0,51	0,49	0,50	0,52	0,55	0,54
	300	0,47	0,53	0,50	0,65	0,63	0,64
	450	0,49	0,51	0,50	0,58	0,59	0,59
	600	0,48	0,55	0,52	0,57	0,54	0,56
	Media		0,49NS	0,51		0,55NS	0,56
	CV(%)	18,3	22,2		29,7	32,1	
10-20	0	0,49	0,49	0,49ns	0,38	0,45	0,41ns
	150	0,48	0,41	0,45	0,41	0,40	0,41
	300	0,46	0,47	0,47	0,35	0,41	0,38
	450	0,44	0,45	0,45	0,45	0,38	0,41
	600	0,46	0,43	0,45	0,38	0,42	0,40
	Media		0,47NS	0,45		0,39NS	0,41
	CV(%)	22,7	21,17		25,1	24,6	
20-40	0	0,41	0,37	0,39ns	0,29	0,31	0,30ns
	150	0,38	0,38	0,38	0,32	0,35	0,34
	300	0,39	0,30	0,35	0,31	0,38	0,34
	450	0,35	0,37	0,36	0,30	0,33	0,32
	600	0,42	0,35	0,39	0,32	0,38	0,35
	Media		0,39NS	0,35		0,31NS	0,35
	CV(%)	22,1	25,3		32,7	36,4	

NS y ns, diferencia no significativa en la línea y columna, respectivamente ($P < 0,05$); medias seguidas por letras mayúsculas y minúsculas diferentes en la línea y columna, respectivamente, se diferencian significativamente, por la prueba de Tukey ($P < 0,05$); CV coeficiente de variación.

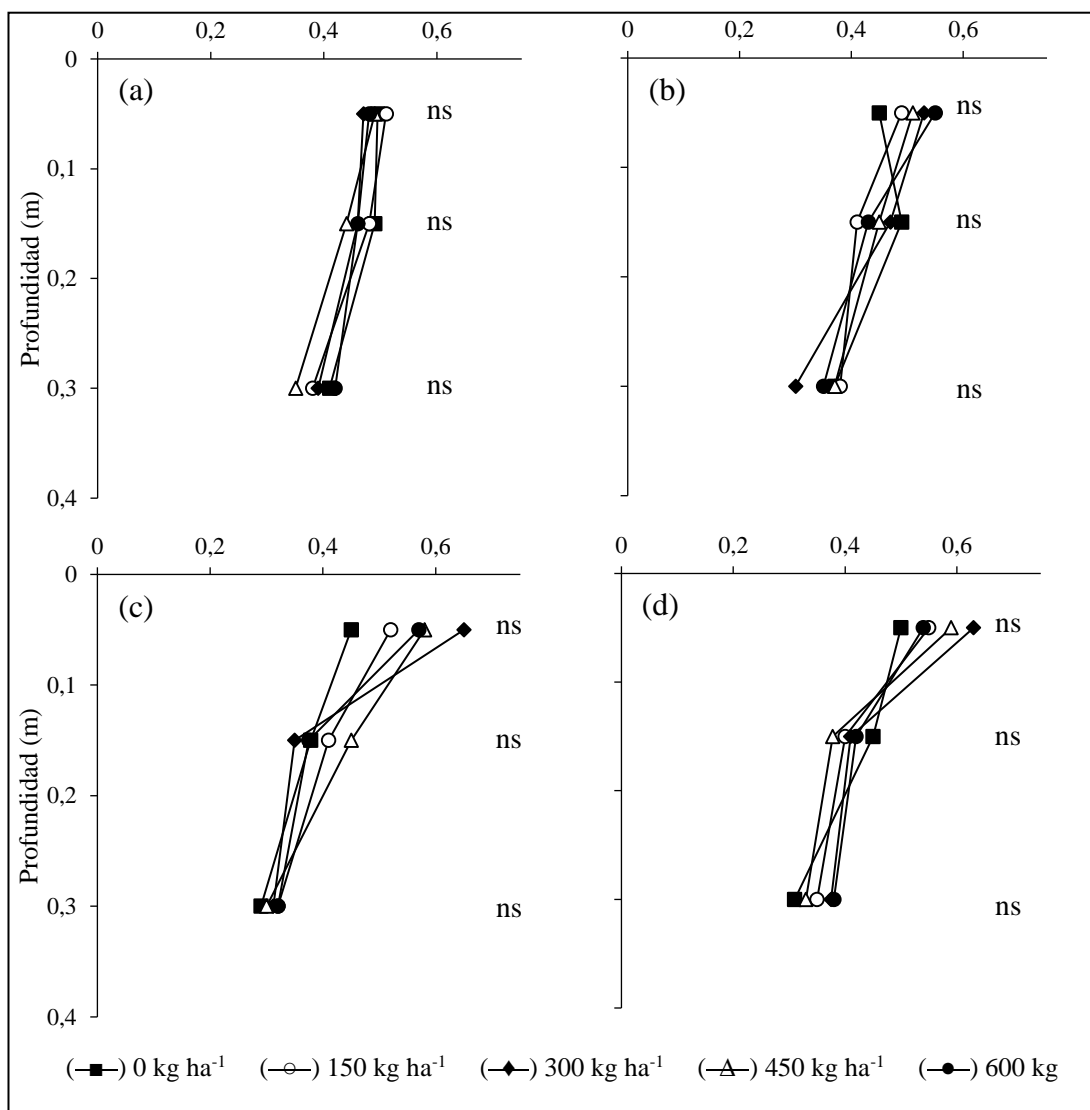


Figura 7. Tenores de Mg^{+2} ($cmol_c kg^{-1}$) en el suelo a los 5 (a: sin cal; b: con cal) y 12 (c: sin cal; d: con cal) meses posteriores a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola ($2.000 kg ha^{-1}$) Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019. *Significativo ($p < 0,05$); ns = no significativo.

Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Watanabe (2013), quien no verificó variaciones en los tenores de Mg^{+2} con la aplicación de yeso y cal agrícola hasta una dosis de 4 y 2 $t ha^{-1}$ respectivamente después de doce meses de su aplicación. De acuerdo con Noia et al. (2014); Zandoná et al. (2015), con la aplicación de mayores dosis de yeso agrícola se observa disminución en las concentraciones de Mg^{+2} en la camada superficial, pero en las camadas más profundas (hasta 0,4 m) se observa incrementos en los tenores de Mg^{+2} . Varios autores afirman que la lixiviación del Mg^{+2} es una respuesta frecuente a la aplicación del yeso agrícola en el suelo (Caires et al. 1999; Caires et al. 2003; Caires et al. 2004; Schmidt et al. 2016).

En cuanto al Al^{+3} intercambiable, no se encontraron influencia significativa a la aplicación de yeso y cal agrícola en las tres camadas analizadas y a los cinco y doce meses (Tabla 8), coincidiendo con los resultados de Jimenez et al. (2007); Zambrosi et al. (2007a), Oliveira et al. (2017), quienes no registraron variaciones en los niveles del Al^{+3} intercambiable con la aplicación de hasta 2.000, 9.000 y 12.000 $kg\ ha^{-1}$ de yeso agrícola, respectivamente, después de cincuenta y cinco, y tres meses de su aplicación al suelo.

Tabla 8. Tenores de Al^{+3} ($cmol_c\ kg^{-1}$) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola ($2.000\ kg\ ha^{-1}$). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.

Al^{+3} ($cmol_c\ kg^{-1}$)							
Prof. (cm)	Yeso Agrícola ($kg\ ha^{-1}$)	5 meses			12 meses		
		Cal Agrícola ($kg\ ha^{-1}$)		Media	Cal Agrícola ($kg\ ha^{-1}$)		Media
		0	2.000		0	2.000	
0-10	0	1,1	1,0	1,1ns	1,1	1,0	1,0ns
	150	1,2	0,9	1,0	1,2	1,0	1,1
	300	1,3	0,9	1,1	1,2	0,9	1,0
	450	1,4	1,1	1,2	1,3	1,0	1,1
	600	1,2	1,1	1,1	1,1	0,9	1,0
	Media		1,2NS	1,0		1,2NS	0,9
	CV(%)	27,7	19,5		25,1	32,1	
10-20	0	1,2	1,1	1,1ns	1,1	1,2	1,2ns
	150	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2
	300	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	450	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	600	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2
	Media		1,2NS	1,2		1,2NS	1,2
	CV(%)	17,9	12,9		25,6	27,8	
20-40	0	1,0	0,8	0,9ns	0,9	0,9	0,9ns
	150	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9
	300	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0
	450	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0
	600	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
	Media		0,9NS	0,9		1,0NS	0,9
	CV(%)	19,8	13,2		29,2	30,1	

NS y ns, diferencia no significativa en la línea y columna, respectivamente ($P < 0,05$); medias seguidas por letras mayúsculas y minúsculas diferentes en la línea y columna, respectivamente, se diferencian significativamente, por la prueba de Tukey ($P < 0,05$); CV, coeficiente de variación.

Por otro lado, Caires et al. (1999), mencionan que la aplicación superficial del yeso agrícola bajo SSD produjo reducción del Al^{+3} intercambiable en las camadas 5-10, 20-40, 40-60 y 60-80 cm. A su vez, Amaral et al. (2017), destacan que la concentración de Al^{+3} intercambiable fue neutralizada en su totalidad con la aplicación

de yeso agrícola en las capas de 0-20 y 20-40 cm de profundidad, debido a la formación de un par iónico con el $S-SO_4^{-2}$ proveniente del yeso. Rampim et al. (2013), sostienen que a los doce meses después de la aplicación de 2.500 kg ha^{-1} de yeso alcanza el punto mínimo del tenor de Al^{+3} intercambiable en un suelo de textura arcillosa en la capa superficial (0-10 cm) y con 3.300 kg ha^{-1} en las capas más profundas (10-20 y 20-40 cm).

Los valores de H+Al no fueron influenciados por las dosis de yeso y cal agrícola en las tres capas evaluadas (0-0,1; 0,1-0,2 y 0,2-0,4 m) a los cinco y doce meses posteriores (Tabla 9), coincidiendo con los resultados de Caires et al (2004); Rampim (2008); Rampim et al. (2011), quienes tampoco verificaron variaciones significativas con la aplicación de yeso agrícola.

Tabla 9. Tenores de H+Al ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha^{-1}). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.

		H+Al ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)					
		5 meses			12 meses		
Prof. (cm)	Yeso Agrícola (kg ha^{-1})	Cal Agrícola (kg ha^{-1})		Media	Cal Agrícola (kg ha^{-1})		Media
		0	2.000		0	2.000	
0-10	0	3,00	2,91	3,0ns	2,8	2,9	2,9ns
	150	2,90	3,31	3,1	2,8	3,4	3,1
	300	3,45	3,28	3,4	3,5	3,3	3,4
	450	3,30	3,12	3,2	3,2	3,1	3,1
	600	3,20	3,16	3,2	3,0	3,1	3,0
	Media		3,2NS	3,2		3,0NS	3,1
	CV(%)	20,4	11,5		10,7	7,8	
10-20	0	3,11	3,25	3,2ns	3,7	3,2	3,5ns
	150	3,34	3,60	3,5	4,0	4,2	4,1
	300	3,41	3,56	3,5	4,6	4,0	4,3
	450	3,43	3,50	3,5	4,4	3,8	4,1
	600	3,59	3,43	3,5	3,5	3,9	3,7
	Media		3,4NS	3,5		4,0NS	3,8
	CV(%)	7,3	12,6		10,4	12,5	
20-40	0	4,25	4,12	4,2ns	4,1	3,7	3,9ns
	150	4,45	4,25	4,4	4,3	3,9	4,1
	300	4,46	4,19	4,3	4,2	3,9	4,0
	450	4,22	4,00	4,1	4,0	3,8	3,9
	600	3,61	3,50	3,6	3,6	3,6	3,6
	Media		4,2NS	4,0		4,02NS	3,78
	CV(%)	14,1	11,1		10,7	14,2	

NS y ns, diferencia no significativa en la línea y columna, respectivamente ($P < 0,05$); medias seguidas por letras mayúsculas y minúsculas diferentes en la línea y columna, respectivamente, se diferencian significativamente, por la prueba de Tukey ($P < 0,05$); CV coeficiente de variación.

Además, varios investigadores más mencionan no haber verificado respuesta significativa a la aplicación del yeso agrícola sobre la acidez potencial en todo el perfil del suelo estudiado de forma similar a la presente investigación (Caires et al. 2001; Meert 2013; Vicensi 2015; Soares 2016). Sin embargo, Souza et al. (2012), verificaron una reducción importante de la concentración de H+Al en la camada superficial del suelo por la aplicación del yeso agrícola, cuya disminución fue de 105 mmol dm⁻³ a 36 mmol dm⁻³ después de 45 meses de su aplicación.

No se registraron respuestas significativas a la aplicación del yeso y cal agrícola sobre los valores de saturación por bases, en las tres camadas estudiadas, a los 5 y 12 meses posteriores (Tabla 10), coincidiendo con los de Fatecha (2018), quien no verificó respuesta a la aplicación de yeso agrícola sobre los valores de saturación por bases en ninguna de las profundidades estudiadas (0-10, 10-20 y 20-40 cm).

Tabla 10. Tenores de saturación por bases (V%) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha⁻¹). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.

Saturación por bases (V%)							
Prof. (cm)	Yeso Agrícola (kg ha ⁻¹)	5 meses			12 meses		
		Cal Agrícola (kg ha ⁻¹)		Media	Cal Agrícola (kg ha ⁻¹)		Media
		0	2.000		0	2.000	
0-10	0	53,4	59,6	56,5ns	53,3	68,6	60,9ns
	150	59,4	64,2	61,8	62,0	73,3	67,7
	300	58,7	64,7	61,7	65,5	69,7	67,6
	450	55,7	66,7	61,2	66,1	66,5	66,3
	600	65,5	68,2	66,9	68,7	73,4	71,1
	Media	58,5NS	64,7		63,1NS	70,3	
	CV(%)	5,5	5,1		8,3	10,8	
10-20	0	63,3	64,9	64,1ns	61,5	64,0	62,8ns
	150	60,1	61,9	61,0	62,6	63,9	63,2
	300	59,2	64,2	61,7	59,2	65,0	62,1
	450	57,2	65,6	61,4	62,5	63,0	62,8
	600	60,0	64,7	62,3	65,6	69,0	67,3
	Media	60,0NS	64,3		62,3NS	65,0	
	CV(%)	3,9	4,7		8,5	15,1	
20-40	0	50,0	50,6	50,3ns	51,1	50,3	50,7ns
	150	53,2	55,3	54,3	52,2	53,3	52,8
	300	51,9	50,0	50,9	50,6	51,2	50,9
	450	59,6	57,5	58,6	60,2	56,6	58,4
	600	61,1	59,4	60,2	62,4	60,0	61,2
	Media	55,1NS	54,6		55,3NS	54,3	
	CV(%)	4,2	3,1		8,6	11,4	

NS y ns, diferencia no significativa en la línea y columna, respectivamente (P<0,05); medias seguidas por letras mayúsculas y minúsculas diferentes en la línea y columna, respectivamente, se diferencian significativamente, por la prueba de Tukey(P<0,05); CV coeficiente de variación.

Sin embargo, difirieren de los resultados obtenidos por Watanabe (2013), quien obtuvo respuesta significativa sobre la saturación por bases con la aplicación de yeso y cal agrícola en las camadas 0-0,1 y 0,2-0,3 m, siendo no significativa en la profundidad 0,1-0,2 m. Martins (2011), con la aplicación de 2.100 kg ha⁻¹ observó incrementos en los valores de la saturación por bases en la camada superficial del suelo (0-0,2 m).

Tabla 11. Tenores de saturación por Al (m%) en el suelo a los 5 y 12 meses posterior a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola (2.000 kg ha⁻¹). Villa del Rosario, San Pedro. 2018/2019.

Saturación por Al (m%)							
Prof. (cm)	Yeso Agrícola (kg ha ⁻¹)	5 meses			12 meses		
		Cal Agrícola (kg ha ⁻¹)		Media	Cal Agrícola (kg ha ⁻¹)		Media
		0	2.000		0	2.000	
0-10	0	15,0	12,2	13,6ns	16,0	11,6	13,8ns
	150	15,9	9,4	12,7	14,7	10,8	12,7
	300	17,2	10,3	13,7	15,0	9,6	12,3
	450	20,5	12,4	16,5	15,8	10,9	13,4
	600	14,6	11,5	13,0	12,7	10,7	11,7
	Media		16,6NS	11,2		14,8NS	10,7
	CV(%)	30,1	24,5		14,1	18,7	
10-20	0	17,1	16,8	17,0ns	17,5	18,5	18,0ns
	150	14,7	15,8	15,3	18,0	16,0	17,0
	300	18,7	17,9	18,3	21,2	18,3	19,8
	450	17,8	17,6	17,7	21,0	19,2	20,1
	600	17,1	14,5	15,8	15,5	14,4	15,0
	Media		17,1NS	16,5		18,6NS	17,3
	CV(%)	23,7	18,1		20,1	15,9	
20-40	0	18,0	15,3	16,6ns	16,3	14,9	15,6ns
	150	16,8	14,7	15,7	16,2	14,2	15,2
	300	15,9	16,5	16,2	17,9	15,6	16,8
	450	16,7	17,7	17,2	18,3	14,3	16,3
	600	17,2	17,6	17,4	14,2	16,2	15,2
	Media		16,9NS	16,4		16,5NS	15,0
	CV(%)	24,3	21,7		22,1	25,3	

NS y ns, diferencia no significativa en la línea y columna, respectivamente (P<0,05); medias seguidas por letras mayúsculas y minúsculas diferentes en la línea y columna, respectivamente, se diferencian significativamente, por la prueba de Tukey (P<0,05); CV coeficiente de variación.

No hubo efecto significativo sobre la saturación por Al⁺³ (m%) con la aplicación de yeso y cal agrícola en todo el perfil del suelo estudiado y en los dos momentos de muestreo (Cinco y doce meses) como se observa en la Tabla 11. Estos resultados coinciden con los de Fatecha (2018), quien aplicando hasta 1.600 kg ha⁻¹ de

yeso agrícola no constató efectos sobre la saturación por Al en las diferentes camadas evaluadas.

Por otro lado, Rampim et al. (2011), constataron una reducción de los valores de la saturación por Al^{+3} ocasionada por la disminución del Al^{+3} intercambiable y el incremento de la concentración de Ca^{+2} en el suelo por efecto de la aplicación del yeso. Pauletti et al. (2014), verificaron disminución de la saturación por Al^{+3} a partir de la camada 40-60 cm, de 87% en la condición inicial del suelo a valores por encima del 40% con la aplicación de yeso agrícola evaluado a los treinta y seis meses después, dicha reducción fue más acentuada a los setenta y dos meses posteriores alcanzando valores inferiores al 20% en todos los niveles de yeso aplicado.

4.2 Efecto de la aplicación de cal y yeso agrícola en el cultivo de maíz

La altura de planta, altura de inserción de mazorca y el número de hojas por planta no presentaron influencia en la aplicación de cal y dosis de yeso agrícola con medias de 1,6 m, 57 cm y 12 unidades respectivamente (Tabla 12).

Tabla 12. Valores medios de altura de planta, altura de inserción de mazorca y número de hojas por planta de maíz en función a dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Factor A Cal agrícola	Dosis	Altura de planta	Altura de inserción de mazorca	Hojas por planta
	--kg ha ⁻¹ --	----m----	----cm----	---número---
	0	1,63 ^{ns}	55,69 ^{ns}	11,87 ^{ns}
	2.000	1,65	57,32	12,06
Media		1,64	56,51	11,97
Factor B Yeso agrícola				
	0	1,60 ^{ns}	54,04 ^{ns}	11,75 ^{ns}
	150	1,63	55,73	11,70
	300	1,65	57,25	12,09
	450	1,64	56,91	12,00
	600	1,65	58,60	12,29
Media		1,63	56,51	11,97
CV%		6,67	9,78	5,81

CV, coeficiente de variación; ns, no significativo a la probabilidad de error (p<0,05).

Las variables no presentaron interacciones significativas entre los factores, indicando que cada factor actuó de forma independiente. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Quiñónez (2017), quien tampoco encontró respuesta significativa en las mismas variables por aplicación de dosis crecientes de yeso agrícola. Sin embargo, Soares (2016), observó disminución en la altura de planta de maíz conforme aumentaba la dosis de yeso agrícola.

De acuerdo con Silva et al. (2003), esta falta de influencia en los parámetros de crecimiento del maíz puede ser debido a la mayor retención del azufre en las raíces del cultivo, no siendo redistribuida a la parte aérea de la planta, ocasionado por el déficit hídrico sufrido durante el periodo del experimento.

Las variables diámetro del tallo, longitud de espiga y diámetro de espiga, presentados en la Tabla 13, no presentaron respuestas significativas entre los tratamientos aplicados (Yeso y cal agrícola), donde las medias generales de las mismas son 1,40; 13,05 y 4,07 cm respectivamente. La reacción de los correctivos aplicados al suelo debió estar limitado por las pocas precipitaciones y especialmente en el maíz, debido a que fueron aplicados pocos días antes de la siembra del maíz.

Tabla 13. Valores medios diámetro del tallo, longitud de espiga y diámetro de espiga del maíz en función a dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Factor A Cal agrícola	Dosis	Diámetro del tallo	Longitud de espiga	Diámetro de espiga
	--kg ha⁻¹--	----cm----	----cm----	----cm----
	0	1,39 ^{ns}	12,9 ^{ns}	4,02 ^{ns}
	2.000	1,42	13,1	4,12
Media		1,41	13,0	4,07
Factor B Yeso agrícola				
	0	1,39 ^{ns}	12,5 ^{ns}	4,05 ^{ns}
	150	1,36	13,1	4,04
	300	1,41	13,2	4,03
	450	1,42	13,0	4,04
	600	1,44	13,3	4,18
Media		1,40	13,05	4,07
CV%		7,20	7,59	6,83

CV, coeficiente de variación; ns, no significativo a la probabilidad de error ($p < 0,05$).

Los resultados del presente experimento coinciden con los obtenidos por Fatecha (2018), quien no obtuvo respuesta significativa a la aplicación de yeso agrícola aplicando hasta una dosis de 1.600 kg ha⁻¹ sobre las variables diámetro del tallo, longitud de espiga y diámetro de espiga, siendo 2; 16 y 4 cm respectivamente, los valores medios de cada una de las variables. Del mismo modo, Soares (2016), aplicando dosis crecientes de yeso (0 a 8 Mg ha⁻¹) tampoco observó influencia sobre la longitud de espiga del maíz.

La aplicación de dosis crecientes de yeso y cal agrícola no influyó significativamente sobre el peso hectolítrico, peso de mil semillas y rendimiento de granos del maíz, así como tampoco hubo interacción entre los factores. Las medias generales de las variables mencionadas en la Tabla 14, son 77 g, 283 g y 3.017 kg ha⁻¹ respectivamente.

Tabla 14. Valores medios de peso hectolítrico, peso de mil semillas y rendimiento de granos del maíz en función a dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Factor A	Dosis	Peso hectolítrico	Peso de mil semillas	Rendimiento de granos
Cal agrícola	--kg ha⁻¹--	----g----	----g----	----kg ha⁻¹----
	0	78 ^{ns}	277,1 ^{ns}	2.940 ^{ns}
	2.000	77	288,9	3.094
Media		78	283,0	3.017
Factor B				
Yeso agrícola				
	0	77 ^{ns}	288,6 ^{ns}	2.885 ^{ns}
	150	77	284,3	3.019
	300	78	278,5	3.145
	450	78	275,0	2.892
	600	78	288,8	3.143
Media		78	283,09	3.017
CV%		1,72	8,51	26,67

CV, coeficiente de variación; ns, no significativo a la probabilidad de error (p<0,05).

Los rendimientos obtenidos en la presente investigación se encuentran por debajo del rendimiento promedio anual nacional de la zafra 2017-2018, que fue de 4.967 kg ha⁻¹ (CAPECO 2019), registrándose una diferencia de 1.950 kg ha⁻¹. Esta falta de respuesta en el cultivo de maíz a los tratamientos aplicados puede estar relacionado a las escasas precipitaciones registradas y mala distribución temporal de

las mismas durante el ciclo del cultivo (178,1 mm), disminuyendo considerablemente la reacción química en el suelo tanto del yeso como de la cal agrícola.

Estos resultados se asemejan a los obtenidos por Quiñónez (2017), quien no observó influencia a la aplicación de yeso sobre el peso hectolítrico, peso de mil semillas y rendimiento de granos del cultivo, obteniendo valores de 328 g, 58 g y 6.274 kg ha⁻¹ respectivamente. Por su parte, Soares (2016), Fatecha (2018), tampoco encontraron respuesta significativa a la aplicación del yeso agrícola sobre la productividad del maíz, arrojando rendimientos promedios de 6.932 y 6.090 kg ha⁻¹ respectivamente.

Resultados diferentes a la presente investigación fueron obtenidos por, Gonçalves (2009) y Michalovicz (2012), quienes encontraron respuesta a la adición de dosis creciente de yeso agrícola sobre la producción del maíz, con las dosis 7,8 y 4 Mg ha⁻¹, respectivamente, ocasionando ambas dosis un incremento del 11% en el rendimiento de granos con relación al tratamiento control (Sin aplicación de yeso). Del mismo modo, Rodríguez (2016), verificó efectos significativos sobre la productividad de granos del maíz con la aplicación de dosis crecientes de yeso agrícola registrando incremento de 1.894 kg ha⁻¹ en comparación con el testigo. A su vez, mediante la aplicación conjunta del yeso agrícola con el calcáreo, Caires et al. (2004), Meert (2013), Pauletti et al. (2014) y Zandoná et al. (2015), observaron incrementos en la productividad de granos del cultivo de maíz.

De acuerdo, a la CQFS-RS/SC (2016), el nivel crítico de S para el maíz es de 5 mg kg⁻¹ de suelo, por lo que la concentración de este nutriente no fue el factor limitante para la falta de respuesta en el maíz, debido a que el tenor del S en el suelo en estudio fue aproximadamente 20 mg kg⁻¹. El azufre originado de la MO del suelo (Rheinhermer et al. 2007), y/u obtenido de la deposición atmosférica (Tiecher et al. 2013) pudo haber sido suficiente para suplir las necesidades nutricionales del cultivo. El cultivo de maíz es poco exigente a la nutrición del S, sin embargo, las gramíneas generalmente presentan mayor probabilidad de respuesta al yeso agrícola comparado con las leguminosas (Tiecher et al. 2018).

4.3 Efecto de la aplicación de cal y yeso agrícola en el cultivo de soja

Las dosis de yeso y cal agrícola aplicados no proporcionan efectos significativos sobre el número de vainas por planta y peso hectolítrico de la soja. La altura de planta obtuvo una diferencia de 7,47 cm donde fue aplicada cal agrícola comparando con el tratamiento sin aplicación (Tabla 15). No hubo interacción entre los factores analizados.

Tabla 15. Valores medios de altura de planta, número de vainas por planta, peso hectolítrico de soja en función a dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Factor A Cal agrícola	Dosis	Altura de planta	Vaina por planta	Peso hectolítrico
	--kg ha⁻¹--	----cm----	----número----	----g----
	0	48,19b	49,00 ^{ns}	44,49 ^{ns}
	2.000	55,66a	56,08	43,67
Media		51,93	52,54	44,08
Factor B Yeso agrícola				
	0	52,16 ^{ns}	51,30 ^{ns}	43,51 ^{ns}
	150	52,82	54,36	44,01
	300	53,17	57,82	44,73
	450	53,30	52,99	43,69
	600	49,17	46,21	44,45
Media		52,12	52,54	44,08
CV%		11,71	6,83	3,42

CV, coeficiente de variación; ns, no significativo. Medias seguidas por diferentes letras difieren entre sí por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En trabajos realizados en distintos suelos de la región Oriental, fueron observados resultados semejantes a este experimento, donde Watanabe (2013), tampoco obtuvo respuesta significativa en la altura de planta de soja a la aplicación conjunta de yeso con cal agrícola, presentándose igualmente condiciones de déficit hídrico. Del mismo modo, Quiñónez et al. (2017) y Fatecha (2018), tampoco observaron influencia del yeso agrícola sobre la altura de planta y número de vainas por planta de la soja con la aplicación de hasta 3.200 y 1.600 kg ha⁻¹ respectivamente en un oxisol arcilloso.

Además, evaluando el efecto residual del yeso agrícola, Giménez (2017), tampoco verificó efectos significativos sobre la altura de planta y número de vainas

por planta del cultivo de soja. Por su parte, Klock (2016), aplicando 200 kg ha⁻¹ de yeso agrícola registró incremento de 26,4 unidades del número de vainas por planta de soja con relación al tratamiento control, pero en la altura de planta no encontró efecto positivo.

Asimismo, Aguiar et al. (2013), combinando yeso agrícola con cal observaron influencia sobre la altura de la planta de soja, registrando un incremento de 13 cm en comparación con el tratamiento control. Por su parte, Espíndola et al. (2014), al aplicar yeso con cal agrícola no verificaron diferencia significativa en la altura de plantas y número de vainas por planta de soja.

El peso de mil granos y rendimiento de granos de la soja no fueron afectados por la aplicación de la cal agrícola y por las dosis de yeso agrícola, con una media de 116 g y 1.170 kg ha⁻¹ respectivamente (Tabla 16). Analizando las medias del rendimiento de granos de soja se contrasta que las parcelas que recibieron cal agrícola presentaron un rendimiento promedio superior en 154 kg ha⁻¹ en comparación con las parcelas sin cal agrícola, sin embargo, con respecto a la aplicación de yeso agrícola no se observó ninguna tendencia de aumento en el rendimiento de la soja (Tabla 16).

Tabla 16. Valores medios de peso de mil granos y rendimiento de granos la soja en función a la aplicación de dosis de yeso agrícola con y sin cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Factor A	Dosis	Peso de mil granos	Rendimiento de granos
Cal agrícola	--kg ha⁻¹--	----g----	----kg ha⁻¹----
	0	116,7 ^{ns}	1.118 ^{ns}
	2.000	116,2	1.223
Media		116,5	1.170
Factor B			
Yeso agrícola			
	0	117,0 ^{ns}	1.101 ^{ns}
	150	119,0	1.115
	300	112,4	1.176
	450	113,7	1.250
	600	120,2	1.209
Media		116,5	1.170
CV%		7,5	14,3

CV, coeficiente de variación; ns, no significativo a la probabilidad de error (p<0,05).

Los rendimientos de la soja en el presente trabajo se encuentran muy por debajo del rendimiento promedio anual de la zafra 2018/2019, con 3.018 kg ha^{-1} (CAPECO 2019), habiendo una disminución del 1.850 kg ha^{-1} . La falta de influencia de los correctivos aplicados en el suelo sobre los componentes de crecimiento y rendimientos de granos de la soja pudo haber sido a la escasa precipitación registradas durante el ciclo de dicho cultivo, que pudo haber afectado a la reacción química de los insumos utilizados como tratamientos. Resultados semejantes al presente experimento fueron obtenidos por Watanabe (2013); quien no obtuvo diferencia significativa a la aplicación conjunta del yeso con la cal agrícola en el peso de mil granos y rendimiento de granos, registrando valores medios de 174 g y 1.557 kg ha^{-1} , respectivamente.

Asimismo, en varios experimentos de aplicación de yeso y cal agrícola, evaluando su efecto sobre la productividad de granos de soja no se observó aumento (Caires et al. 1998, Caires et al. 1999, Caires et al. 2003, Rampim 2008, Neis et al. 2010, Rosatto et al. 2013, Espíndola et al. 2014, Soares 2016, Giménez 2017, Quiñónez 2017, Fatecha 2018). Sin embargo, Salvagiotti et al. (2004), Savio et al. (2011) y Zandoná et al. (2015), verificaron incrementos en la productividad de granos de soja mediante la aplicación de yeso y cal agrícola respectivamente.

Otro factor que pudo haber influenciado en la falta de respuesta de los tratamientos aplicados sobre la soja es el tenor de materia orgánica del suelo donde se implantó el experimento, que mediante la mineralización incrementa los tenores de S disponibles (Tiecher et al. 2013), supliendo la necesidad del cultivo. Ferraris et al. (2004), mencionan que generalmente, la respuesta a la aplicación del S se presenta en suelos con bajos contenidos de MO. Además, el mismo presenta un nivel de aproximadamente 20 mg de S por kg^{-1} de suelo, siendo este valor superior al requerimiento nutricional de la soja que es de 10 mg kg^{-1} (CQFS-RS/SC 2016), la soja es más exigente en S en relación con las gramíneas (Tiecher et al. 2018).

Así también, esta falta de respuesta pudo deberse al contenido elevado del Al^{+3} en el suelo donde fue implantado el experimento, que además de ser tóxico para las plantas, puede incidir en el aumento de la acidez del suelo y por ende en la disponibilidad de fosfato en el mismo, llegando a formar compuestos de fosfato de aluminio de baja solubilidad en los suelos ácidos (Viviani et al. 2010). Por otro lado,

la concentración del calcio en el suelo también es elevada en comparación al contenido de magnesio, interfiriendo en el incremento de relación de Ca/Mg (6:0,5), que provoca deficiencia del Mg^{+2} (Almeida et al. 2008). El calcio presenta antagonismo con el fósforo, por insolubilización de los fosfatos en los suelos calizos; entre el azufre, el exceso de calcio favorece la formación de sulfato de calcio susceptible a ser lavado y entre el calcio y la mayoría de oligoelementos principalmente el hierro (Navarro y Navarro 2003).

Por otro lado, el suelo de la parcela donde fue instalado el experimento se encuentra extremadamente compactado, siendo a partir de los 10 cm de profundidad los valores de la resistencia mecánica del suelo a la penetración (RMSP) superiores a 2 MPa, que de acuerdo con Arshad et al. (1996), valores iguales o superiores al mismo, el suelo ya se encuentra compactado, que influye en el desarrollo adecuado del sistema radicular de los cultivos. Esta compactación se va incrementando hasta una profundidad de 30 cm, alcanzando valores de hasta 3,6 MPa. A partir de esta profundidad los valores de RMSP van disminuyendo hasta valores de 2,2 MPa a los 50 cm de profundidad, encontrándose aún compactado el suelo en esa camada (Anexo 23). Difícilmente un cultivo podrá desarrollarse bien o demostrar su potencialidad en esas condiciones del suelo.

5. CONCLUSIONES

En el cultivo de maíz no se obtuvo respuesta significativa en ninguno de los parámetros de crecimiento y componentes de rendimiento de granos a la aplicación de diferentes dosis de yeso y cal agrícola.

En el cultivo de soja se verifica incremento de 7,47 cm en la altura de planta con la aplicación de la cal agrícola, no habiendo influencia a la aplicación del yeso. En las variables número de vainas por planta, peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento de granos no se observaron efectos significativos a la aplicación del yeso y cal agrícola.

El SO_4^{-2} fue influenciada por la aplicación del yeso sin cal en la camada de 0,1-0,2 m y con cal agrícola en las camadas de 0-0,1 y 0,1-0,2 m, a los cinco meses después de su aplicación. Sin embargo, a los doce meses no hubo efectos significativos a la aplicación del yeso y cal agrícola en ninguna de las profundidades estudiadas. Los tenores de K^+ respondieron a la aplicación del yeso y cal agrícola en la camada superficial (0-0,1 m), no habiendo alteraciones en las demás profundidades, evaluados a los cinco meses posteriores. Pero a los doce meses después de la aplicación de los correctivos no se registraron influencia sobre los tenores del K^+ , en ninguna de las camadas.

La aplicación de cal agrícola produjo incremento de los valores del pH del suelo, tenores Ca^{+2} en la camada 0-0,1 m de profundidad del suelo, a los cinco y doce meses después, pero no hubo influencia sobre los tenores de P, Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al, saturación por bases y saturación por Al, en ninguna de las camadas analizadas ni en los dos momentos de muestreos. La aplicación del yeso agrícola no presenta influencia sobre los valores del pH del suelo, los tenores de P, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al, saturación por bases y saturación por aluminio, analizadas a los cinco y doce meses después de la aplicación y en las tres profundidades en estudio.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R; Lima, M; Gomes, CJA; Dias, M; Marchione, MS; Berna, R; Conte, AM. 2013. Associação calcário e gesso na cultura da soja e nas características químicas do solo com alta saturação em alumínio. *Cascavel* 6(4):74-84
- Alcarde, JC; Rodella, AA. 2003. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. *Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, MG, BR.* 3:291-334
- Almeida, HC; Ernani, PR; Albuquerque, JA; Mecabô, J; Almeida, D. 2008. Influência da adição de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na lixiviação de cátions em um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa.* 32:1775-1784
- Alves, L. 2015. Atributos físicos e químicos do solo e desempenho agrônomico da cultura da soja submetido a sistemas de manejos e residual de gesso. (Dissertação Mestrado). Faculdade de Engenharia – UNESP. Ilha Solteira, BR. 51p.
- Amaral, AS; Anghinoni, I; Deschamps, FC. 2004. Resíduos de plantas de cobertura e do calcário aplicado na superfície do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* 28(1):115-123
- Amaral, LA; Ascari, JP; Duarte, WM; Mendes, IR; Santos, E; Lenzi, OL. 2017. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. *Revista Agrarian.* 10(35):31-41
- Araujo, TJ. 2011. Deposição atmosférica total de nitrogênio e íons maiores no trecho inferior do rio cachoeira, sul da Bahia – Brasil. (Dissertação de Mestrado). Ilhéus, BR. Universidade Estadual de Santa Cruz. 89p.

- Arce, A. 2017. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. Tesis de Grado (Ingeniería Agronómica). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo. 109p.
- Arshad, MA; Lowery, B; Grossman, B. 1996. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, JW; Jones, AJ. (Ed.). Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America. 49(1): 23-41
- Barabasz, W; Albinska, D; Jaskowska, M; Lipiec, J. 2002. Ecotoxicology of aluminium. Polish journal of environmental studies. 11(3):199-204
- Barcelo, J; Poschenrieder, C. 2002. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. Environmental and Experimental Botany, 48(1):75-92
- Bataglia, V. 2011. Clasificación de los niveles de acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. Tesis de Grado (Ingeniería Agronómica). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo. 76p.
- Brady, NC; Weil, RR. 2002. The nature and properties of soils. 13ed. New Jersey, Prentice-Hall. 960p.
- Caires, E; Blum, J; Barth, G; Garbuió, F; Kusman, M. 2003. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação no sistema de plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 27:275-286
- Caires, EF; Chueiri, WA; Madruga, EF; Figueiredo, A. 1998. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 22:27-34
- Caires, EF; Churka, S; Garbuió, FJ; Ferrari, RA; Morgano, MA. 2006. Soybean yield and quality a function of lime and gypsum applications. Sci. Agric. 63:370-379
- Caires, EF; Feldhaus, IC; Blum, J. 2001. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. Bragantia. 60(3):213-223

- Caires, EF; Fonseca, AF; Mendes, J; Chueiri, WA; Madruga, EF. 1999. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 23:315-327.
- Caires, EF; Kusman, MT; Barth, G; Garbuio, FJ; Padilha, JM. 2004. Alterações químicas do solo e resposta do Milho à calagem e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do solo*. 28:125-136
- CAPECO (Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas). 2019. Área de siembra, producción y rendimiento de soja, maíz, trigo, girasol y canola. CAPECO, Paraguay. (En línea). Consultado 19 jun 2019. Disponible en: <http://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/>
- Carvalho, MCS; Raij, B. 1997 Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. *Plant Soil*, 192:37-48
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. 2016. Manual de calagem e adubação: para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11 ed. Porto Alegre, Brasil. Gráfica e Editora Pallotti. 375p.
- Corrêa, J; Büll, LT; Crusciol, CA; Marcelino, R; Mauad, M. 2007. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 42:1307-1317
- Costa, CHM. 2011. Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Botucatu, BR. 80p.
- Cubilla A, MM; Wendling, A; Eltz, FL; Amado, TJC; Mielniczuk, J. 2012. Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay. Asunción: CAPECO. 88p.
- DINAC (Dirección Nacional de Aeronáutica Civil, PY). 2016. Dirección de Meteorología e hidrología. (En línea). Asunción, PY. Consultado 02 nov 2017. Disponible en: [http:// www.metreologiagov.py/serviciopublico.php](http://www.metreologiagov.py/serviciopublico.php)

- Duggan, M; Rodríguez, M; Lavado, R; Melgar, R. 2010. Eficiencia agronómica del azufre elemental relativa a una fuente azufrada soluble en trigo en la Región Pampeana. *Revista de Ciencia del Suelo*. 28(1):67-77
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), 2003. Recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso Centro de Pesquisa Agropecuaria do Oeste Dourados, MS. 60p.
- Espíndola, JÁ; Marques, GC; Lambert, RA. 2014. Influência da aplicação de calcário e gesso na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*. 10(18):1980
- Fatecha, DA. 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. Tesis de Grado (Ingeniería Agronómica). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo. 109p.
- Fatecha, DA. 2018. Produtividade das culturas de soja e milho e alterações dos atributos químicos do solo em função da aplicação do gesso agrícola no Paraguai. (Tese de Doutorado). Marechal Cândido Rondon, BR. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 122p.
- Fecoprod (Federación de Cooperativas de Producción). 2019. Fecoclima: estaciones meteorológicas. (En línea). Consultado 02 jul 2019. Disponible en: <http://fecoclima.fecoprod.com.py/fecoclima/#/>
- Ferraris, GN; Salvagiotti, F; Prysypa, P; Gutiérrez, FH. 2004. Disponibilidad de azufre y respuesta de la soja de primera a la fertilización. In: XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS). Paraná, Entre Ríos, AR. 144p.
- Ferreira, AO; Sá, JCM; Harms, MG; Miara, S; Briedis, C; Quadros Netto, C; Santos, JB; Canalli, LBS; Dias, CTS. 2012. Relação de estratificação como indicador do sequestro de carbono em macroagregados de Latossolo sob plantio direto. *Revista Ciência Rural*. 42:645-652

- Ferreira, R; Alvarez, VH; De Barros NF; Fontes, RL; Cantarutti, RB; Lima, JC. 2007. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Minas Gerais. BR. 1017 p.
- Gatiboni, LC; Saggin, A; Brunetto, G; Horn, D; Cassol, JP; Rheinheimer, DS; Kaminski, J. 2003. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. *Revista Ciência Rural*. 33(2):283-290
- Giménez, B. 2017. Residualidad del yeso agrícola en el cultivo de soja (*Glycine max* L.) en un suelo de arenoso. Tesis de grado (Ingeniería agronómica). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo. 37 p.
- Gonçalves, EH. 2009. Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto. (Dissertação de Mestrado). Ponta Grossa, BR. Universidade Estadual de Ponta Grossa. 56p.
- Granados, R; Sarabia, AA. 2013. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(3):435-446
- Haneklaus, S; Bloem, E; Schnug, E. 2000. Sulphur in agroecosystems. *Folia Universitatis agriculturae stetinensis. Agricultura*. 81:17-32
- Jimenez, M; Jardim, E; Jardim, YBC; Ferreira, LC; Jardim, CB. 2007. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. *Acta Sci. Agron*. 29:701-708
- Klock, C. 2016. “Dosis de yeso (Sulfato de Calcio) y su efecto en el pH del suelo y el cultivo de la Soja (*Glycine max*)”. Tesis de grado (Ingeniería agronómica). Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional del Este, Minga Guazú. 45 p.
- Lopez, MJ; Figueroa, U; Fortis, M; Nunez, G; Ochoa, E; Sanchez, JI. 2015. Evaluación de dosis equivalentes de fertilizante y estiércol en la producción de maíz forrajero (*Zea mays*). *Revista Internacional de Botánica Experimental*. 84:8-13
- López, O; González, E; De LLamas, P; Molinas, A; Franco, E; García, S; Rios, E. 1995. Mapa de Reconocimiento de Suelos de la Región Oriental del Paraguay. Asunción, PY: MAG/Banco Mundial/Gobierno del Japón/Servicio Geodésico

- Interamericano. Escala 1:500.000. Color. (Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra).
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, PY). 2006. Dirección de Educación Agraria. Cultivo de Maíz, 96-108 pág. Consultado 02 jul 2019. Disponible en: <https://bibliotecadeamag.wikispaces.com/file/view/Cultivo+de+Ma%C3%ADz.pdf>
- MAG/DCEA (Ministerio de Agricultura y Ganadería/Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias, PY). 2018. Síntesis estadísticas. Producción agropecuaria. Año agrícola 2017/2018. San Lorenzo, PY, MAG. 53 p.
- Maldonado, LG. 2005. Producción de soja en el Paraguay. Proyecto para la formulación de estrategias y políticas de apoyo a la agricultura familiar campesina. (En línea). Consultado 04 abr. 2019. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/282657237>
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. London: Academic Press. 889p.
- Martins, CH. 2011. Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero. (Dissertação de Mestrado). Botucatu, BR. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 66p.
- Mateus, G.P. 2003. Utilização agropecuária do sorgo de guiné e efeitos na cultura da soja e atributos químicos do solo. (Dissertação de Mestrado). Botucatu, BR. Universidade Estadual Paulista. 142p. (En línea). Consultado 25 ene 2019. Disponible en: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/86472/mateus_gp_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Meert, L. 2013. Propriedades químicas do solo e resposta da sucessão trigo-milho-trigo à calagem e à aplicação de doses de gesso em sistema plantio direto. (Dissertação de Mestrado). Guarapuava, BR. Universidade Estadual do Centro-Oeste. 41p.

- Mello, JCA; Villas Bôas, RL; Lima, EV; Crusciol, CAC; Büll, LT. 2003. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo distroférico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 27(3):553-561
- Melo, LC; Avanzi, JC; Carvalho, R; Silva, F; Pereira, JL. Mendes, AD; Macêdo, G. 2011. Nutrição e produção de matéria seca de milho submetido a calagem e adubação sulfatada. *Pesq. Agropec. Trop*. 41(2):193-199
- Michalovicz, L. 2012. Atributos químicos do solo e resposta da sucessão milho-cevada-feijão-trigo influenciados por doses e parcelamento de gesso em plantio direto. (Dissertação de Mestrado). Guarapuava, BR. Universidade Estadual do Centro-Oeste. 41p.
- Miranda, LN; Miranda, JCC. 2000. Efeito residual do calcário na produção de milho e soja em solo glei pouco húmico. *Revista Brasileira de Ciência do solo*. 24:209-215
- Müller, MML; Tormena, CA; Genú, AM; Kramer, LFM; Michaloviez, L; Caires, EF. 2012. Structural Quality of a No-Tillage Red Latosol 50 Months After Gypsum Application. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 36(3):1005-1013
- Nava, G; Ernani, PR; Sá, AA; Pereira, AJ. 2012. Soil Composition and nutritional status of apple as affected by long-term application of gypsum. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 36:215-222
- Navarro, S; Navarro, G. 2003. *Química agrícola*. Ed MundiPrensa Madrid. 487p.
- Neis, L; Barbosa, H; Damacena, E; dos Reis, E; Araújo, F. 2010. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de goiás. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. 34:409-416
- Nóia, NR; Jara, M; Ribon, AA; Wosniak, H. 2014. Efeito de doses de gesso nas propriedades químicas do solo. *Acta Iguazu, Cascavel*. 3(4):10-21
- Nora, DD; Amado, TJ; Girardello, VC; Mertins, C. 2013. Gesso: alternativa para redistribuir verticalmente nutrientes no perfil do solo sob sistema plantio direto. *Revista Plantio Direto*. 133(1):8-20

- Oliveira, HJ; Ernani, PR; Talamini, CV. 2002. Alteração na composição química das fases sólida e líquida de um solo ácido pela aplicação de calcário e gesso agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 1(2):93-101
- Oliveira, MP; Roque, CG; Borges, MCRZ; Oliveira, RP; Nogueira, KB. 2017. Efeito residual da gessagem e calagem na resistência à penetração obtida com dois penetrômetros em diferentes sistemas de manejo. *Revista de Agricultura Neotropical*. 4(1):58-64
- Ortigoza, J; López, CA; González, JA. 2019. Guía técnica: cultivo de maíz. FCA-UNA y JICA (Proyectos de paquetes tecnológicos). San Lorenzo, PY. 49p. (En línea). Consultado 16 ago 2019. Disponible en: https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_04.pdf
- Pádua, TRP; Silva, CA; Dias, BO. 2008. Nutrição e crescimento do algodoeiro em Latossolo sob diferentes coberturas vegetais e manejo de calagem. *Revista Ci. Agrotec*. 32:1481-1490
- Pauletti, V; Pierri, L; Ranzan, T; Barth, G; Vargas, AC. 2014. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do solo*. 38:495-505
- Ponce, MB; Torres Duggan, M. 2005. Minerales para la Agricultura en Latinoamérica. Instituto de Tecnología Minera – SEGEMAR. 427-574p. (En Línea) Consultado 02 oct 2017. Disponible en: <http://www.unsam.edu.ar/publicaciones/tapas/cyted/parte5.pdf>
- Quiñónez, LR. 2017. Yeso agrícola en sucesión de soja-maíz de segunda en sistema de siembra directa. Tesis de Grado (Ingeniería Agronómica). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo. 59p.
- Raij, B. 1988. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo, ANDA. 88p
- Raij, B. 2008. Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agrônomo, 233p.

- Raij, B; Furlani, PR; Quaggio, JA; Pettinelli, A. 1998. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 22:101-108
- Ramos, LA; Nolla, A; Korndorfer, GH; Camargo, MS. 2006. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 30:849-857
- Rampim, L. (2008). Atributos químicos de um latossolo vermelho eutroférico submetido a gessagem e cultivado com trigo e soja em semeadura direta. (Dissertação de Mestrado). Marechal Cândido Rondon, BR. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 81p.
- Rampim, L; Lana, M; Frandoloso, JF. 2013. Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em latossolo vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. *Ciências Agrárias, Londrina*. 34(4):1623-1638
- Rampim, L; Lana, M; Frandoloso, JF; Fontaniva, S. 2011. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 35(5):1687-1698
- Rasche, JW. 2004. Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul. (Dissertação de Mestrado). Santa Maria, BR. Universidade Federal de Santa Maria. 79p.
- Rheinheimer, DS; Rasche, JW; Silva, LS; Osorio, BD. 2007. Resposta à aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica. *Revista de Ciência Rural*. 37(2):363-371
- Ridner, E. 2006. Soja, propiedades nutricionales y su impacto en la salud. 1 ed. Buenos Aires. Argentina. Sociedad Argentina de Nutrición. 98p.
- Rodríguez, A. 2016. Yeso agrícola y su efecto en el cultivo de maíz zafriña. Tesis de Grado (Ingeniería Agronómica). Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional del Este. Itakyry. 51p.

- Rosatto, L; Nogueira, BM; Alves, R; Rodrigues, CL; de Mello, R; de Sousa, JI. 2013. Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica. *Revista Agro@mbiente, On-line*.7(2):129-135
- Sá, JCM; Lal, R. 2009. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. *Soil Till. Res.* 103:46-56
- Salvagiotti, F; Gerster, G; Bacigaluppo, S; Castellarín, J; Galarza, C; González, N; Gudelj, V; Novello, O; Pedrol, H; Vallone, P. 2004. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. *Revista Ciencia del Suelo.* 22(2):92-101
- Sávio, FL; Carneiro, G; Rosa, I; Mota, JH; Borém, A. 2011. Calagem e gessagem na nutrição e produção de soja em solo com pastagem degradada. *Revista Agrotecnologia, Anápolis.* 2(1):19–31
- Schmidt, F; Tomelero, V; de Bona, FD. 2016. Gesso agrícola e calcário aplicados no sistema de plantio direto com e sem revolvimento do solo. *Revista Agropecuária Catarinense.* 29(1):86-93
- Silva, DJ; Alvarez, VH; Ruiz, HA; Sant', R. 2003. Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira.* 38(6):715-721
- Silva, TR; Borges, L; Costa, CA; Pauly, T. 2008. Alterações de atributos químicos do solo em função da calagem superficial em plantio direto. *Revista Agraria.* 1(1):9-20
- Soares, GF. 2016. Gesso e fósforo na sucessão soja/milho safrinha. (Dissertação de Mestrado). Jataí – Goiás, BR. Universidade Federal de Goiás. 74p.
- Solomon, D; Lehmann, J; Lobe, I; Martinez, CE; Tveitnes, S; Preez, CC, Amelung, W. 2005. Sulphur speciation and biogeochemical cycling in long-term arable cropping of subtropical soils: evidence from wet-chemical reduction and S K-edge XANES spectroscopy. *European Journal of Soil Science.* 56:621–634

- Soratto, R; Crusciol, C. 2008. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 32:675-688
- Soratto, RP. 2005. Aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema de plantio direto. Tesis de Doctorado. Botucatu, BR. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 158p.
- Souza, F; Jardim, E; Fietz, CR; Bergamin, AC; Jardim, YBC; Zeviani, WM. 2012. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. *Ciências Agrárias, Londrina*. 33(5):1717-1732
- Tiecher, T; Castro, OH; Bayer, C; Posselt, A; Oliveira, LG; Anghinoni, I. 2018. Crop Response to Gypsum Application to Subtropical Soils Under No-Till in Brazil: a Systematic Review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 42:e0170025
- Tiecher, T; Rheinheimer, DS; Kochem, FJ; Rasche, JW; Piccin, R; Brunetto, G. 2013. Respostas de culturas à adubação sulfatada e deposição de enxofre atmosférico. *Revista Ceres*. 60(3):420-427
- Valeur, I; Nilsson, SI; Andersson, S; Sjöberg, G. 2002. Net sulfur mineralization in forest soil as influenced by different lime application rates. *Soil Biology and Biochemistry, Amsterdam*. 34(9):1291-1298
- Vicensi, M. 2015. Fertilidade do solo, nutrição de plantas, produção de grãos e renda acumulada em função de doses e parcelamentos de gesso agrícola em plantio direto. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava-PR. Brasil. 69p.
- Watanabe, SY. 2013. Aplicación de yeso y cal agrícola en la sucesión soja-trigo en siembra directa en un ultisol. (Tesis de Maestría). San Lorenzo, PY. Universidad Nacional de Asunción. 108p.
- Zambrosi, FCB; Alleoni, LR; Caires, EF. 2007a. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em latossolo sob sistema plantio direto. *Bragantia, Campinas*. 66(3):487-495

Zambrosi, FCB; Alleoni, LRF; Caires, EF. 2007b. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. *Revista Ci. Rural*. 37:110-117

Zandoná, RR; Beutler, AN; Burg, GM; Barreto, CF; Schmidt, MR. 2015. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. *Pesq. Agropec. Trop.* 45(2):128-137

Zapata, RD. 2004. *Química de la acidez del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, COL. 208p.

ANEXOS

1A. Análisis de varianza de altura de planta del maíz

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura planta	40	0,48	0,24	6,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2921,85	12	243,49	2,04	0,0601
Factor A	34,97	1	34,97	0,29	0,5924
Factor B	130,13	4	32,53	0,27	0,8927
BLOQUE	2569,72	3	856,57	7,19	0,0011
Factor A*Factor B	187,04	4	46,76	0,39	0,8121
Error	3216,23	27	119,12		
Total	6138,08	39			

2A. Análisis de varianza de altura de inserción de mazorca del maíz

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura de I. M.	40	0,43	0,18	9,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	620,49	12	51,71	1,69	0,124
Factor A	26,57	1	26,57	0,87	0,359
Factor B	94,46	4	23,61	0,77	0,5517
BLOQUE	430,41	3	143,47	4,7	0,0091
Factor A*Factor B	69,05	4	17,26	0,57	0,6895
Error	823,75	27	30,51		
Total	1444,24	39			

3A. Análisis de varianza de número de hojas por planta del maíz

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nº H P	40	0,49	0,27	5,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12,7	12	1,06	2,19	0,0441
Factor A	0,36	1	0,36	0,75	0,3948
Factor B	1,89	4	0,47	0,98	0,4345
BLOQUE	10,37	3	3,46	7,16	0,0011
Factor A*Factor B	0,07	4	0,02	0,04	0,9972
Error	13,03	27	0,48		
Total	25,73	39			

4A. Análisis de varianza de diámetro del tallo del maíz

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro T.	40	0,28	0	7,2

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,11	12	0,01	0,89	0,5673
Factor A	0,01	1	0,01	1,2	0,2836
Factor B	0,03	4	0,01	0,69	0,6044
BLOQUE	0,06	3	0,02	1,89	0,1554
Factor A*Factor B	0,01	4	2,7E-03	0,26	0,8993
Error	0,28	27	0,01		
Total	0,39	39			

5A. Análisis de varianza de longitud de espiga del maíz

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Long. Espiga	40	0,35	0,06	7,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14,29	12	1,19	1,22	0,3229
Factor A	0,74	1	0,74	0,75	0,393
Factor B	3,29	4	0,82	0,84	0,5123
BLOQUE	6,1	3	2,03	2,07	0,1271
Factor A*Factor B	4,16	4	1,04	1,06	0,3947
Error	26,46	27	0,98		
Total	40,74	39			

6A. Análisis de varianza de diámetro de espiga del maíz

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diám. Espiga	40	0,34	0,05	6,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,08	12	0,09	1,16	0,3577
Factor A	0,11	1	0,11	1,4	0,247
Factor B	0,14	4	0,03	0,45	0,7713
BLOQUE	0,59	3	0,2	2,53	0,078
Factor A*Factor B	0,24	4	0,06	0,78	0,5479
Error	2,09	27	0,08		
Total	3,16	39			

7A. Análisis de varianza de peso hectolítrico del maíz

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso Hectolítrico	40	0,25	0	1,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	15,61	12	1,3	0,73	0,7106
Factor A	2,55	1	2,55	1,43	0,2419
Factor B	5,38	4	1,34	0,75	0,5637
BLOQUE	4,83	3	1,61	0,9	0,4523
Factor A*Factor B	2,85	4	0,71	0,4	0,8067
Error	48,1	27	1,78		
Total	63,71	39			

8A. Análisis de varianza de peso mil granos del maíz

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso mil granos	40	0,32	0,02	8,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7391,29	12	615,94	1,06	0,4264
Factor A	1394,76	1	1394,76	2,41	0,1325
Factor B	1206,19	4	301,55	0,52	0,7216
BLOQUE	4308,75	3	1436,25	2,48	0,0827
Factor A*Factor B	481,59	4	120,4	0,21	0,9319
Error	15652,78	27	579,73		
Total	23044,07	39			

9A. Análisis de varianza de Rendimiento de granos del maíz

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	40	0,39	0,12	26,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11265236,3	12	938769,69	1,45	0,2041
Factor A	237699,31	1	237699,31	0,37	0,5496
Factor B	520894,65	4	130223,66	0,2	0,9355
BLOQUE	8806667,12	3	2935555,71	4,54	0,0106
Factor A*Factor B	1699975,22	4	424993,8	0,66	0,6274
Error	17475464,3	27	647239,42		
Total	28740700,6	39			

10A. Análisis de varianza de planta de soja

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Alt Plan	40	0,63	0,46	11,71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1693,12	12	141,09	3,82	0,0019
Factor A	558,01	1	558,01	15,1	0,0006
Factor B	80,93	4	20,23	0,55	0,7023
BLOQUE	1017,46	3	339,15	9,18	0,0002
Factor A*Factor B	36,72	4	9,18	0,25	0,9081
Error	997,62	27	36,95		
Total	2690,73	39			

11A. Análisis de varianza del número de vainas por planta de soja

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N° de vaina	40	0,27	0	22,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1381,35	12	115,11	0,84	0,6073
Factor A	501,41	1	501,41	3,68	0,0657
Factor B	583,53	4	145,88	1,07	0,3904
BLOQUE	120,28	3	40,09	0,29	0,8292
Factor A*Factor B	176,13	4	44,03	0,32	0,8670
Error	3679,92	27	136,29		
Total	5061,27	39			

12A. Análisis de varianza del peso hectolítrico de soja

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
peso hectolitrico	40	0,49	0,27	3,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	59,75	12	4,98	2,19	0,0441
Factor A	6,66	1	6,66	2,93	0,0983
Factor B	8,38	4	2,09	0,92	0,4654
BLOQUE	41,5	3	13,83	6,09	0,0026
Factor A*Factor B	3,21	4	0,8	0,35	0,8394
Error	61,33	27	2,27		
Total	121,08	39			

13A. Análisis de varianza del peso de mil granos de soja

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Peso mil granos	40	0,41	0,15	7,53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1449,83	12	120,82	1,57	0,1609
Factor A	2,66	1	2,66	0,03	0,8539
Factor B	356,39	4	89,1	1,16	0,3519
BLOQUE	864,45	3	288,15	3,74	0,0228
Factor A*Factor B	226,32	4	56,58	0,73	0,5766
Error	2080,5	27	77,06		
Total	3530,33	39			

14A. Análisis de varianza del rendimiento de granos de soja

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Rendimiento	40	0,45	0,2	14,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	614544,33	12	51212,03	1,82	0,0966
Factor A	110250	1	110250	3,91	0,0583
Factor B	125244,44	4	31311,11	1,11	0,3721
BLOQUE	315947,95	3	105315,98	3,73	0,0229
Factor A*Factor B	63101,94	4	15775,48	0,56	0,6941
Error	761499,18	27	28203,67		
Total	1376043,5	39			

15A. Datos generales del cultivo de maíz en función a aplicación del yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Trat-Rep	Altura de planta	Altura de inserción de mazorca	Diámetro del tallo	Número de hojas por planta	Longitud de espiga	Diámetro de espiga	Peso mil granos	Peso Hectolítrico	Rendimiento de granos
	m	cm		unidades	cm		g		Kg ha ⁻¹
T1R1	1,64	58,1	1,39	11,7	12,35	4,20	282,8	77,92	3.637
T1R2	1,55	47,8	1,33	10,4	14,03	3,86	262,6	77,52	3.046
T1R3	1,76	63	1,58	13,3	11,18	3,41	247,0	76,12	4.287
T1R4	1,51	47,3	1,24	11,5	11,21	4,13	320,8	78,04	2.440
T2R1	1,57	47,2	1,34	10,6	13,52	4,25	279,6	77,14	2.972
T2R2	1,62	57,7	1,41	11,8	12,90	3,75	270,0	76,90	3.590
T2R3	1,78	60,6	1,44	12,8	13,06	3,91	285,4	79,22	4.138
T2R4	1,47	50,4	1,17	11,2	14,81	4,15	300,8	77,08	2.601
T3R1	1,86	65	1,52	13,4	13,84	4,17	311,0	79,34	5.107
T3R2	1,52	50,4	1,31	10,2	13,66	3,74	254,8	78,18	2.862
T3R3	1,71	62,3	1,34	12,4	13,11	3,90	248,4	79,12	4.759
T3R4	1,50	52,5	1,29	11,8	12,56	3,87	270,2	77,40	2.725
T4R1	1,84	65,8	1,38	11,9	12,87	4,20	303,2	79,60	5.009
T4R2	1,52	50,6	1,41	10,8	11,77	3,94	249,2	76,76	2.645
T4R3	1,75	66,7	1,49	13,6	13,83	3,61	216,6	76,48	3.976
T4R4	1,52	45,8	1,4	11,4	12,19	4,25	300,4	77,24	3.317
T5R1	1,57	54,6	1,47	11,5	11,44	4,07	272,4	77,04	3.035
T5R2	1,69	57,1	1,31	11,2	13,57	3,86	291,2	78,90	3.559
T5R3	1,64	55,9	1,57	13,3	13,13	4,94	297,8	78,08	3.621
T5R4	1,56	55	1,36	12,6	13,20	4,16	279,4	79,38	3.224
T6R1	1,86	62,6	1,51	12,3	13,68	4,38	295,4	73,14	5.431
T6R2	1,53	48,2	1,34	11	13,01	4,17	302,0	76,82	2.897
T6R3	1,43	51	1,37	12,2	13,22	4,20	320,4	78,34	1.776
T6R4	1,57	54,3	1,37	11,6	11,41	4,09	278,0	80,02	4.182
T7R1	1,82	62,8	1,44	12,1	12,56	4,58	332,4	76,94	4.796
T7R2	1,51	49,8	1,36	10,8	14,38	4,06	272,2	77,92	2.424
T7R3	1,63	59,5	1,28	12,4	12,16	3,90	284,4	76,40	3.364
T7R4	1,66	57,8	1,46	11,9	11,89	3,72	250,2	77,22	5.095
T8R1	1,81	63,5	1,56	12,5	13,13	4,19	308,0	76,74	4.676
T8R2	1,53	50,7	1,41	11,8	13,47	4,31	264,8	76,42	2.645
T8R3	1,62	53,9	1,39	12,7	14,40	4,23	304,0	77,10	2.605
T8R4	1,66	59,7	1,47	11,9	11,86	3,83	266,8	77,64	4.808
T9R1	1,84	62,9	1,46	12,1	13,84	4,37	313,2	76,46	5.099
T9R2	1,58	54,3	1,4	11,7	13,92	4,23	279,6	78,18	2.250
T9R3	1,47	53	1,25	12,2	14,37	4,01	274,2	77,58	2.067
T9R4	1,61	56,2	1,56	12,3	11,26	3,71	264,2	77,66	3.402
T10R1	1,84	65,5	1,6	12,5	15,12	4,37	308,0	76,20	5.727
T10R2	1,74	66,5	1,5	12,7	12,87	4,37	305,8	79,14	4.415
T10R3	1,67	59,9	1,34	11,8	13,73	3,94	276,4	79,24	3.541
T10R4	1,55	54,3	1,38	12,7	13,39	3,78	279,8	78,20	3.050

16A. Datos de análisis del suelo extraído de la camada 0-0,1 m a los 5 meses después de la aplicación de yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Trat-Rep-Prof.	S	P	pH	H+AL	Al ⁺³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	V	m
	mg kg ⁻¹		H ₂ O	cmol. kg ⁻¹					%	
T1R1P1	24,60	25,57	3,29	5,16	1,52	0,148	12,11	0,471	71,15	9,11
T1R2P1	31,56	27,04	5,73	2,64	0,09	0,194	11,18	0,235	81,46	7,07
T1R3P1	22,76	24,59	4,92	2,85	1,01	0,129	8,39	0,471	75,94	17,18
T1R4P1	22,76	13,39	4,92	3,18	1,05	0,083	11,18	0,235	78,32	9,98
T2R1P1	23,89	20,53	4,27	7,49	1,12	0,129	11,18	1,412	62,95	6,49
T2R2P1	27,16	14,86	4,80	4,13	1,08	0,120	10,25	0,706	72,84	7,38
T2R3P1	23,89	12,48	4,80	3,07	1,10	0,111	9,32	0,471	76,35	15,85
T2R4P1	26,31	17,24	4,90	3,09	1,03	0,101	12,11	0,471	80,42	6,51
T3R1P1	15,23	17,59	3,00	7,21	2,12	0,074	9,32	0,706	58,33	9,66
T3R2P1	57,84	25,01	5,03	5,20	0,88	0,055	11,18	0,471	69,24	7,01
T3R3P1	21,62	13,04	4,80	2,60	1,00	0,028	10,25	0,706	80,84	7,44
T3R4P1	39,66	12,34	4,91	2,83	1,47	0,083	11,18	0,471	80,60	11,14
T4R1P1	22,76	34,75	3,19	6,13	1,89	0,101	9,32	0,471	61,75	11,42
T4R2P1	26,45	16,19	3,96	4,83	1,30	0,148	11,18	0,706	71,37	8,23
T4R3P1	23,04	20,18	4,80	3,04	1,28	0,046	9,32	0,235	75,93	11,73
T4R4P1	22,33	11,08	5,06	2,89	1,08	0,074	9,32	0,471	77,34	9,86
T5R1P1	29,72	21,37	4,78	4,19	1,12	0,074	11,18	0,941	74,43	6,75
T5R2P1	15,65	24,94	4,26	4,48	0,88	0,111	11,18	0,471	72,41	6,98
T5R3P1	45,06	14,79	4,88	2,80	0,53	0,074	10,25	0,706	79,73	5,86
T5R4P1	18,35	13,39	5,05	2,95	1,08	0,092	12,11	0,706	81,38	7,71
T6R1P1	17,64	16,12	5,28	6,22	0,88	0,074	9,32	0,941	62,44	7,87
T6R2P1	43,64	17,03	3,89	5,86	1,20	0,092	9,32	0,471	62,78	9,85
T6R3P1	20,63	19,06	5,53	3,30	0,31	0,175	11,18	0,235	77,82	7,08
T6R4P1	20,06	17,80	5,47	2,62	0,21	0,046	11,18	0,235	81,38	7,15
T7R1P1	24,74	7,20	4,79	5,77	1,28	0,221	12,11	0,471	68,93	9,06
T7R2P1	23,47	19,48	4,70	5,16	1,12	0,101	9,32	0,235	65,16	10,06
T7R3P1	22,33	17,38	5,79	2,83	0,40	0,295	13,05	0,471	83,02	6,01
T7R4P1	19,49	15,49	5,53	2,35	0,02	0,111	13,05	0,471	85,31	4,80
T8R1P1	31,14	17,17	4,97	6,40	0,75	0,203	12,11	0,471	66,63	7,78
T8R2P1	26,31	18,78	4,68	5,32	1,08	0,037	11,18	0,706	69,16	8,30
T8R3P1	20,91	18,36	5,60	2,45	0,12	0,185	13,05	0,471	84,82	6,06
T8R4P1	18,92	12,34	5,36	2,58	0,55	0,111	11,18	0,235	81,69	7,12
T9R1P1	18,78	13,11	4,03	5,99	1,02	0,101	9,32	0,706	62,83	8,02
T9R2P1	30,85	23,82	4,58	4,35	0,80	0,046	13,05	0,471	75,72	7,37
T9R3P1	28,86	15,14	5,03	3,78	0,60	0,148	13,05	0,471	78,35	9,72
T9R4P1	28,86	11,43	5,00	2,72	1,01	0,055	8,39	0,235	76,12	9,24
T10R1P1	10,11	17,94	4,00	5,09	1,25	0,055	9,32	0,706	66,47	9,67
T10R2P1	23,04	17,45	4,74	4,65	1,03	0,028	11,18	0,235	71,10	7,16
T10R3P1	15,94	24,45	5,15	2,95	0,85	0,092	9,32	0,235	76,55	11,68
T10R4P1	30,28	16,54	4,90	2,89	1,00	0,101	13,05	0,941	82,98	4,65

17A. Datos de análisis del suelo extraído de la camada 0,1-0,2 m a los 5 meses después de la aplicación de yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Trat-Rep-Prof.	S	P	pH	H+AL	Al ⁺³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	V	m
	mg kg ⁻¹		H ₂ O	cmol _c kg ⁻¹					%	
T1R1P2	25,31	8,63	3,23	4,45	1,86	0,037	9,32	0,471	68,84	9,90
T1R2P2	22,61	4,92	5,12	3,18	0,88	0,046	11,18	0,471	78,61	7,02
T1R3P2	20,91	4,71	4,78	2,40	1,08	0,111	10,25	0,471	81,87	9,06
T1R4P2	31,56	3,45	4,96	2,40	1,08	0,055	9,32	0,235	80,02	10,10
T2R1P2	25,03	7,30	3,75	4,69	1,28	0,037	12,11	0,706	73,29	9,03
T2R3P2	29,43	2,89	4,80	2,53	1,08	0,028	9,32	0,471	79,53	9,91
T2R4P2	43,78	3,03	4,90	2,80	1,05	0,055	13,05	0,471	82,87	8,59
T3R1P2	13,81	10,10	3,47	5,09	1,75	0,037	11,18	0,471	69,68	7,02
T3R2P2	35,40	6,11	4,17	3,75	1,35	0,037	8,39	0,235	69,79	9,26
T3R3P2	32,98	4,08	4,88	2,53	0,98	0,028	9,32	0,706	79,91	8,08
T3R4P2	28,86	3,17	5,05	2,26	0,69	0,055	11,18	0,941	84,35	5,34
T4R1P2	28,01	8,28	3,36	5,09	1,35	0,065	9,32	0,471	65,96	9,87
T4R2P2	22,76	3,03	3,34	3,83	1,54	0,028	11,18	0,706	75,66	8,31
T4R3P2	24,32	4,15	4,85	2,23	1,32	0,148	10,25	0,706	83,30	7,37
T4R4P2	20,63	3,94	5,31	2,55	0,69	0,074	11,18	0,471	82,16	5,53
T5R1P2	32,98	5,69	4,89	5,36	1,09	0,037	12,11	1,176	71,33	6,21
T5R2P2	19,35	6,04	4,25	3,51	1,08	0,028	9,32	0,471	73,69	9,91
T5R3P2	57,84	2,82	4,73	2,83	1,08	0,037	8,39	0,706	76,37	10,57
T5R4P2	29,29	8,00	4,92	2,66	1,09	0,055	9,32	0,706	79,11	12,74
T6R1P2	13,10	7,51	4,72	4,35	1,08	0,055	8,39	0,941	68,32	10,32
T6R2P2	31,56	4,08	4,34	3,25	1,13	0,046	12,11	0,706	79,81	7,74
T6R3P2	22,61	5,27	5,41	3,02	0,45	0,046	12,11	0,471	80,70	7,87
T6R4P2	19,77	4,50	5,55	2,36	0,15	0,065	10,25	0,235	81,70	7,72
T7R1P2	21,62	6,39	4,92	6,31	1,12	0,037	8,39	0,706	59,13	10,57
T7R2P2	26,45	8,14	4,85	3,61	1,09	0,028	9,32	0,235	72,62	8,44
T7R3P2	25,88	3,38	5,49	2,38	0,45	0,037	11,18	0,471	83,08	8,45
T7R4P2	21,19	3,31	5,70	2,10	0,01	0,074	13,98	0,235	87,19	7,02
T8R1P2	36,82	11,15	4,79	5,44	0,88	0,055	12,11	0,706	70,31	6,42
T8R2P2	27,30	4,43	5,02	3,95	0,68	0,037	11,18	0,471	74,75	8,45
T8R3P2	24,03	2,25	5,55	2,36	0,10	0,028	14,91	0,471	86,70	6,55
T8R4P2	31,28	2,32	5,43	2,49	0,50	0,101	10,25	0,235	80,96	7,70
T9R1P2	18,35	7,65	4,02	5,36	1,06	0,037	12,11	0,941	70,96	4,99
T9R2P2	35,11	4,15	4,77	3,56	0,75	0,028	12,11	0,471	77,99	7,88
T9R3P2	23,89	5,27	5,14	2,80	0,60	0,055	12,11	0,235	81,56	8,00
T9R4P2	31,42	3,80	5,32	2,28	0,88	0,083	13,05	0,941	86,07	5,91
T10R1P2	36,53	7,86	4,61	5,48	1,05	0,055	12,11	0,941	70,53	8,87
T10R2P2	28,15	3,87	4,90	3,40	0,98	0,028	8,39	0,706	72,83	10,58
T10R3P2	32,41	6,39	4,98	2,51	1,00	0,037	10,25	0,235	80,75	10,81
T10R4P2	26,59	3,87	5,20	2,33	0,88	0,074	12,11	0,941	84,94	6,30

18A. Datos de análisis del suelo extraído de la camada 0,2-0,4 m a los 5 meses después de la aplicación de yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Trat-Rep-Prof.	S	P	pH	H+AL	Al ⁺³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	V	m
	mg kg ⁻¹		H ₂ O	cmol _c kg ⁻¹					%	
T1R1P3	23,75	3,80	3,51	3,64	1,45	0,028	12,11	0,471	77,61	6,54
T1R2P3	19,49	2,89	5,36	3,51	0,88	0,046	8,39	0,235	71,20	9,25
T1R3P3	17,36	2,61	5,30	2,26	0,88	0,074	11,18	0,471	83,84	7,00
T1R4P3	21,34	1,97	5,48	2,02	0,69	0,055	12,11	0,235	85,99	5,25
T2R1P3	19,20	2,68	4,80	3,38	1,08	0,028	14,91	0,706	82,24	5,34
T2R2P3	20,34	2,39	5,20	3,67	0,69	0,028	9,32	0,471	72,81	6,54
T2R3P3	15,51	2,18	5,72	2,13	0,88	0,028	9,32	0,706	82,52	8,08
T2R4P3	23,47	1,90	5,79	2,15	0,69	0,055	10,25	0,235	83,09	6,12
T3R1P3	22,47	4,99	3,60	4,90	1,52	0,028	9,32	0,706	67,23	9,70
T3R2P3	19,35	3,10	5,29	4,65	0,69	0,037	12,11	0,235	72,70	5,25
T3R3P3	17,36	2,39	5,73	2,18	0,88	0,388	9,32	0,706	82,70	7,82
T3R4P3	18,49	1,41	6,05	2,07	0,00	0,074	9,32	0,706	83,01	8,04
T4R1P3	18,78	3,66	3,44	5,05	1,39	0,037	12,11	0,706	71,81	5,07
T4R2P3	18,35	2,11	3,30	3,64	1,56	0,037	11,18	0,471	76,26	9,84
T4R3P3	23,04	1,97	4,60	2,10	1,23	0,028	9,32	0,706	82,73	9,70
T4R4P3	24,89	1,90	6,02	2,04	0,00	0,065	12,11	0,471	86,13	6,53
T5R1P3	32,27	2,82	5,90	4,01	0,00	0,461	13,05	0,941	78,28	5,76
T5R2P3	18,92	3,03	5,66	3,28	0,20	0,028	10,25	0,471	76,63	6,01
T5R3P3	27,44	1,83	5,64	2,19	0,20	0,028	9,32	0,706	82,08	8,08
T5R4P3	17,93	2,11	5,40	2,19	0,49	0,065	12,11	0,471	85,22	3,73
T6R1P3	10,26	4,15	5,10	3,98	0,88	0,037	9,32	0,706	71,66	8,07
T6R2P3	19,77	3,52	4,80	3,30	0,88	0,028	11,18	0,471	77,95	7,03
T6R3P3	16,08	2,39	5,90	2,11	0,00	0,028	10,25	0,471	83,57	7,59
T6R4P3	20,20	2,89	6,00	2,24	0,00	0,203	9,32	0,235	81,30	8,30
T7R1P3	16,93	3,45	5,26	5,36	0,66	0,028	12,11	0,706	70,57	6,43
T7R2P3	22,19	4,92	5,21	3,30	0,88	0,028	9,32	0,235	74,36	8,44
T7R3P3	19,63	2,25	5,96	2,11	0,00	0,028	7,45	0,235	78,50	12,27
T7R4P3	18,78	1,69	5,83	2,45	0,00	0,148	12,11	0,235	83,59	5,21
T8R1P3	27,30	4,22	5,14	4,45	0,61	0,037	13,05	0,706	75,61	6,02
T8R2P3	23,18	2,68	5,02	3,89	0,68	0,028	13,05	0,706	77,98	6,02
T8R3P3	16,22	2,54	6,08	2,33	0,00	0,028	12,11	0,471	84,42	6,54
T8R4P3	24,32	1,55	5,82	2,43	0,21	0,083	13,05	0,235	84,59	6,20
T9R1P3	13,81	3,31	4,40	4,22	0,88	0,037	9,32	0,941	70,92	7,90
T9R2P3	23,04	3,80	5,26	3,78	0,41	0,028	13,05	0,706	78,49	7,26
T9R3P3	18,35	2,39	5,64	2,31	0,10	0,028	9,32	0,235	80,57	11,75
T9R4P3	16,08	2,39	5,85	2,18	0,01	0,092	9,32	0,941	82,62	6,22
T10R1P3	35,54	5,13	4,85	4,90	1,02	0,351	8,39	0,941	66,39	8,36
T10R2P3	20,48	2,75	4,80	3,09	1,01	0,028	13,05	0,706	81,69	6,02
T10R3P3	14,23	2,89	5,31	2,45	0,31	0,092	11,18	0,235	82,43	7,13
T10R4P3	15,37	3,03	5,55	2,18	0,50	0,074	12,11	0,706	85,55	6,41

19A. Datos generales del cultivo de soja en función a aplicación del yeso y cal agrícola.
Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Trat-Rep	Altura de planta	Número de vainas por planta	Peso de mil granos	Peso hectolítrico	Rendimiento de granos
	cm	unidad	g		Kg ha ⁻¹
T1R1	51,30	39,40	124,33	42,53	1025,0
T1R2	42,45	46,50	126,00	42,07	1380,0
T1R3	38,63	42,75	126,33	42,70	980,0
T1R4	55,52	47,75	108,67	45,40	1052,5
T2R1	53,38	49,25	134,33	45,57	982,0
T2R2	47,38	52,00	119,67	41,87	1245,0
T2R3	45,44	35,40	117,33	40,97	1012,5
T2R4	54,18	73,00	100,67	45,87	1132,5
T3R1	55,82	65,48	105,00	46,67	1057,5
T3R2	46,84	66,25	129,00	43,80	1270,0
T3R3	41,88	47,75	122,00	43,07	999,0
T3R4	51,16	41,00	100,00	45,33	1010,0
T4R1	49,78	52,80	100,33	45,53	989,0
T4R2	53,35	54,75	115,67	43,73	1330,0
T4R3	39,50	48,00	117,33	37,10	1275,0
T4R4	51,06	50,80	115,33	44,83	992,5
T5R1	49,40	52,40	122,00	44,10	1540,0
T5R2	46,10	30,00	123,00	44,17	1237,5
T5R3	42,85	47,25	118,33	42,93	950,0
T5R4	47,75	37,40	110,00	45,20	1232,5
T6R1	67,75	57,00	111,33	42,43	985,0
T6R2	56,58	72,00	113,67	45,80	1275,0
T6R3	53,46	46,00	109,00	44,07	1192,5
T6R4	51,58	59,00	116,67	43,07	995,0
T7R1	74,20	46,00	102,67	46,10	1567,5
T7R2	46,72	42,50	134,33	44,00	1537,5
T7R3	53,93	72,00	121,67	42,90	985,0
T7R4	47,30	64,75	121,33	44,80	1082,5
T8R1	67,88	55,25	100,00	45,57	975,0
T8R2	55,86	49,50	129,00	45,83	1380,0
T8R3	61,84	59,50	100,00	43,00	1400,0
T8R4	44,08	77,80	114,67	44,60	1072,5
T9R1	65,40	51,40	108,00	44,57	1010,0
T9R2	59,64	44,20	125,33	45,43	1567,5
T9R3	45,73	74,00	113,33	42,93	1295,0
T9R4	53,94	48,00	115,00	45,43	1282,5
T10R1	65,85	39,00	118,67	45,53	950,0
T10R2	52,38	61,50	123,67	44,73	1142,5
T10R3	39,22	47,40	124,33	44,30	1185,0
T10R4	49,83	54,75	122,33	44,67	1337,5

20A. Datos de análisis del suelo extraído de la camada 0-0,1 m a los 12 meses después de la aplicación de yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Trat-Rep-Prof.	S	P	pH	H+AL	Al ⁺³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	V	m
	mg kg ⁻¹		H ₂ O	cmol _c kg ⁻¹					%	
T1R1P1	18,78	26,13	4,57	3,64	1,10	0,036	7,27	0,094	67,03	16,59
T1R2P1	20,20	21,09	4,46	3,67	1,13	0,026	7,45	0,094	67,39	8,31
T1R3P1	19,91	18,01	5,42	2,93	0,69	0,021	2,80	0,024	49,20	19,48
T1R4P1	17,78	40,98	6,11	2,74	0,00	0,026	2,80	0,047	51,12	9,31
T2R1P1	20,20	32,65	4,49	3,56	1,14	0,051	7,45	0,141	68,24	12,37
T2R2P1	15,65	19,62	4,51	3,14	1,11	0,026	5,59	0,094	64,56	10,74
T2R3P1	19,91	12,69	5,16	3,43	0,88	0,023	3,26	0,047	49,28	17,09
T2R4P1	19,49	14,51	5,72	2,64	0,49	0,021	2,61	0,024	50,10	15,61
T3R1P1	20,20	23,68	4,67	4,45	1,12	0,046	7,45	0,094	63,06	3,73
T3R2P1	20,20	18,64	4,87	2,87	1,06	0,021	6,71	0,165	70,62	4,09
T3R3P1	22,05	18,57	5,41	2,83	0,69	0,010	2,61	0,024	48,33	15,66
T3R4P1	18,78	24,24	5,4	3,02	0,70	0,026	2,80	0,047	48,70	19,32
T4R1P1	20,48	31,04	4,65	3,58	1,12	0,046	5,59	0,094	61,52	15,85
T4R2P1	14,66	29,71	4,55	2,83	1,10	0,023	7,64	0,094	73,30	8,13
T4R3P1	21,48	21,72	5,55	2,58	0,60	0,010	2,33	0,047	48,02	31,14
T4R4P1	16,22	19,27	5,57	2,89	0,59	0,015	2,61	0,047	48,04	15,52
T5R1P1	19,77	25,01	4,72	4,29	1,11	0,041	7,45	0,141	64,05	3,71
T5R2P1	20,91	27,39	4,65	3,02	1,12	0,026	7,45	0,141	71,61	8,27
T5R3P1	23,89	17,17	5,35	2,83	0,75	0,026	5,59	0,094	66,90	10,74
T5R4P1	19,91	18,15	5,6	2,95	0,55	0,026	2,61	0,047	47,58	20,39
T6R1P1	14,23	22,07	5,4	2,74	0,70	0,026	7,45	0,071	73,36	3,75
T6R2P1	26,45	34,26	5,3	2,72	0,72	0,026	3,91	0,047	59,42	6,88
T6R3P1	17,07	19,34	6,26	2,87	0,00	0,031	4,19	0,071	59,96	6,41
T6R4P1	18,35	22,28	6,11	2,60	0,00	0,026	2,80	0,024	52,21	9,38
T7R1P1	17,93	19,83	5,2	2,45	0,79	0,036	7,27	0,094	75,10	3,83
T7R2P1	22,05	22,70	4,85	3,38	1,03	0,031	7,45	0,188	69,44	3,69
T7R3P1	26,45	21,09	6,33	2,72	0,00	0,051	3,45	0,094	56,90	7,57
T7R4P1	18,07	17,17	5,03	2,85	0,99	0,023	7,27	0,047	72,05	12,82
T8R1P1	19,77	42,87	5,57	2,29	0,60	0,056	5,59	0,094	71,45	10,69
T8R2P1	16,22	38,39	5,17	3,25	0,88	0,046	6,52	0,188	67,49	4,17
T8R3P1	22,61	25,15	5,9	2,93	0,01	0,072	5,59	0,094	66,25	4,86
T8R4P1	23,89	20,39	5,34	3,07	0,75	0,021	2,80	0,024	48,08	23,72
T9R1P1	15,65	15,14	5,37	2,40	0,72	0,026	7,55	0,071	76,11	8,24
T9R2P1	23,18	34,61	5,28	2,80	0,72	0,026	4,19	0,071	60,47	6,42
T9R3P1	24,32	33,98	6,22	2,91	0,00	0,077	3,26	0,047	53,77	8,00
T9R4P1	21,48	23,12	5,75	2,95	0,46	0,023	2,05	0,024	41,51	18,96
T10R1P1	16,08	17,80	5,44	2,33	0,70	0,023	6,71	0,047	74,43	4,16
T10R2P1	22,47	32,51	4,95	3,00	1,01	0,026	6,52	0,141	69,05	4,21
T10R3P1	20,91	20,60	5,91	2,74	0,05	0,026	7,64	0,141	74,01	1,24
T10R4P1	18,49	25,01	5,86	2,49	0,19	0,010	2,80	0,094	53,81	14,47

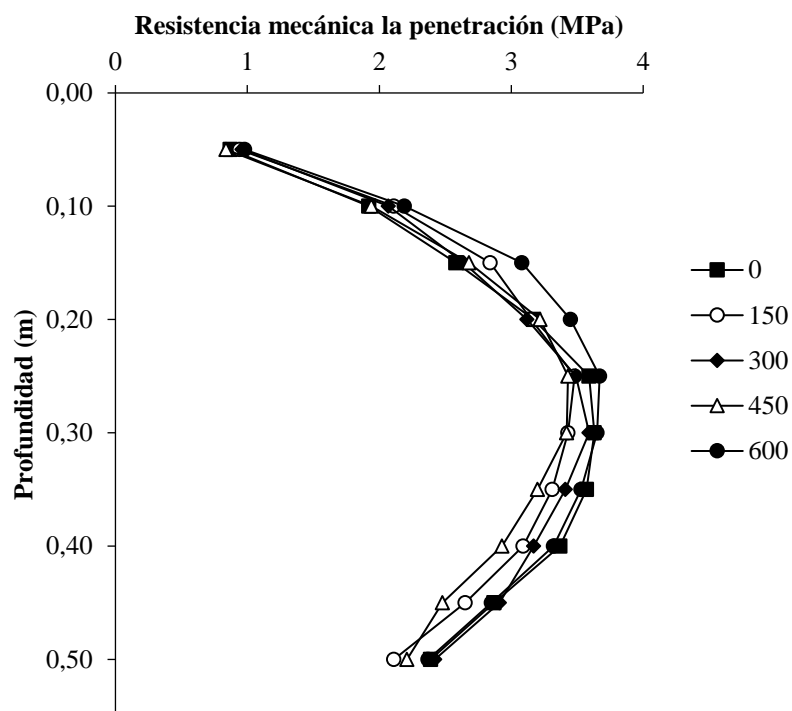
21A. Datos de análisis del suelo extraído de la camada 0,1-0,2 m a los 12 meses después de la aplicación de yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Trat-Rep-Prof.	S	P	pH	H+AL	Al ⁺³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	V	m
	mg kg ⁻¹		H ₂ O	Cmol _c kg ⁻¹					%	
T1R1P2	17,78	10,31	4,62	3,16	1,12	0,023	7,08	0,094	69,50	13,04
T1R2P2	16,65	12,34	4,61	2,49	1,12	0,010	7,55	0,094	75,45	8,24
T1R3P2	26,31	5,06	5,27	2,62	0,81	0,010	2,80	0,024	51,89	19,53
T1R4P2	22,19	12,90	5,6	2,47	0,52	0,026	2,33	0,047	49,29	16,96
T2R1P2	21,62	6,95	4,82	2,36	1,80	0,021	7,55	0,094	76,43	8,23
T2R2P2	19,20	6,04	4,62	2,78	1,12	0,015	7,45	0,094	73,10	3,75
T2R3P2	24,60	5,90	5,27	3,11	0,81	0,015	3,26	0,024	51,47	17,23
T2R4P2	20,63	6,95	5,76	2,72	0,48	0,018	2,61	0,024	49,33	10,00
T3R1P2	20,06	14,44	4,95	3,02	1,02	0,015	7,45	0,094	71,46	8,32
T3R2P2	16,65	13,60	4,66	2,72	1,13	0,021	5,03	0,094	65,40	5,41
T3R3P2	22,61	15,91	5,62	2,87	0,52	0,010	2,33	0,024	45,18	27,20
T3R4P2	22,05	9,75	5,52	3,07	0,62	0,026	2,80	0,047	48,33	19,32
T4R1P2	21,05	6,67	4,66	2,55	1,11	0,015	6,15	0,094	71,09	9,89
T4R2P2	21,19	18,78	4,49	3,07	1,12	0,021	5,59	0,094	65,04	10,75
T4R3P2	22,33	12,90	5,42	2,45	0,69	0,008	2,33	0,047	49,29	22,37
T4R4P2	19,20	9,40	5,5	3,11	0,65	0,015	2,61	0,047	46,19	20,45
T5R1P2	20,48	10,03	4,42	2,95	1,15	0,021	6,52	0,094	69,20	9,38
T5R2P2	18,07	8,00	4,92	2,78	1,01	0,015	7,45	0,165	73,28	3,71
T5R3P2	24,60	6,95	5,2	2,85	0,79	0,023	6,52	0,094	69,99	6,88
T5R4P2	26,59	6,95	5,52	2,89	0,63	0,023	2,80	0,047	49,80	14,62
T6R1P2	18,35	10,31	4,9	3,18	1,01	0,015	7,55	0,094	70,64	8,23
T6R2P2	17,78	12,06	5,15	2,33	0,88	0,015	3,91	0,047	63,07	2,41
T6R3P2	21,76	11,29	6,21	2,64	0,00	0,015	4,19	0,071	61,82	6,44
T6R4P2	22,61	13,11	6,06	2,66	0,00	0,021	2,80	0,024	51,61	9,39
T7R1P2	16,22	6,53	4,82	3,51	1,03	0,026	7,45	0,094	68,36	8,31
T7R2P2	22,76	12,20	4,57	2,76	1,10	0,023	7,45	0,165	73,45	3,71
T7R3P2	22,90	6,81	6,08	2,68	0,00	0,018	3,26	0,047	55,36	8,13
T7R4P2	25,17	7,09	5,24	2,60	0,81	0,013	5,59	0,047	68,46	10,84
T8R1P2	22,47	14,65	4,65	4,25	1,12	0,023	5,59	0,094	57,30	10,74
T8R2P2	25,17	15,77	4,95	2,40	1,01	0,023	6,71	0,141	74,13	9,09
T8R3P2	19,20	18,15	6,19	2,53	0,00	0,031	5,78	0,141	70,19	4,71
T8R4P2	29,43	6,53	5,31	2,76	0,78	0,010	2,80	0,024	50,59	9,42
T9R1P2	17,50	7,65	5,02	3,14	1,00	0,010	6,90	0,094	69,06	4,04
T9R2P2	32,27	13,95	4,73	2,83	1,08	0,021	3,26	0,047	54,09	8,12
T9R3P2	18,21	18,36	5,79	3,02	0,45	0,046	7,45	0,094	71,54	8,29
T9R4P2	23,89	14,37	5,56	2,62	0,60	0,021	2,80	0,071	52,39	27,22
T10R1P2	20,77	10,31	5,38	2,51	0,72	0,010	13,05	0,024	83,91	2,20
T10R2P2	29,29	13,18	4,08	2,60	1,23	0,015	7,36	0,141	74,28	3,77
T10R3P2	26,02	8,14	5,41	2,60	0,73	0,023	2,80	0,047	52,40	23,56
T10R4P2	23,75	13,32	5,6	2,53	0,53	0,015	2,80	0,094	53,48	19,12

22A. Datos de análisis del suelo extraído de la camada 0,2-0,4 m a los 12 meses después de la aplicación de yeso y cal agrícola. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.

Trat-Rep-Prof.	S	P	pH	H+AL	Al ⁺³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	V	m
	mg kg ⁻¹		H ₂ O	cmol _c kg ⁻¹					%	
T1R1P3	22,61	4,71	4,97	2,83	1,05	0,037	6,50	0,369	70,97	13,20
T1R2P3	19,20	6,18	4,75	2,35	1,12	0,037	4,60	0,393	68,19	17,81
T1R3P3	23,18	3,66	5,1	2,49	0,90	0,042	3,80	0,299	62,43	17,87
T1R4P3	24,89	10,66	5,81	2,51	0,05	0,078	3,80	0,322	62,59	4,55
T2R1P3	19,91	4,08	5,2	1,92	0,79	0,042	5,50	0,416	75,64	11,71
T2R2P3	24,89	2,39	4,9	2,31	1,02	0,042	5,36	0,416	71,57	14,92
T2R3P3	20,20	3,17	5,63	2,72	0,53	0,042	4,45	0,299	63,76	9,97
T2R4P3	23,47	3,52	5,97	2,64	0,02	0,186	3,80	0,322	61,96	0,46
T3R1P3	20,48	5,20	5,02	2,93	0,98	0,035	5,55	0,416	67,17	14,04
T3R2P3	19,06	5,20	4,7	2,33	1,11	0,042	5,36	0,369	71,25	16,13
T3R3P3	18,35	9,40	5,42	2,42	0,69	0,042	5,55	0,393	71,24	10,34
T3R4P3	22,90	5,55	5,82	2,74	0,20	0,058	4,26	0,322	62,86	4,13
T4R1P3	19,20	5,62	4,98	2,53	1,01	0,042	5,45	0,416	70,04	14,60
T4R2P3	16,36	8,91	4,72	2,55	1,11	0,042	5,45	0,416	69,89	15,82
T4R3P3	22,19	7,79	5,4	2,80	0,70	0,037	3,61	0,299	58,45	15,07
T4R4P3	16,65	4,43	5,91	3,38	0,05	0,055	3,80	0,322	55,26	1,18
T5R1P3	16,79	4,22	4,93	2,18	1,02	0,037	5,45	0,369	72,89	14,83
T5R2P3	16,51	3,45	5,34	2,18	0,75	0,042	5,52	0,416	73,30	11,15
T5R3P3	21,48	3,66	5,62	2,51	0,52	0,047	4,45	0,322	65,76	9,74
T5R4P3	20,91	3,45	5,86	2,45	0,05	0,053	3,80	0,346	63,09	4,33
T6R1P3	16,79	3,80	5,5	2,95	0,65	0,035	5,45	0,369	66,46	9,99
T6R2P3	16,36	4,85	5,05	1,93	0,99	0,037	4,91	0,322	73,17	15,81
T6R3P3	20,20	3,59	6,15	2,43	0,00	0,042	4,26	0,322	65,52	0,00
T6R4P3	21,76	3,45	6,05	2,24	0,00	0,035	3,80	0,299	64,79	0,00
T7R1P3	15,65	2,68	5,25	3,16	0,85	0,037	5,45	0,346	64,87	12,72
T7R2P3	21,62	4,92	4,82	2,23	1,12	0,037	5,45	0,416	72,61	15,10
T7R3P3	23,89	3,59	5,98	2,72	0,01	0,042	4,26	0,322	62,95	0,22
T7R4P3	28,44	3,80	5,56	2,23	0,60	0,040	4,73	0,322	69,56	10,55
T8R1P3	16,08	5,76	5,06	3,83	0,97	0,035	5,52	0,346	60,62	14,12
T8R2P3	16,93	4,92	4,96	2,19	1,01	0,042	4,26	0,322	67,83	17,92
T8R3P3	29,86	4,29	6,09	2,80	0,00	0,055	5,36	0,416	67,53	0,00
T8R4P3	24,32	3,87	5,71	2,29	0,49	0,037	3,80	0,299	64,30	10,60
T9R1P3	19,35	2,11	5,22	2,89	0,75	0,040	5,36	0,322	66,45	11,59
T9R2P3	31,56	4,22	5,44	1,95	0,70	0,037	3,98	0,322	69,03	13,89
T9R3P3	21,62	4,43	5,96	2,83	0,02	0,042	6,59	0,369	71,25	0,28
T9R4P3	24,32	6,04	5,71	2,51	0,49	0,047	3,80	0,369	62,68	10,42
T10R1P3	17,22	3,66	5,52	2,33	0,62	0,037	5,71	0,346	72,35	9,24
T10R2P3	23,04	6,18	4,76	2,64	1,12	0,037	7,52	0,369	75,00	12,09
T10R3P3	20,34	4,85	5,68	2,70	0,50	0,053	3,80	0,322	60,68	10,71
T10R4P3	23,47	10,45	5,68	2,93	0,50	0,053	3,98	0,322	59,77	10,30

23A. Valores promedio de la resistencia mecánica del suelo a la penetración en función a la aplicación de yeso y cal agrícola después de 12 meses hasta 50 cm de profundidad. Villa del Rosario, San Pedro, 2018/2019.



24A. Aplicación de los tratamientos en estudio (yeso y cal agrícola).



25A. Aplicación de insecticida.



26A. Cosecha de los cultivos y extracción de muestras de suelos (5 y 12 meses)

