

**YESO AGRÍCOLA EN SUCESIÓN DE SOJA-MAÍZ DE SEGUNDA EN
SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA**

LAURA RAQUEL QUIÑÓNEZ VERA

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera de Ingeniería Agronómica
Área Suelos y Ordenamiento Territorial

San Lorenzo - Paraguay

Marzo - 2017

**YESO AGRÍCOLA EN SUCESIÓN DE SOJA-MAÍZ DE SEGUNDA EN
SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA**

LAURA RAQUEL QUIÑÓNEZ VERA

Orientador: **Prof. Ing. Agr. (Dr) JIMMY WALTER RASCHE ÁLVAREZ**

Co-Orientador: **Prof. Ing. Agr. (Dr.) CARLOS ANDRÉS LEGUIZAMÓN ROJAS**

Co-Orientador: **Pof. Ing. Agr. (M.Sc) DIEGO AUGUSTO FATECHA FOIS**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera de Ingeniería Agronómica
Área Suelos y Ordenamiento Territorial

San Lorenzo - Paraguay

Marzo - 2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**YESO AGRÍCOLA EN SUCESIÓN DE SOJA-MAÍZ DE SEGUNDA EN
SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA**

Esta Tesis fue aprobada por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el grado de Ingeniero Agrónomo otorgado por la Facultad de Ciencia Agrarias, Universidad Nacional de Asunción

Autora: **Laura Raquel Quiñónez Vera**

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr). Jimmy Walter Rasche Álvarez

Co-Orientador : Prof. Ing. Agr. (Dr). Carlos A. Leguizamón Rojas

Co-Orientador: Pof. Ing. Agr. (M.Sc) Diego Augusto Fatecha Fois

Miembros de la Mesa Examinadora:

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

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

Pof. Ing. Agr. (M.Sc) Diego Augusto Fatecha Fois

Pof. Ing. Agr. (M.Sc) María del Pilar Galeano

San Lorenzo-Paraguay, 14 de Marzo del 2017

DEDICO

A mis padres Rubén (+) y Constancia (+)
A mis hermanos Rolando, Arturo y Rossana

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen María que me dieron la perseverancia para culminar mis estudios.

Al Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Álvarez, por la orientación, paciencia y comprensión en el trabajo de tesis.

A los profesores Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas y al Ing. Agr. (M.Sc) Diego Augusto Fatecha Fois por las sugerencias para el desarrollo del trabajo y a la Ing. Agr (Dra) Claudia Carolina Cabral de Rasche por el apoyo y la comprensión brindada.

Al Sr. Wilson Mello por cederme el terreno para el desarrollo del experimento.

A la familia Rasche Álvarez por la hospitalidad y apoyo brindado durante el transcurso del experimento.

Al Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, al plantel de docentes y personal administrativo, por la ayuda recibida durante la realización del trabajo.

A la Itaipu Binacional por la beca brindada y por todo el apoyo desde el inicio de la carrera.

Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), por la financiación del experimento.

A mis hermanos: Rossana, Rolando y Arturo, a mi cuñado Pedro y a mis sobrinos Santiago y Fernando por la comprensión y el apoyo de siempre.

A mis tíos Felicia, Feliciano y Gabriel y a mi tía abuela Higinia por todo el apoyo brindado durante los años de la carrera.

A Laura Josefina, Lorenza, Clara y Luz amigas incondicionales y apoyo en todo momento.

A todos mis compañeros y compañeras por el tiempo y experiencias compartidas durante los años de nuestra formación profesional.

A todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron e hicieron posible la realización y conclusión de este trabajo

YESO AGRÍCOLA EN SUCESIÓN DE SOJA – MAÍZ DE SEGUNDA EN SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA

Autora: LAURA RAQUEL QUIÑONEZ VERA

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) JIMMY WALTER RASCHE ÁLVAREZ

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) CARLOS A. LEGUIZAMÓN ROJAS

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (M.Sc) DIEGO A. FATECHA FOIS

RESUMEN

La dinámica y disponibilidad del azufre en los suelos puede ser un factor limitante en la producción de los cultivos. El yeso agrícola representa una alternativa como fuente de azufre a fin de suplir la necesidad del cultivo. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación y reaplicación de yeso agrícola como fuente de azufre en la sucesión soja/maíz de segunda en sistema de siembra directa. El experimento fue realizado en el distrito de Minga Porá, Departamento de Alto Paraná, durante el periodo de julio de 2014 a junio de 2016. El suelo corresponde a un Rhodic Kandiudox de textura arcillosa muy fina y alto tenor de materia orgánica. En junio de 2014 fueron aplicados 2.500 kg ha⁻¹ de cal agrícola. El primer año de experimentación que abarcó en setiembre de 2014 a junio de 2015 fueron sembrados soja y maíz de segunda, evaluadas respectivamente. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar y se aplicaron diferentes dosis de yeso agrícola de acuerdo a los tratamientos establecidos de 0, 100, 200, 400, 800 y 1.600 kg ha⁻¹ en cada parcela (8 m x 8 m) con cinco repeticiones totalizando 30 unidades experimentales. El segundo año de experimentación que abarcó desde setiembre de 2015 a junio de 2016 fueron sembrados nuevamente soja y maíz de segunda asociado con *Brachiaria reptans* realizándose una reaplicación de yeso agrícola en las mismas dosis de cada tratamiento, solamente en la mitad de cada parcela (8 m x 4 m). Se utilizó un diseño experimental de arreglo factorial en parcelas subdivididas en fajas con dos factores. El factor A: dosis de yeso (0, 100, 200, 400, 800 y 1.600 kg ha⁻¹) y factor B: momento (aplicación y reaplicación), dispuestos en bloques con cinco repeticiones, constituyendo un total de 60 unidades experimentales. Las variables evaluadas en soja fueron: altura de la planta, número de inserción de vainas, número de vainas, número total de granos por planta. En maíz de segunda se evaluaron: altura de la planta, altura de inserción de la espiga, grosor del tallo, número de hojas, longitud de la espiga, diámetro de la espiga, número de hileras de la espiga. En cuanto a la masa de mil granos, peso hectolítrico, rendimiento de granos, nivel de S en granos y exportación de S en granos fueron determinados en ambos cultivos. Y en el suelo se determinó el nivel de S disponible a tres profundidades comprendidas por 0- 0,10 m; 0,10- 0,20 m y 0,20- 0,40 m. La aplicación y reaplicación de dosis de yeso agrícola no influyeron en el crecimiento y rendimiento de los cultivos. El nivel de S en el suelo aumentó significativamente por aplicación y reaplicación de las diferentes dosis de yeso en las tres profundidades.

PALABRAS-CLAVE: *Glycine max* L, *Zea mays* L. yeso, azufre, aplicación, reaplicación

AGRICULTURAL GYPSUM IN A SOYBEAN- SECOND CROP MAIZE SUCCESSION IN NO-TILL SYSTEM

Author: LAURA RAQUEL QUIÑÓNEZ VERA

Adviser: **Ing. Agr. (Dr.) JIMMY WALTER RASCHE ÁLVAREZ**

Co-Adviser: **Ing. Agr. (Dr.) CARLOS ANDRÉS LEGUIZAMÓN ROJAS**

Co-Adviser: **Ing. Agr. (M.Sc) DIEGO AUGUSTO FATECHA FOIS**

SUMMARY

The dynamic and availability of sulphur (S) in soils could be a limiting factor for crop production. Agricultural gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) is an alternative source of S for optimal plant growth. This study aimed to assess the residual effect of application and reapplication of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ as source of S in a soybean- second crop maize succession in no-till system. The experiment was performed from July 2014 to June 2016; the study area is located in eastern Paraguay (Minga Porã, Alto Paraná) on a Rhodic Kandiodox clay soil with high organic matter level. Before treatment, in Jun. 2014, were applied 2.500 kg ha^{-1} of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. The first year (Sept. 2014 – Jun. 2015), were sowed soybean and maize and they were evaluated posteriorly. A Randomized Block Design was used, thus, different doses of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0, 100, 200, 400, 800 y 1.600 kg ha^{-1}) were applied in each patch (8 m x 8 m) with 5 replications; 30 experimental units altogether. The second year (Sept. 2015 – Jun. 2016), were sowed again soybean and maize associated with *Brachiaria reptans* employing the same different doses of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, but this time they were applied just in a half of the patch (8 m x 4 m). A 2-factor experimental design with a split-plot arrangement into strips was used, where factor A: dose of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0, 100, 200, 400, 800 y 1.600 kg ha^{-1}) and factor B: time (application and reapplication) settled in blocks with 5 replications, adding up to 60 experimental units. Analyzed variables in soybean were: plant height, number of insertion per plant, number of pods per plant, total number of grains per plant, thousand grains weight, hectoliter weight and yield. Whilst in maize were analyzed: plant height, insertion height, stem thickness, number of leaves, ear length, ear diameter, number of ear rows, thousand grains weight, hectoliter weight and yield. It was also analyzed the level of availability S in the soil at three different depths (0- 0.10 m; 0.10- 0.20 m; 0.20- 0.40 m). The application and reapplication of the different doses of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ did not affect neither the growth nor the crops yield. Nevertheless, the level of S in the soil was increased in all the three different depths due to the application and reapplication.

KEY-WORD: *Glycine max* L., *Zea mays* L., gypsum, sulphur, application, reapplication.

GESSO AGRÍCOLA NA SUCESSÃO SOJA- MILHO SAFRINHA EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO

Autora: LAURA RAQUEL QUIÑÓNEZ VERA

Conselheiro: Prof. Ing. Agr. (Dr.) JIMMY WALTER RASCHE ÁLVAREZ

Co-Conselheiro: Prof. Ing. Agr. (Dr.) CARLOS A. LEGUIZAMÓN ROJAS

Co-Conselheiro: Prof. Ing. Agr. (M.Sc) DIEGO A. FATECHA FOIS

RESUMO

A dinâmica e disponibilidade do enxofre nos solos pode ser um fato limitante na produção das culturas. O gesso agrícola representa uma alternativa como fonte de enxofre com a finalidade de suprir a necessidade do cultivo. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação e reaplicação do gesso agrícola como fonte de enxofre na sucessão soja/milho safrinha em área de plantio direto. O experimento foi conduzido no Estado de Alto Paraná, Minga Porá durante o período de julho de 2014 a junho de 2016. O solo pertence a um Distrófico Vermelho de textura argilosa muito fina e alto teor de matéria orgânica. Em junho de 2014 foram aplicados 2.500 kg ha⁻¹ de calagem. No primeiro ano do experimento que abrangeu em setembro de 2014 a junho de 2016 foi semeada soja e milho safrinha, avaliadas respectivamente. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, diferentes doses de gesso em cada parcela (8m x8m) segundo foram os tratamentos (0, 100, 200, 400, 800 y 1.600 kg ha⁻¹) com cinco repetições tendo um total de 30 unidades experimentais. No segundo ano de experimentação que abrangeu em setembro de 2015 a junho de 2016 foram semeados novamente soja e milho safrinha associado com *Brachiaria reptans* realizando uma reaplicação de gesso agrícola nas mesmas doses de cada tratamento, somente na metade de cada parcela (8 m x 4 m). Para o mesmo foi utilizado um arranjo fatorial em parcelas subdivididas em faixas com dois fatores. O fator A: doses de gesso (0, 100, 200, 400,800 y 1.600 kg ha⁻¹) e o fator B: momento (aplicação e reaplicação), dispostos em blocos com cinco repetições, constituindo um total de 60 unidades experimentais As variáveis avaliadas em soja foram: altura da planta, número de inserção de vagens, número de vagens, número total de grãos por planta. Em milho foram avaliadas: altura da planta, altura de inserção, comprimento da espiga, diâmetro do caule, número de fileiras da espiga. Enquanto a massa de mil grãos, peso hectolitro, rendimento de grãos, o nível de S no grãos e a exportação de S no grãos foram determinados nas duas culturas. E no solo se determinou o nível de S disponível a três profundidades compreendidas por 0- 0,10 m; 0,10- 0,20 m y 0,20- 0,40 m. A aplicação e reaplicação de doses de gesso agrícola não afetaram o crescimento e rendimento das culturas. O nível de S no solo aumentou significativamente pela aplicação e reaplicação de doses de gesso nas três profundidades.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max* L., *Zea mays* L., gesso, enxofre, aplicação, reaplicação.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PORTADA.....	i
HOJA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
SUMMARY.....	vi
RESUMO.....	vii
TABLA DE CONTENIDO.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Dinámica del azufre en el suelo.....	3
2.2 Azufre en la planta.....	6
2.3 Respuestas de los cultivos a la adición de azufre.....	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1 Localización y caracterización del área experimental.....	10
3.1.1 Régimen de precipitación y temperatura durante el ciclo de soja/maíz 2015-2016.....	11
3.2 Diseño experimental y tratamientos.....	12
3.3 Histórico del área experimental.....	13
3.4 Implantación y manejo del experimento.....	13
3.5 Variables evaluadas.....	14
3.5.1 Parámetros de crecimiento y rendimiento de la planta.....	14
3.5.2 Parámetros químicos de la planta.....	15
3.5.3 Nivel de azufre en el suelo.....	15
3.6 Métodos de control de calidad de datos.....	15

	Página
3.7 Análisis de datos	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
4.1 Efectos en soja.....	17
4.2 Efecto de la aplicación y reaplicación de dosis de yeso en el cultivo de maíz.....	23
4.3 Nivel de S disponible en el suelo	28
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
5.1 Conclusiones.....	33
5.2 Recomendaciones.....	33
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
7. ANEXOS.....	47

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica del experimento Alto Paraná, distrito de Minga Porá.....	11
Figura 2. Precipitación pluviométrica, temperatura media, máxima y mínima mensual desde el período de septiembre del 2015 hasta junio del 2016.....	12
Figura 3. Nivel de S en función a las diferentes dosis de yeso agrícola en la camada de a)0-10, b)10-20 y c)20-40 cm.....	30
Figura 4. Nivel de S en el suelo en función a la profundidad en la) aplicación y b) reaplicación.....	31

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Altura de la planta y número de inserción de vainas por efecto de dosis y momento a la adición de yeso en soja. Minga Porá, 2015/2016.....	17
Tabla 2. Número de vainas, número de vainas de 1, 2,3 y 4 granos y el número total de granos por efecto de dosis y momento a la adición de yeso en soja. Minga Porá, 2015/2016.....	19
Tabla 3. Masa de 1.000 granos, peso hectolítrico y rendimiento por efecto de dosis y momento a la adición de yeso. Minga Porá, 2015/2016.....	21
Tabla 4. Nivel de S en granos y la exportación de S por efecto de dosis y momento a la adición de yeso Minga Porá, 2016.....	22
Tabla 5. Grosor de la planta, altura de la planta, altura de inserción y número de hojas por efecto de dosis y momento a la adición de yeso en maíz zafrña. Minga Porá, 2016.....	23
Tabla 6. Longitud, diámetro y número de hileras de la espiga por efecto de dosis y aplicación en maíz zafrña. Minga Porá, 2016.....	25
Tabla 7. Masa de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento por efecto de dosis y momento a la adición de yeso en maíz zafrña. Minga Porá, 2016.....	27
Tabla 8. Nivel de S en granos y exportación de S, por efecto de dosis y momento a la adición de yeso en maíz zafrña. Minga Porá, 2016.....	28
Tabla 9. Nivel de S en el suelo en la camada de 0-10, 10-20 y 20-40 cm por efecto de dosis y momento a la adición de yeso. Minga Porá, 2016.....	29

LISTA DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Precipitación pluviométrica, temperatura media, máxima y mínima mensual desde el período de septiembre 2015 hasta junio de 2016	48
Anexo 2. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de la soja.....	48
Anexo 3. Análisis de varianza de la variable número de inserción de la soja..	48
Anexo 4. Análisis de varianza de la variable número de vainas de la soja.....	49
Anexo 5. Análisis de varianza de la variable vainas de 1 grano de la soja.....	49
Anexo 6. Análisis de varianza de la variable vainas de 2 granos de la soja....	49
Anexo 7. Análisis de varianza de la variable vainas de 3 granos de la soja....	50
Anexo 8. Análisis de varianza de la variable vainas de 4 granos de la soja....	50
Anexo 9. Análisis de varianza de la variable número total de vainas de la soja.....	50
Anexo 10. Análisis de varianza de la variable masa de 1.000 granos de la soja.....	51
Anexo 11. Análisis de la varianza de la variable peso de hectolítrico de la soja.....	51
Anexo 12. Análisis de varianza de la variable rendimiento de la soja.....	51
Anexo 13. Análisis de varianza de la variable nivel de S en granos de la soja..	52
Anexo 14. Análisis de varianza de exportación de S de los granos de la soja..	52
Anexo 15. Análisis de varianza de la variable grosor del tallo del maíz.....	52
Anexo 16. Análisis de covarianza de la variable grosor del tallo del maíz.....	53
Anexo 17. Análisis de varianza de la variable altura de la planta del maíz.....	53
Anexo 18. Análisis de varianza de la altura de inserción de la planta del maíz.	53
Anexo 19. Análisis del número de hojas de la planta del maíz.....	54
Anexo 20. Análisis de varianza de la longitud de la espiga del maíz.....	54
Anexo 21. Análisis de varianza del diámetro de la espiga del maíz.....	54
Anexo 22. Análisis de varianza del número de hileras de la espiga del maíz....	55
Anexo 23. Análisis de varianza de la masa de 1.000 granos del maíz.....	55
Anexo 24. Análisis de varianza del peso hectolítrico del maíz.....	55
Anexo 25. Análisis de covarianza del peso hectolítrico del maíz.....	56
Anexo 26. Análisis de varianza del rendimiento del maíz.....	56
Anexo 27. Análisis de covarianza del rendimiento del maíz.....	56
Anexo 28. Análisis de varianza del nivel de S en granos del maíz.....	57

Anexo 29. Análisis de varianza de la exportación de S en granos del maíz.....	57
Anexo 30. Análisis de varianza del nivel de S en el suelo en la camada de 0-10 cm.....	57
Anexo 31. Análisis de varianza del nivel de S en el suelo en la camada de 10-20 cm.....	58
Anexo 32. Análisis de varianza del nivel de S en el suelo en la camada de 20-40 cm.....	58
Anexo 33. Análisis de varianza del nivel de S en el suelo en la aplicación.....	58
Anexo 34. Análisis de varianza del nivel de S en el suelo en la reaplicación....	59

1. INTRODUCCIÓN

En el Paraguay, la explotación agropecuaria constituye la base económica del país, la cual abarca grandes extensiones de tierra destinados para los distintos sectores de producción. La agricultura mecanizada se basa principalmente en una sucesión de cultivos extensivos que comprenden soja, maíz y trigo producidos en sistema de siembra directa con utilización de tecnología avanzada y alta aplicación de insumos.

La soja es sembrada en más de 3 millones de ha con una producción de aproximadamente 9 millones de t y los cultivo de maíz y trigo, sembrados en menor superficie (Cámara paraguaya de Exportación de Cereales y Oleaginosas - CAPECO 2016).

Algunos de los suelos de la Región Oriental en donde se concentra la mayor producción de granos se caracterizan por problemas de fertilidad, con altos niveles de acidez, bajo contenido de macronutrientes y azufre (S), relacionado a la escasa materia orgánica, limitado reciclaje de nutrientes y baja adición de fertilizantes con fuentes de azufre.

Actualmente existe poca información referente a la importancia del elemento en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, pudiendo la adición S ser necesario en suelos de alta producción y exportación del nutriente.

El yeso agrícola representa una fuente de S capaz de suplir la necesidad S en el suelo y por la alta solubilidad del compuesto, puede corregir limitaciones de

acidez en el subsuelo disminuyendo la actividad del Al^{+3} que favorece el desarrollo de las raíces y mejora el aprovechamiento de agua y nutrientes en profundidad.

Este trabajo tiene como el objetivo principal de evaluar el efecto de la aplicación y reaplicación de yeso agrícola en superficie en la producción de cultivos en sucesión (soja/maíz de segunda) en sistema de siembra directa. Los objetivos específicos fueron: determinar el efecto de la aplicación de yeso agrícola sobre algunos parámetros de crecimiento y productividad en la sucesión soja/maíz de segunda, determinar el nivel de S y la exportación de S en granos de ambos cultivos y determinar el S disponible en el suelo.

Como hipótesis se menciona que la aplicación y reaplicación de diferentes dosis de yeso agrícola aumentará: la producción de soja y maíz de segunda, los tenores de S en el grano y la disponibilidad de S en el suelo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Dinámica del S en el suelo

El S en el suelo se encuentra en dos grandes compartimientos, el que está en la forma inorgánica adsorbido de manera reversible o irreversible a los coloides del suelo y el azufre orgánico del suelo que está relacionado a compuestos orgánicos en diferentes grados de descomposición y ligado a los grupos funcionales de superficie creado por la propia materia orgánica (Bissani y Tedesco 1988). El promedio de azufre total en el suelo varía ampliamente. (Solomon et al. 2005) constataron valores entre 150 a 230 mg kg⁻¹ de suelo, siendo los niveles de S total, orgánico e inorgánico mayores en ambientes naturales que en suelos con presión antrópica.

Para el inicio del ciclo debe haber una provisión de S en el suelo. El elemento puede ser provisto por varias fuentes, inicialmente la misma puede originarse de minerales primarios del suelo como los sulfuros metálicos y por la transformación a través de microorganismos presentes en el suelo, permitiendo aumentar la concentración de SO₄⁻² libre en la solución Osorio Filho et al. (2003).

Dependiendo del origen del suelo el SO₄⁻² puede presentar diferentes comportamientos. En suelos alcalinos como en los Andisoles gran parte del azufre puede estar presente en minerales primarios como sulfato de aluminio básico [(K,Na)_nAl_x(OH)_y y (SO₄)_z], principalmente cuando hay abundancia de flúor en el ambiente (Delfosse et al. 2005), así como precipitado con el aluminio en microagregados de suelo Prietzel et al. (2008).

En los suelos arcillosos caracterizados por una alta intemperización, en arcillas del tipo 1:1 caolinita y los óxidos de Fe^{+3} y Al^{+3} es común, la retención del SO_4^{-2} en las capas superficiales por medio de la floculación, mientras que en suelos arenosos el SO_4^{-2} tiende a ser lixiviado a capas más profundas (Pozza et al. 2007, Rheinheimer et al. 2007). Según Alves (2002) el SO_4^{-2} queda adsorbido principalmente en los óxidos de hierro como la gibsita y a los óxidos de aluminio mal cristalizados.

La relación de concentración de S con el pH del suelo es directamente proporcional medida que aumenta el pH del suelo aumenta la concentración de SO_4^{-2} del suelo debido a que este es desorvido por los coloides del suelo (Osorio Filho et al. 2003, Rasche 2004). Una pequeña variación de pH en el suelo puede alterar enormemente la dinámica de adsorción del sulfato en el suelo (Nodvin et al. 1986).

En suelos con abundancia de óxido de hierro de tipo hematita, con pH próximo o inferior a 5,0 el SO_4^{-2} tiende a ligarse a la misma formando complejo de esfera interna con ligación monodentada entre el SO_4^{-2} y el óxido de hierro, con un poco de ligación bidentada, donde dos oxígenos del sulfato se ligan al hierro, esta última pudiendo formarse principalmente cuando hay condiciones de déficit hídrico (Hug 1996). Ya en la goetita hay mayor formación de ligaciones de esfera externa, es decir, con moléculas de agua entre el sulfato y el óxido de hierro, aunque la cantidad de ligaciones de esfera externa e interna depende del pH y la fuerza iónica de la solución, siendo que el enlace de esfera externa predomina en pH más elevados y menos fuerza iónica (Peak et al. 1999). En el caso de ligaciones de esfera interna la distancia de la ligación del azufre con el hierro varía entre 3,40 a 3,46 Å dependiendo del ángulo de contacto Paul et al. (2007).

El S ha sufrido un alto cambio en su ciclo debido a que muchos suelos de zonas tropicales y subtropicales ocupados por bosques y praderas fueron incorporados a la agricultura y que cambios en los tenores de materia orgánica altera en la dinámica y disponibilidad de S en el suelo, no solo cuantitativamente sino

además en la composición del S orgánico, comparado con un suelo no antropizado (Solomon et al. 2005).

Actividades humanas como el drenaje de los suelos pueden afectar drásticamente el depósito de azufre en el suelo. Smiles (2009) observó reducción de hasta 25% del S total y 30% del carbono orgánico después de 25 años de drenado un suelo cuando comparado con el área no drenada.

Por otra parte, la materia orgánica actúa como reserva del elemento ya que al ser mineralizado el S se reduce a H_2S el cual se oxida y forma el SO_4^{-2} que es asimilado por la planta. Este proceso es condicionado por la relación C:N:S, de manera que si la relación es alta, la disponibilidad inmediata del azufre se ve afectada por la inmovilización del elemento, hecho relacionado a la velocidad de descomposición de los compuestos orgánicos (Wadt 2000).

En el suelo, el azufre orgánico representa más del 90% de azufre total y el azufre fuertemente oxidado como los sulfatos, representan la forma orgánica predominante, ocupando entre 39 a 54% del S orgánico total, el S de oxidación intermedia como los sulfonatos y sulfoxidos, ocupan entre 30 a 37% y el S orgánico fuertemente reducido como son los polisulfuros, disulfuros, tioles, monosulfidos y tiofenos ocupan solamente entre 17 a 24% del azufre orgánico total.

En caso opuesto, si la relación es baja, se da la mineralización del S mediante las condiciones ambientales, edáficas y la acción microbiana de los diferentes microorganismos presentes en el suelo, permitiendo aumentar la concentración de SO_4^{-2} libre en la solución (Osorio Filho et al. 2003).

El anión SO_4^{-2} que se encuentra libre en la camada superficial puede precipitarse con el Al^{+3} intercambiable formando pares iónicos como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ minimizando la toxicidad de este elemento (Wadt 2000, Zambrosi et al. 2007).

El SO_4^{-2} presente en la solución del suelo también puede ser absorbido por la planta o encontrarse en competencia con la incorporación de cal agrícola (CaCO_3) o fertilizantes fosfatados (PO_4^{-3}) por los grupos funcionales (OH), los cuales disminuyen su adsorción en el suelo, debido a la alta energía de ligación que tienen estos aniones, en la que resulta en pérdidas de azufre al ser lixiviado a horizontes sub superficiales y forman los sulfatos. Así también, se constatan que la deposición del azufre atmosférico puede influenciar en la respuesta a la fertilización sulfatada de los cultivos (Wadt 2000, Osorio Filho et al. 2003, Rheinheimer et al. 2005, Osorio Filho et al. 2007, Pozza et al. 2009, Gubiani et al. 2012).

De acuerdo a Duggan et al. (2010), la deficiencia de azufre en el suelo repercute en la calidad y rendimiento de los granos considerando el nivel crítico <10 ppm (Watanabe 2013). Por lo tanto, la disponibilidad del nutriente en el suelo está relacionado a los distintos componentes del sistema de producción (Nogueira y Melo 2003, Rasche 2004).

2.2 Azufre en la planta

El azufre es considerado un macronutriente esencial para la nutrición de las plantas (Paul et al. 2007). Es absorbido en cantidades importantes como anión SO_4^{-2} por el sistema radicular (Rouached et al. 2009) así también puede ser captado de la atmósfera (Osório Filho et al. 2007) o bien ser provisto a partir de procesos industriales y descomposición de la materia orgánica (Raij 2008).

El azufre en la nutrición de las plantas permite la síntesis de aminoácidos (cistina, cisteína y metionina), que son fundamentales para la formación de proteínas (Buchner et al. 2004). Es parte integral de varios compuestos importantes como vitaminas, coenzimas, fitohormonas (Nazhar et al. 2011); y en leguminosas en particular acelera el desarrollo de las raíces e interfiere en el procesos de nodulación (Broch et al. 2011).

Si este nutriente fuese encontrado en una proporción más significativa en el suelo y disponible para la planta, tal vez la planta podría absorber mayor cantidad aún cuando esta no lo requiera (Rasche et al. 2004a).

Además, de acuerdo a investigaciones de Rausch y Wachter (2005), Bloem et al. (2007) y Haneklaus et al. (2007), el suministro de S a la planta aumenta su sistema de defensa y consecuentemente reduce la incidencia y severidad de enfermedades, principalmente las de origen fúngico.

El requerimiento de este nutriente puede variar de acuerdo a la especie cultivada y producción estimada. Posee un rango de 10 kg ha^{-1} para gramíneas que son menos exigentes, de 30 a 40 kg ha^{-1} para leguminosas con exigencia intermedia y entre 70 a 80 kg ha^{-1} en crucíferas y liliáceas con alta exigencia (EMBRAPA 1992).

2.3 Respuestas de los cultivos a la adición de azufre

La deficiencia de S ocasiona un desequilibrio en el metabolismo de la planta y consecuentemente luego son reflejados en las características agronómicas de la planta (Malhi et al. 2005 y Soaud et al. 2011).

La respuesta esperada a la aplicación de S dependen del tipo de suelo (Vong et al. 2007) la interacción de nutrientes (Cui et al. 2004), las condiciones climáticas (Grant et al. 2012) el nivel de materia orgánica (Álvarez 2004), el pH (Rasche 2004) y factores intrínsecos de la planta (Pepler et al 2005, Vivas et al. 2011 y Cakir 2014) también influyen en las respuestas esperadas conforme a la adición de fuentes sulfatadas.

En suelos altamente intemperizados con alto contenido de hematita, bajos tenores de materia orgánica y arcilla se estima mayor respuesta a la fertilización sulfatada, esto se debe a que existe una mayor disponibilidad de S-SO_4^{-2} en suelos arcillosos (Gutiérrez et al. 2007, Rheinheimer et al. 2007 y Tiecher et al. 2012).

Considerando el grado textural de los suelos, Souza y Lobato (2004) determinaron que la dosis de yeso varía en función al tipo de suelo, y categorizaron la necesidad de S en función al contenido de arcilla: a) suelos arenosos (<15 % de arcilla) 700 kg ha⁻¹ de yeso ,b) suelos de textura media (16-34 % de arcilla) 1.200 kg ha⁻¹ de yeso, c) suelos arcillosos (35-60 % de arcilla) 2.200 kg ha⁻¹ de yeso y d) suelos muy arcillosos (>60 % de arcilla) 3.200 kg ha⁻¹ de yeso.

En diferentes condiciones de estudio se ha demostrado que los cultivos responden positivamente a la adición de S. Por ejemplo la canola en un ambiente templado (Jackson 2008), en cuatro tipos de suelos con diferentes tenores de arcilla y materia orgánica (Rheinheimer et al. 2007), en las dos épocas del año (Grant et al 2012), en diferentes estadios fenológicos de la planta (Milleó y Dino Filho 2001), y (Fismes et al. 2000) en un suelo calcáreo, observaron incrementos en la producción y contenido de aceites considerando que este cultivo es una alta extractora de S con respecto a su potencial de rendimiento según fueron descritos por (Ahmad y Abdin 2000, Fazli et al 2005).

Cuando Silva et al. (2003), Crusciol et al. (2006) y Osório Filho et al. (2007) evaluaron poroto, Ferraris y Couretot (2004), Ceh et al. (2008) y Pereira et al. (2016) en soja y Souza et al. (2008) en algodón, obtuvieron respuestas favorables en el rendimiento, asimilando que son cultivos de exigencia intermedia. En cuanto, Gentiletti y Gutiérrez (2004) y Rasche (2004) en soja y Tiecher et al. (2012) en girasol, no verificaron ninguna respuesta.

En suelos argentinos a través de estudios de diagnóstico varios autores han reportado deficiencia de S en cereales (Chiarotti et al. 2000, García et al. 2001, Cordone y Martínez 2002, y Salvagiotti et al. 2012).

Por su parte, Klein (2003), Flaete et al. (2005), Anderson et al (2006), Calvo et al. (2006), y Salvagiotti et al. (2008) han comprobado que además de aumentar los componentes de rendimiento en el trigo, la deficiencia de S puede cambiar las

proporciones de las proteínas gliadinas y gluteinas y consecuentemente la de algunos aminoácidos que intervienen en su calidad (Wieser et al. 2004).

Sin embargo, en estudios similares realizados por Rheinheimer et al. (2005), Osório filho et al. (2007) y Salvagiotti et al. (2009) utilizando yeso, Oliveira et al (2016) adicionando azufre elemental y Alfaro et al. (2006) con diferentes fuentes de S en un Andisol, no observaron respuesta del cultivo de trigo.

En diferentes condiciones de suelo y temperatura (Barczak y Majcherczak 2008, Salvagiotti et al 2008, Togay et al 2008, Zhao et al 2006) concluyeron que otras gramíneas como en la cebada, la fertilización sulfatada presenta gran influencia en sus componentes de productividad.

Varios son los cultivos que han demostrado respuesta a la aplicación de S. En tomate se verificó efectos significativos en la disminución de la pudrición apical de los frutos y aumentos en la productividad de melón (Faria 2003). También fueron observados aumentos en la productividad de caña de azúcar (Crusciol et al. 2014), remolacha azucarera (Thomas et al. 2003), banana (Mostafa et al. 2006), en pastizales aumento en la concentración de proteínas, (Tellec et al. 2009) y en (*Brachiaria decumbens*) mayor volumen de enraizamiento cuando se realizó aplicación conjunta de yeso y cal agrícola (Schultz et al. 2016).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y caracterización del área experimental

La presente investigación hace parte del proyecto aprobado por el CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) en la resolución N° 437/2014 en el marco del componente I - Fomento a la Investigación científica - Programa paraguayo para el desarrollo de ciencia y tecnología - PROCIENCIA-convocatoria 2013, postulado por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, en el marco del proyecto 14-INV-130, cuyo nombre es " Manejo Sostenible de la Fertilidad del Suelo para la Producción de Alimentos"

El experimento fue conducido en el Departamento de Alto Paraná Distrito de Minga Porá ubicado entre las coordenadas 24°52'57,53" S y 54°53'57,25" O, con altitud de 282 m snm entre los meses de septiembre del 2015 hasta junio de 2016.

El tipo de suelo que predomina en la zona es Rhodic Kandiodox de textura arcillosa muy fina, baja fertilidad y alta acidez según la clasificación de López et al. (1995). Los atributos químicos del suelo en la camada de 0-0,20 m antes de la instalación del experimento presentaron los siguientes resultados: pH= 4,7; materia orgánica= 4,2 %; S=7,02 mg dm⁻³, P= 13,1 mg dm⁻³; Ca⁺²= 2,66 cmol_c kg⁻¹; Mg⁺²= 1,30 cmol_c kg⁻¹; K⁺= 0,41 cmol_c kg⁻¹; Al⁺= 1,25 cmol_c kg⁻¹ y las características texturales fueron: 42 % de arena, 12 % de limo y 46 % de arcilla.

En la figura 1 se puede observar la ubicación geográfica del experimento en el departamento de Alto Paraná, distrito de Minga Porá.



Figura 1. Ubicación geográfica del experimento en el departamento de Alto Paraná, distrito de Minga Porá

Fuente: Google Earth

3.1.1 Régimen de precipitación y temperatura durante los ciclos de soja y maíz 2015/2016

El requerimiento hídrico del cultivo de soja varía entre 450 a 800 mm (Embrapa 2003) y del maíz entre 550 a 800 mm (Rivetti 2007). En cuanto a la temperatura media diaria necesaria es la soja es de 26 °C y en el maíz no debe ser superior a 30 °C (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria -INTA 2009).

En la Figura 2 y en el Anexo 2 se observa el régimen de precipitación pluviométrica, temperatura media, máxima y mínima durante el período de septiembre de 2015 a junio de 2016.

El clima se caracteriza por una temperatura media anual de 22 °C y una precipitación de 1.770 mm (Federación de Cooperativas de Producción Ltda, 2017).

Durante los meses de setiembre a octubre del 2015 y enero a febrero del 2016 se registraron las precipitaciones más bajas coincidiendo con el momento de siembra de la soja, sin embargo no influyeron en el crecimiento de la planta. En cuanto a las precipitaciones más altas fueron medidas en los meses de noviembre a diciembre del 2015 siendo 245,6 y 271,8 mm.

En enero y febrero del 2016 se volvieron a registrar las precipitaciones más bajas en el momento de siembra del maíz, que tampoco afectaron el crecimiento del cultivo. Ya a partir de marzo hasta junio del 2016 la distribución de lluvias fue relativamente constante.

La precipitación acumulada fue de 1.294,5 mm. En cuanto a la temperatura media, máxima y mínima fueron 23,4; 18,3 y 31,2 °C respectivamente.

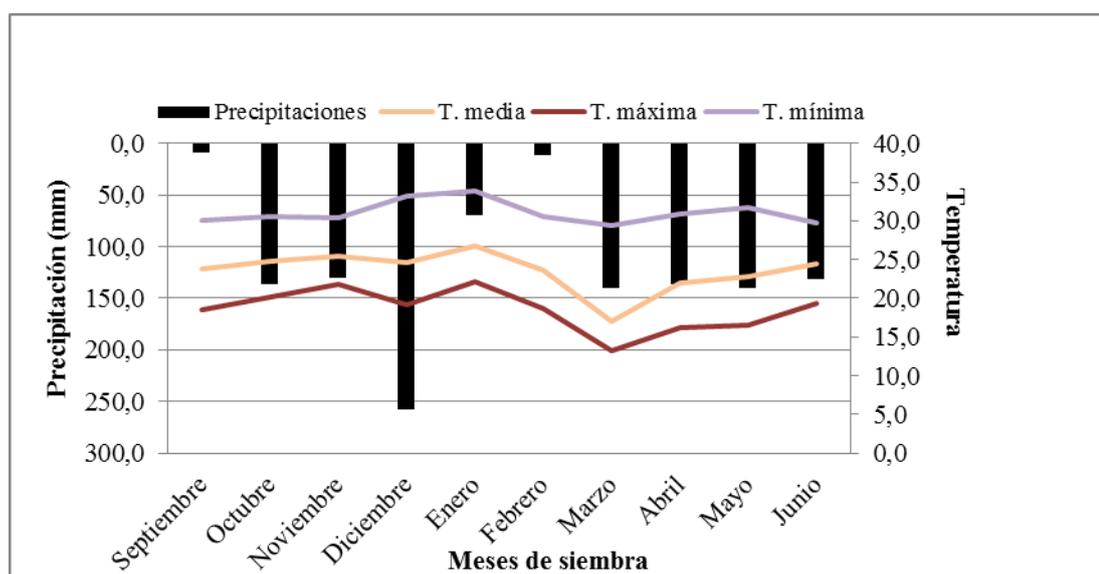


Figura 2. Precipitación pluviométrica, temperatura media, máxima, mínima mensual desde el período de septiembre del 2015 hasta junio del 2016. Minga Porá 2015/2016.

3.2 Histórico e instalación del experimento 0

El local experimental es utilizado hace más de 10 años para la producción mecanizada de cultivos de granos, comprendido por sucesión de soja/maíz en verano y trigo/abonos verdes en invierno dentro del sistema siembra directa.

Antecediendo al inicio del experimento, seis meses antes en abril de 2014, fueron aplicados en forma superficial 2.500 kg ha⁻¹ de cal dolomítica con PRNT del 90 % para corregir los niveles de acidez, constatados en el análisis de suelo. .

Como fuente de S se utilizó sulfato de calcio di hidratado (CaSO₄.2H₂O) compuesto por 15 % de S en forma de anión sulfato (SO₄⁻²), que fue aplicado en superficie.

En el primer año del experimento, que abarcó los meses de setiembre de 2014 a junio de 2015, fueron sembradas soja con sucesión de maíz de segunda, evaluadas previamente. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con seis tratamientos que comprendieron las distintas dosis de yeso agrícola (0, 100, 200, 400, 800 y 1.600 kg ha⁻¹) aplicadas en cada parcela (8m x8m) con cinco repeticiones totalizando 30 unidades experimentales.

En el segundo año de experimento, comprendido entre los meses de setiembre de 2015 a junio de 2016 se realizó una reaplicación de cada dosis de yeso agrícola pero solamente en la mitad de cada parcela (8m x 4 m) alcanzó una dosificación total de 0, 200, 400, 800, 1.600 y 3.200 kg ha⁻¹ en la cual, la misma fue subdividida en fajas, , resultados que son presentados en este trabajo

3.3 Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental utilizado fue un arreglo factorial en parcelas subdivididas en fajas con dos factores en un esquema de 6 x2. La parcela principal correspondió al factor A: dosis de yeso (0, 100, 200, 400, 800 y 1.600 kg ha⁻¹), y la subparcela al factor B: momento (aplicación y reaplicación) dispuestos en bloques con 5 repeticiones, estableciendo un total de 60 unidades experimentales.

Para cada unidad experimental se utilizó un área de 32 m² que correspondieron a 8 m de largo x 4m de ancho, utilizando una superficie total de 1.920 m².

3.4 Implantación y manejo del experimento

La soja cultivar INTACTA 6410, fue sembrada en setiembre de 2015, con espaciamiento entre hileras de 0,45 m y 10 plantas por metro lineal estimando una densidad de 200.000 plantas ha⁻¹. El maíz de segunda cultivar PIONER 4285 fue sembrada en febrero de 2016 asociada a *Brachiaria reptans* con fines de cobertura.

El espaciamiento entre hileras fue de 0,80 m entre hileras y 5 plantas por metro lineal con una densidad estimada de 60.000 plantas ha⁻¹.

Ambos cultivos fueron manejados en sistema de siembra directa.

Se realizó una fertilización conjuntamente con la siembra de la soja de 200 kg ha⁻¹ de formulación 8-30-20. Para el cultivo de maíz se aplicaron 80 kg ha⁻¹ de N, 20 kg ha⁻¹ en la siembra y 60 kg ha⁻¹ en cobertura, utilizando urea (45-0-0) como fuente nitrogenada.

El manejo agronómico del experimento se realizó de acuerdo al sistema de manejo del productor que cedió la superficie para el experimento.

3.5 Variables evaluadas

3.5.1 Parámetros de crecimiento y rendimiento

En el momento de la madurez fisiológica de la planta, fueron tomadas aleatoriamente 10 plantas del área útil de cada unidad experimental, considerando las líneas centrales para reducir el efecto borde. Para el cultivo de soja la altura de la planta fue medida con un flexómetro desde la base del tallo hasta el ápice, el número de inserción de vainas fue cuantificada la cantidad de inserción de vainas por plantas, para el número de vainas por planta fueron contadas la cantidad de vainas por plantas y luego fueron clasificadas las vainas de 1, 2, 3 y 4 granos. Para determinar el número de granos por planta fueron sumadas la cantidad de granos por vainas.

Para el cultivo de maíz el diámetro del tallo fue medido con paquímetro a 5 cm del suelo. La altura de la planta fue medida con un flexómetro desde la base del tallo hasta el ápice, la altura de inserción de la espiga se midió desde la base del tallo hasta el desarrollo de la primera espiga, en el número de hojas se cuantificó la cantidad total de hojas por planta. Para determinar la longitud de la espiga se midió con un flexómetro desde la base hasta el ápice de la espiga, el diámetro de la espiga

fue medido con un paquímetro y el número de hileras de la espiga se cuantificó la cantidad total de hileras por espiga.

Para ambos cultivos, luego de la cosecha y ajustando a 13 % de humedad libre de impurezas y granos rotos fueron pesadas 7 muestras con 100 granos utilizando una balanza convencional y posteriormente multiplicados por 10. El peso hectolítrico con una probeta de 100 ml se pesó la masa de granos que ocupa en un volumen conocido, para el pesaje se utilizó una balanza convencional. Para el rendimiento de granos fueron pesadas la cantidad total de granos del área útil siendo para la soja $3,6 \text{ m}^2$ (2 m de largo x 1,8 m de ancho) y en maíz de $4,8 \text{ m}^2$ (2 m de largo x 2,4 m de ancho).

3.5.2 Parámetros químicos del suelo

El nivel de S en granos: se realizó por digestión perclórica en un medio ácido (HNO_3 y HClO_4), y luego dosados por turbidimetría, basadas en la turbidez formada por la precipitación del S con el cloruro de bario, en la forma de sulfato de bario determinado por colorimetría (EMBRAPA 1999) y la exportación de S en granos se obtuvo del producto del nivel de S en granos por cada tonelada de por granos producidos en cada tratamiento del área útil.

3.5.3 Parámetros químicos del suelo

El nivel de S en el suelo fue extraído con $\text{Ca} (\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 500 mg L^{-1} de P en ácido acético 2 mol L^{-1} y determinado por turbidimetría en espectrofotometría UV-vis (Tedesco et al. 1995).

3.6 Métodos de control de calidad de datos

El experimento contó con suficiente número de repeticiones para que pueda aumentar la confiabilidad de los datos, así como se tomaron varias plantas de cada unidad experimental para tener un promedio confiable de los datos por unidad

experimental. El desarrollo del experimento también contó con el acompañamiento constante del orientador y un especialista del área.

3.7 Análisis de datos

Se elaboró una planilla electrónica en excel para la organización de la base de datos y luego se utilizó el programa estadístico M-Stat (Di Rienzo et al. 2005). Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA). También se realizó comparación de medias por el test de Tukey al 5 %, ajuste de ($p < 0,05$) a través de un análisis de covarianza (ANCOVA) y curva de regresión. Los resultados fueron representados en tablas y figuras.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto de la aplicación y reaplicación de yeso agrícola en el cultivo de soja

De acuerdo a la probabilidad de error ($p < 0,05$) la altura de la planta y el número de inserción de vainas no presentaron efectos a la aplicación y reaplicación de dosis de yeso, no habiendo interacción ni efectos secundarios significativos (Tabla 1) (Anexo 2 y 3).

Tabla 1. Altura de la planta (AP) y número de inserción de vainas (NIV) por efecto de dosis y momento a la aplicación y reaplicación de yeso en soja. Minga Porá, 2015/2016.

Dosis	0	100	200	400	800	1.600	Medias por momento	CV (%)	
	Altura de la planta (cm)								
Aplicación	82,1	80,5	79,3	81,2	81,0	80,1	80,7 ^{NS}	4,74	
Reaplicación	82,3	80,3	80,5	80,9	79,7	83,2	81,1		

Medias por dosis	82,2 ^{NS}	80,4	79,9	81,1	80,4	81,6			
	Número de inserción de vainas (unidades)								
Aplicación	26,9	27,4	27,3	28,4	25,3	26,9	27,1 ^{NS}	8,60	
Reaplicación	27,4	27,9	26,2	27,4	26,4	27,5	21,2		

Medias por dosis	27,2 ^{NS}	27,7	26,8	27,9	25,8	27,7			

NS, ns: no significativo a la probabilidad de error ($p < 0,05$). NS: comparación horizontal; ns: comparación vertical.

Tal situación coincide con ensayos realizados por (Watanabe 2013) que en un experimento con dosis de yeso y con cal agrícola no encontró respuesta en la soja y trigo

Estos resultados demuestran que la biomasa residual del cultivo anterior fue suficiente para suplir las necesidades de S en la altura de la planta y el número de inserción de vainas.

La aplicación y reaplicación de diferentes dosis de yeso no influenciaron en los componentes de rendimiento de la soja (Tabla 2). Los mismos no fueron mayores en los tratamientos con adición de S en relación a los tratamientos que no recibieron dosis de yeso (Anexo 2, 3, 4, 5, 6 7).

La escasa respuesta a la aplicación de dosis de yeso y fósforo en las mismas condiciones de suelo y sucesión de soja/maíz de segunda tampoco fueron encontrados por Soares (2016).

Fatecha et al (2015a) y Fatecha et al (2015b) cuando estudiaron componentes de rendimiento en dos diferentes suelos en soja, al igual que en el experimento no observaron respuesta a la aplicación de dosis crecientes de yeso, presentando una escasa variación entre los tratamientos y los tipos de suelos.

En cuanto al número de vainas de 4 granos que presentaron un alto coeficiente de variación es explicada que tanto en el momento de la aplicación y reaplicación de dosis yeso, pocas fueron las plantas que presentaron vainas de 4 granos (Anexo 8).

En estudios realizados por Antalíková et al. (2008), Amtmman y Armengau (2008) y Mudibu et al. (2012), concluyeron que la presencia de vainas de 4 granos es una característica genotípica de la soja, razón por la cual la adición de yeso no interfirió significativamente en ninguno de los tratamientos.

Tabla 2. Número de vainas (NV), número de vainas de 1, 2,3 y 4 granos y el número total de granos (NTG) por efecto de dosis y momento a la adición de yeso en soja. Minga Porá, 2015/2016.

Dosis	0	100	200	400	800	1.600	Medias por momento	CV (%)
	Número de vainas (unidades)							
Aplicación	53,7	53,0	53,4	54,1	49,6	52,6	57,7 ^{ns}	8,28
Reaplicación	52,8	53,3	52,8	51,7	51,1	53,1	52,5	

Medias por dosis	53,3 ^{NS}	53,2	53,1	52,9	50,3	52,8		
	Vainas de 1 grano (unidades)							
Aplicación	3,5	3,5	3,1	3,6	3,8	3,5	3,5 ^{ns}	16,80
Reaplicación	3,4	3,7	3,6	3,4	3,4	3,3	3,5	

Medias por dosis	3,5 ^{NS}	3,6	3,4	3,5	3,6	3,4		
	Vainas de 2 granos (unidades)							
Aplicación	17,3	18,9	16,8	17,0	17,1	17,5	17,4 ^{ns}	14,82
Reaplicación	17,2	17,4	16,0	16,9	16,4	16,8	16,8	

Medias por dosis	17,2 ^{NS}	18,2	16,4	16,9	16,7	17,2		
	Vainas de 3 granos (unidades)							
Aplicación	32,9	32,4	33,5	33,6	28,7	30,9	31,98 ^{ns}	8,80
Reaplicación	32,2	32,3	33,2	31,5	31,3	32,9	32,91	

Medias por dosis	32,6 ^{NS}	32,4	33,3	32,5	29,9	31,9		
	Vainas de 4 granos (unidades)							
Aplicación	0,02	0,12	0,00	0,04	0,06	0,02	0,04 ^{ns}	286,65
Reaplicación	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	

Medias por dosis	0,02 ^{NS}	0,07	0,00	0,02	0,03	0,00		
	Número total de granos (unidades)							
Aplicación	129,4	134,5	146,9	138,3	127,3	135,2	135,3 ^{ns}	8,29
Reaplicación	134,4	135,3	135,2	130,1	129,9	135,8	133,5	

Medias por dosis	131,9 ^{NS}	134,9	141,0	134,2	128,6	135,5		

NS, ns: no significativo a la probabilidad de error ($p < 0,05$). NS: comparación horizontal; ns: comparación vertical.

En la masa de mil granos, el peso hectolítrico y el rendimiento de granos en el cultivo de soja, la aplicación y reaplicación de dosis de yeso agrícola no mostraron significancia entre los diferentes tratamientos (Tabla 3).

El desempeño del rendimiento en todos los tratamientos fue elevado en relación con la media nacional que fue de 2.823 kg ha⁻¹ (CAPECO 2016) mientras que comparado con los trabajos de Nogueira y Melo (2003) cuando adicionaron hasta un máximo de 1.067 kg ha⁻¹ de yeso agrícola y Nascente y Carvalho (2016) aplicando anualmente 2.500 kg ha⁻¹ de Ca₂SO₄, obtuvieron un rendimiento de apenas 2.500 kg ha⁻¹.

Coincidentemente similares resultados fueron obtenidos en los trabajos realizados por (Osorio Filho et al. 2007) cuando realizó la reaplicación de 1/3 de la dosis integral de yeso en soja.

La escasa respuesta entre los tratamientos no mostró tendencia en aumento de rendimiento de granos en el momento de aplicación y en la reaplicación, lo que demuestra que el yeso no afectó en el cultivo de soja a pesar de que la planta absorbe grandes cantidades de S, no habiendo absorción del nutriente de las capas del subsuelo, aún cuando estas presentaron niveles de S mayor que de la capa superficial.

La ausencia de efectos a la adición de dosis de yeso podría estar relacionada a la reserva de S en el suelo, la cual estuvo relacionado con el elevado nivel de materia orgánica (42 %), que permitió la liberación de S a corto plazo siendo suficiente para suplir el requerimiento de la soja (Caires et al. 2003 y Joris et al. 2007) pudiendo alcanzar una relación de C:S de 7:1 a 9:1 (Rasche 2004).

Por otra parte, estos resultados indicarían que los efectos del yeso, pueden no ser inmediatos, pudiendo ser observados a largo plazo. En ese sentido Caires et al. (2011), luego de 3 años de aplicación superficial de SO₄⁻² verificaron aumento de productividad de la soja siendo igualmente observados por Souza y Lobato (2004) y Salvagiotti et al. (2004) luego de 5 años de aplicación.

Ernani et al. (2001) explican que esto ocurre cuando es aplicado en la superficie y la liberación del SO₄⁻² es lenta, la cual disminuye la lixiviación SO₄⁻² y

prolonga su efecto residual, que también dependerá del contenido inicial del S y el potencial de mineralización de la materia orgánica (Tysko y Rodríguez 2003), los cuales fueron altamente favorecidos por las características del área experimental y el sistema de manejo del suelo.

Otro factor que podría justificar la falta de respuesta es la aplicación de cal agrícola que probablemente favoreció la lixiviación vertical de SO_4^{-2} lo que ocasionó que la planta no haya aprovechado el S que se encontraba en la solución del suelo (Castro 2012) y que el aumento de pH de la camada superficial aumentó la actividad microbiana que permitió una alta tasa mineralización de residuos orgánicos (Roselem et al 2003).

Tabla 3. Masa de mil granos (MMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento de granos (RG) por efecto de dosis y momento a la adición de yeso. Minga Porá, 2015/2016.

Dosis	0	100	200	400	800	1.600	Medias por momento	CV (%)
	Masa de mil granos (g)							
Aplicación	151,8	150,4	149,6	147,4	149,7	152,4	150,2 ^{ns}	3,94
Reaplicación	149,5	153,9	152,1	147,6	150,2	149,5	150,5	

Medias por dosis	150,6 ^{NS}	152,2	150,8	147,2	149,9	15,97		
	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)							
Aplicación	64,3	65,4	65,4	64,5	64,4	64,7	64,8 ^{ns}	1,48
Reaplicación	65,1	65,3	64,9	65,6	65,0	64,7	65,1	

Medias por dosis	64,8 ^{NS}	65,3	65,2	65,1	64,7	64,7		
	Rendimiento de granos (kg ha ⁻¹)							
Aplicación	3.850	4.090	4.036	3.886	3.929	3.912	3.951 ^{ns}	7,38
Reaplicación	4.034	4.074	3.793	3.760	3.965	4.090	3.953	

Medias por dosis	3.942 ^{NS}	4.082	3.915	3.823	3.947	4.000		

NS, ns: no significativo a la probabilidad de error ($p < 0,05$). NS: comparación horizontal; ns: comparación vertical.

El tenor de S en granos no aumentó con la aplicación de diferentes dosis de S- SO_4^{-2} (Tabla 4). El contenido de S 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 %.

Resultados similares fueron observados por Sawyer y Barker (2002), Cicore et al. (2005) y Osório Filho et al. (2007), obteniendo concentraciones que variaron de 0,21 a 0,27; 0,26 a 0,28 y 0,28 % respectivamente

Aun cuando no presentaron efectos en función a las dosis aplicadas y reaplicadas, el tenor de S en los granos se encuentra dentro de la categoría normal siendo está la clase más alta, de acuerdo a ensayos realizados por Hitsuda et al. (2004).

Tabla 4. Nivel de S en granos (NSG) y la exportación de S en granos (ESG) por efecto de dosis y momento a la adición de yeso en soja. Minga Porá, 2016.

Dosis	0	100	200	400	800	1.600	Medias por momento	CV (%)
Tenor de S en granos (g kg⁻¹)								
Aplicación	2,27	2,30	2,22	2,46	2,27	2,36	2,32 ^{ns}	12,75
Reaplicación	2,27	2,30	2,30	2,30	2,34	2,62	2,35	

Medias por dosis	2,27 ^{NS}	2,30	2,26	2,35	2,31	2,49		
Exportación de S en granos (kg ha⁻¹)								
Aplicación	8,72	9,43	8,98	9,6	8,92	9,19	9,14 ^{ns}	14,39
Reaplicación	8,99	8,99	8,73	8,48	9,3	10,73	9,26	

Medias por dosis	8,85 ^{NS}	9,39	8,86	9,04	9,11	9,96		

NS, ns: no significativo a la probabilidad de error ($p < 0,05$). NS: comparación horizontal; ns: comparación vertical.

En cuanto a la media obtenida en la exportación fue de 9,20 kg ha⁻¹. Estos resultados a pesar de no interferir en la aplicación y reaplicación de diferentes dosis de yeso, indican que la soja es un cultivo exigente en S.

4.2 Efectos de la aplicación y reaplicación de dosis de yeso en el cultivo de maíz

La utilización de CaSO_4^{-2} como fuente de (S) no fue significativa por efecto de dosis y aplicación en el grosor del tallo. En cuanto a la interacción el grosor del maíz con probabilidad de error ($p < 0,0225$) produjo una mínima diferencia estadística (Tabla 6).

Tabla 5. Grosor de la planta (GP), altura de la planta (AP), altura de inserción de la espiga (AIE) y número de hojas (NH) por efecto de dosis y momento a la adición de yeso en maíz. Minga Porá, 2016.

Dosis	0	100	200	400	800	1.600	Medias por momento	CV (%)	
	Grosor del tallo (cm)								
Aplicación	20,7	21,3	20,3	22,2	20,9	21,1	21,1 ^{ns}	6,17	
Reaplicación	21,9	17,2	22,0	19,8	21,0	21,0	21,1		
----- Medias por dosis	21,3 ^{NS}	20,97	21,12	20,96	21,02	21,17			
	Altura de la planta (m)								
Aplicación	2,10	2,06	2,06	2,10	2,14	2,18	2,10 ^{ns}	3,86	
Reaplicación	2,18	2,18	2,12	2,18	2,08	2,16	2,15		
----- Medias por dosis	2,14 ^{NS}	2,09	2,12	2,09	2,15	2,19			
	Altura de inserción de la espiga (m)								
Aplicación	0,96	0,98	0,98	1,00	1,02	1,00	0,99 ^{ns}	8,95	
Reaplicación	0,98	1,02	1,00	0,92	1,06	1,00	0,99		
----- Medias por dosis	0,97 ^{NS}	1,00	0,99	0,96	1,04	1,00			
	Número de hojas (unidades)								
Aplicación	12,4	12,6	12,6	12,4	12,4	12,4	12,5 ^{ns}	4,13	
Reaplicación	13,0	12,6	12,4	12,4	12,8	12,4	12,6		
----- Medias por dosis	12,7 ^{NS}	12,6	12,5	12,4	12,6	12,4			

NS, ns: no significativo a la probabilidad de error ($p < 0,05$). NS: comparación horizontal, ns: comparación vertical.

Sin embargo, al realizar la comparación de medias, estas no presentaron letras diferentes, por lo que se ajustó a un análisis de covarianza, utilizando como covariable la altura de la planta (Anexo 15 y 16).

En la altura de la planta, la aplicación y reaplicación de yeso proporcionó el mismo comportamiento, siendo la media general de 2,13 m. Respuestas semejantes a la adición de S en la altura del maíz fueron observados por Quiñónez et al. (2015) estudiando el efecto residual de S, encontró una altura promedio de 1,88 m siendo inferior en la observada en el experimento.

En la altura de inserción de la espiga en estudios realizados por Mottin et al. (2016) la adición de yeso no influyó en la variable estudiada, al igual que los resultados obtenidos en el experimento.

En la cantidad de hojas por plantas de maíz tampoco fue afectada por la aplicación CaSO_4^{-2} como fuente de S. El número de hojas promedio varió entre 12 y 13 unidades aun cuando la planta superó más de 2 m de altura

La poca respuesta a la adición de yeso como fuente de S en los componentes de crecimiento, podría ser explicada por la poca redistribución del nutriente en la parte aérea ocurriendo la mayor acumulación de S en las raíces (Silva et al 2003).

La acción de yeso agrícola como fuente de (S) de acuerdo al análisis de varianza no ejerció influencia significativa en la longitud, diámetro y número de hileras de la espiga (Tabla 6).

La longitud de la espiga en el momento de la aplicación en relación al testigo sin la adición de yeso, cuando fueron aplicados 200 kg ha^{-1} aumentó en un 10,2 %, pudiéndose observar que en la reaplicación la parcela alcanzó una dosificación total de 400 kg ha^{-1} solo incremento en un 4,9 %, Resultados positivos tampoco fueron observados por Mottin et al. (2016).

En el diámetro y número de hilera también mostraron escasa variación entre los tratamientos, al igual (Soares 2016) no verificó respuestas en las mismas variables evaluadas.

Si en el suelo se encontraba bajos niveles de S ($< 5 \text{ mg dm}^{-3}$) la probabilidad de respuesta hubiera sido más alta en el maíz, ya que al no corresponder a un cultivo exigente los niveles de S ($7,02 \text{ mg dm}^{-3}$) fueron suficientes para la formación de la espiga.

Tabla 6. Longitud de la espiga (LE), diámetro de la espiga (DE) y número de hileras de la espiga (NHE) por efecto de dosis y momento a la adición de yeso en maíz. Minga Porá, 2016.

Dosis	0	100	200	400	800	1.600	Medias por momento	CV (%)
Longitud de la espiga (cm)								
Aplicación	16,5	17,1	18,2	16,5	16,9	16,5	16,9 ^{ns}	5,33
Reaplicación	17,2	17,3	18,0	16,80	17,6	16,7	17,3	
----- Medias por dosis	16,8 ^{NS}	17,2	18,1	16,7	17,3	16,6		
Diámetro de la espiga (cm)								
Aplicación	45,2	43,9	43,6	42,1	45,6	44,2	44,1 ^{ns}	4,13
Reaplicación	43,2	42,4	42,4	41,5	42,8	43,4	42,6	
----- Medias por dosis	44,2 ^{NS}	43,1	43,0	41,8	44,2	43,8		
Número de hileras (unidades)								
Aplicación	13,6	13,5	13,4	13,3	13,5	13,7	13,5 ^{ns}	3,6
Reaplicación	13,5	13,7	13,5	12,3	13,6	13,7	13,6	
----- Medias por dosis	13,6 ^{NS}	13,6	13,5	13,3	13,6	13,7		

NS, ns: no significativo a la probabilidad de error ($p < 0,05$). NS: comparación horizontal, ns: comparación vertical.

Los resultados obtenidos demostraron que no hubo diferencias significativas en la adición de dosis de yeso, no habiendo efecto de interacción en la masa de mil granos (Anexo 23)

El peso hectolítrico (Anexo 24) y el rendimiento (Anexo 26) no presentaron alteración por efecto de dosis y aplicación, pero si demostraron efectos en la interacción.

Sin embargo, por tratarse de promedios muy sensibles, no se detectaron diferencia entre las variables de estudio por lo que se realizó un ajuste mediante un análisis de covarianza (ANCOVA) utilizando como covariable el número de hileras para ambas variables evaluadas (Anexo 25 y 27).

En la tabla 7 son presentados los resultados obtenidos en la masa de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento de granos obtenidos a la aplicación y reaplicación de dosis de yeso.

Estos resultados se asemejan a los obtenidos por (Pagani et al. 2009) cuando evaluaron la productividad de granos de maíz en suelo arcilloso y (Quiñónez et al. 2015) con elevado nivel de materia orgánica no encontraron ninguna respuesta positiva a la adición de yeso agrícola, por lo que ambos ensayos presentaron las mismas condiciones de experimentación.

El maíz al ser un cultivo poco exigente en la nutrición de S, tal vez esa condición podría ser la razón a la falta de respuesta a la aplicación de diferentes dosis de yeso, demostrando que fue favorecida por el reciclaje de S.

Sin embargo las cosechas continuas sin la reposición de S en un período de tiempo tenderán a presentar problemas de deficiencia y más aún cuando el área experimental es caracterizada por cultivos extractivos en S.

En ensayos realizados por Lara Cabeza y Souza (2008) y Sorato et al. (2010), han comprobado que la probabilidad de respuesta en gramíneas en sus componentes de crecimiento y de productividad, es mayor cuando se realiza la aplicación conjunta de S con N en relación a las parcelas que solo son adicionadas fuentes de S, coincidiendo con los resultados obtenidos en el experimento cuando fueron aplicados y reaplicados diferentes dosis de yeso y comparado con otros autores cuando evaluaron el efecto de la fertilización azufrada Prystupa et al (2004) en maíz, Ahmad et al. (2005) en cebada y Cordone y Martínez (2002), Togay et al. (2008) en trigo tampoco observaron efectos positivos a la aplicación aislada de S.

Tabla 7. Masa de mil granos (MMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento de granos (RG) por efecto de dosis y momento a la adición de yeso en maíz. Minga Porá, 2016.

Dosis	0	100	200	400	800	1.600	Medias por momento	CV (%)
	Masa de mil granos (g)							
Aplicación	322,3	333,8	330,1	324,4	325,9	334,5	328,50 ^{NS}	4,45
Reaplicación	334,2	312,9	335,9	328,6	318,3	312,2	323,70	

Medias por dosis	328,3 ^{NS}	323,4	333,0	326,5	322,1	323,4		
	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)							
Aplicación	58,9	58,26	58,58	61,16	57,8	57,66	58,67 ^{NS}	3,86
Reaplicación	58,5	58,58	59,66	55,5	59,12	58,48	58,3	

Medias por dosis	58,5 ^{NS}	58,42	59,12	58,33	58,46	58,07		
	Rendimiento de granos (kg ha ⁻¹)							
Aplicación	6.235	6.562	5.038	6.521	6.935	6.378	6.274 ^{NS}	15,37
Reaplicación	6.182	6.303	6.894	5.729	6.044	5.709	6.148	

Medias por dosis	6.210 ^{NS}	6.444	5.938	6.081	6.497	6.094		

NS, ns: no significativo a la probabilidad de error ($p < 0,05$). NS: comparación horizontal, ns: comparación vertical.

La aplicación de diferentes dosis de yeso no afectó el tenor de S en granos y en la exportación de S (Tabla 8).

La media general del contenido de S fue de $0,90 \text{ g kg}^{-1}$ y de la exportación fue de $5,60 \text{ kg ha}^{-1}$. Similares resultados fueron obtenidos en el tenor de S por (Sawyer y Barker 2002 y Rheinheimer et al. 2005) variando entre¹ $0,12$ a $0,19 \%$ y $1,2$ a $1,7 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente.

Estos resultados explican que la redistribución del S en la parte aérea es mucho menor en relación a la soja, por lo que el nivel de S en granos del maíz fue baja y siendo así, la exportación de S por tonelada de granos producida también fue reducida.

Tabla 8. Nivel de S en granos (NSG) y exportación de S en granos (ESG), por efecto de dosis y momento a la adición de yeso en maíz zafriña. Porá, 2016.

Dosis	0	100	200	400	800	1.600	Medias por aplicación	CV (%)
	Tenor de S en granos (g kg^{-1})							
Aplicación	0,92	0,90	0,95	0,88	0,92	0,94	0,92 ^{NS}	9,7
Reaplicación	0,88	0,84	0,88	0,96	0,91	0,85	0,89	
Medias por dosis	0,90 ^{NS}	0,87	0,92	0,92	0,91	0,89		
	Exportación de S en granos (kg ha^{-1})							
Aplicación	5,77	5,84	4,78	5,73	6,31	6,04	5,75 ^{NS}	17,11
Reaplicación	8,72	9,43	8,98	9,6	8,92	9,19	5,44	
Medias por dosis	5,61 ^{NS}	5,6	5,48	5,53	5,91	5,44		

NS, ns: no significativo a la probabilidad de error ($p < 0,05$). NS: comparación horizontal, ns: comparación vertical.

4.3 Niveles de S disponible en el suelo

Antes de la aplicación de yeso el tenor de S ($7,19 \text{ mg dm}^{-3}$) se encontraba un poco por encima del nivel de suficiencia para los cultivos menos exigentes ($< 5 \text{ mg dm}^{-3}$) según CQFS-RS/SC (2004), considerando la ausencia de preparación de suelo y alto tenor de arcilla ($46 \% ^1$), estos factores podría atribuir al sistema una constante fuente natural de S (Yang 2007, Tiecher 2012,).

Luego de 21 meses de la aplicación y 9 meses de la reaplicación de dosis de yeso, fueron evaluados el contenido de S en las camadas de 0 – 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 m. El tenor de S en función a las diferentes dosis de yeso mostró efecto significativo, no así en el factor aplicación y en el efecto de interacción (Tabla 9).

Aun cuando hubo aumento por efecto de dosis en todas las camadas evaluadas igualmente no influyeron en la productividad de soja y maíz, mostrando que la reserva de S en el suelo fueron suficientes para el crecimiento y desarrollo de los cultivos evaluados, similares respuestas fueron observadas por Rasche et al. (2004b) Neis et al. (2010) y Broch et al. (2011) cuando aplicaron diferentes dosis de yeso y no verificaron efectos en el comportamiento de la planta.

Tabla 9. Nivel de S en el suelo en la camada de 0 – 0,10, 0,10 – 0,20 y 0,20 – 0,40 m por efecto de dosis y momento a la adición de yeso. Minga Porá, 2016.

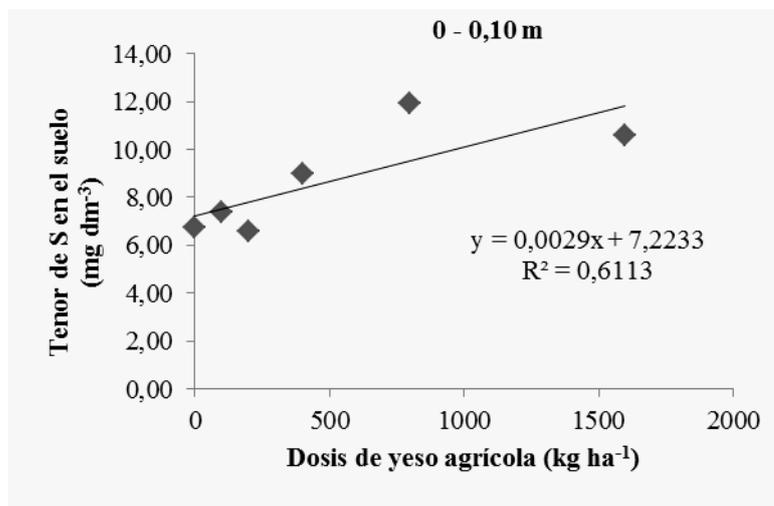
Dosis	0	100	200	400	800	1.600	Medias por aplicación	CV (%)
	Tenor de S en el suelo (mg dm ⁻³) Profundidad 0 - 0,10 (m)							
Aplicación	6,75	7,39	6,56	8,97	11,95	10,61	8,71 ^{NS}	45,9
Reaplicación	6,58	8,22	7,26	13,40	10,28	13,71	9,91	
----- Medias por dosis	6,67 ^A	7,81 ^A	6,91 ^A	11,19 ^B	11,12 ^B	12,16 ^B		
	Profundidad 0,10 - 0,20 (m)							
Aplicación	6,85	8,08	8,19	10,14	19,86	19,97 ^{NS}	12,18 ^{NS}	51,9
Reaplicación	7,70	8,54	9,19	12,37	14,92	19,88 ^{NS}	12,10	
----- Medias por dosis	7,28 ^A	8,31 ^A	8,69 ^A	11,26 ^A	17,39 ^B	19,93 ^B		
	Profundidad 0,20 - 0,40 (m)							
Aplicación	8,64	8,94	9,95	12,21	19,95	24,49	14,03 ^{NS}	48,7
Reaplicación	6,59	11,80	10,41	14,08	17,90	22,13	13,82	
----- Medias por dosis	7,62 ^A	10,37 ^A	10,18 ^A	13,15 ^B	18,93 ^B	23,31 ^{BC}		

NS, ns: no significativo a la probabilidad de error ($p < 0,05$). NS: comparación horizontal, ns: comparación vertical. Letras diferentes significativo a la probabilidad de error ($p < 0,05$).

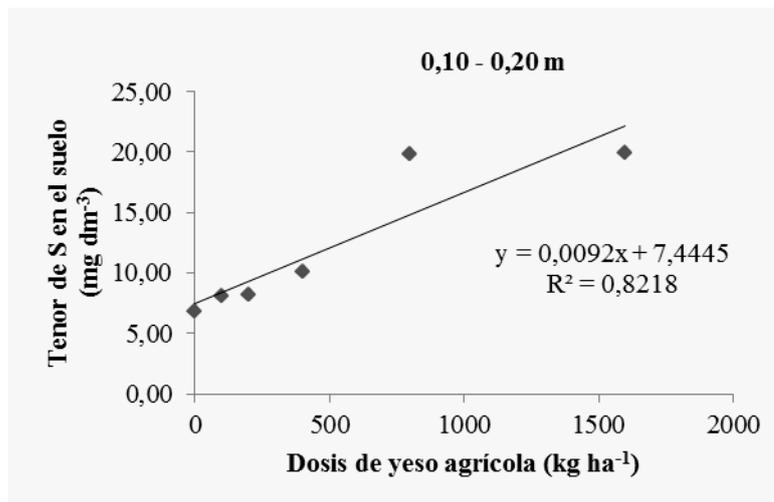
En las tres camadas evaluadas hubo aumento del tenor de S en función a las diferentes dosis de yeso que fueron aplicadas y reaplicadas coincidiendo con los experimentos realizados por Rampim et al (2011 y Moda et al. (2013).

En la figura 3 se observa el nivel de S en las tres camadas evaluadas por efecto de dosis en a la primera aplicación.

a)



b)



c)

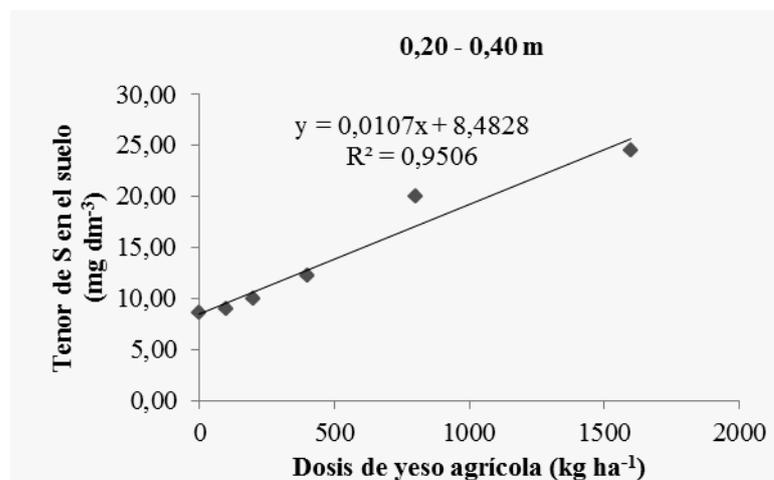


Figura 3. Nivel de S en función a las diferentes dosis de yeso agrícola en la camada de a) 0 - 0,10, b) 0,10 - 0,20 y c) 0,20 - 0,40 m.

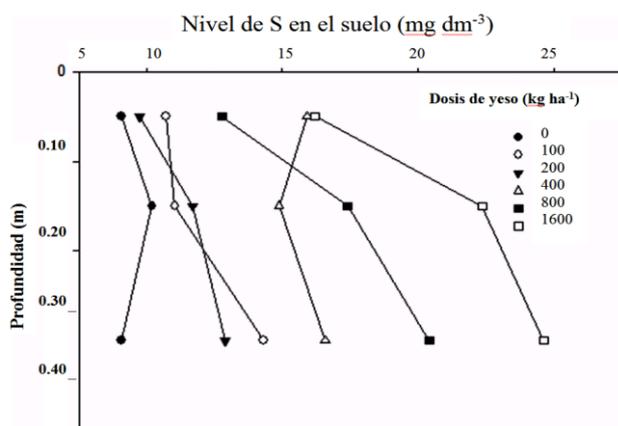
De acuerdo a la ecuación, para que el nivel de S en el suelo aumente 1 mg dm^{-3} en la camada de $0 - 0,10 \text{ m}$; $0,10 - 0,20 \text{ m}$ y $0,20 - 0,40 \text{ m}$ se debe adicionar 34, 108,6 y 93 kg ha^{-1} de yeso agrícola.

Los tenores de S en la camada de $0-0,10 \text{ m}$ variaron de 6,91 a $12,16 \text{ mg dm}^{-3}$ en relación al tratamiento testigo, en la camada de $0,10 - 0,20 \text{ m}$ la acumulación de S fue aumentando hasta $19,93 \text{ mg dm}^{-3}$ y ya en la camada de $0,20 - 0,40 \text{ m}$ cuando fueron adicionados 1.600 kg ha^{-1} de yeso alcanzó $23,31 \text{ mg dm}^{-3}$.

Aun cuando hubo aumento del tenor de S en las tres camadas, la camada de $0 - 0,10 \text{ m}$ no llegó al nivel de requerimiento para los cultivos exigentes debiendo ser $> 10 \text{ mg dm}^{-3}$ y en el caso de las gramíneas $< 5 \text{ mg dm}^{-3}$ CQFS-RS/SC (2004), razón que pudo haber sido la causa a la falta de respuesta en los cultivos estudiados.

Por otra parte en el tratamiento sin aplicación de yeso de la camada superficial se puede observar que el nivel de S no sufrió prácticamente ninguna disminución en el contenido de S que pudo haber sido consecuencia del cultivo antecesor que aportó biomasa residual.

a)



b)

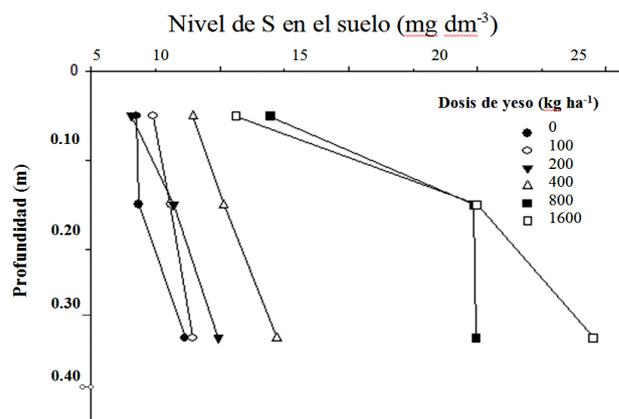


Figura 4. Nivel de S en función a la profundidad en a) aplicación y b) reaplicación

En las tres profundidades evaluadas tanto en la aplicación y reaplicación se verificaron aumentos de $S-SO_4^{-2}$. En la camada de 0 – 0,10 m la acumulación de S varió de 6,56 a 11,95 $mg\ dm^{-3}$, verificándose la mayor acumulación de S en la camada de 0,20 – 0,40 m tendiendo a ser más elevadas en profundidad a pesar de que no hubo diferencia entre las camadas (Figura 4).

Considerando la distribución de lluvias (Figura 2) durante el periodo del experimento y la alta solubilidad del yeso, pudo haber aumentado la velocidad de lixiviación del nutriente en el perfil del suelo mediante iones acompañantes (Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^{+}) disminuyendo así la disponibilidad del (S) para los cultivos y facilitando la pérdida del control en el proceso de absorción de SO_4^{-2} y la formación de un equilibrio dinámico entre la solución y la fase sólida del suelo (Nogueira y Melo 2003, Zambrosi et al. 2007).

Aun cuando existan grandes pérdidas por la alta la movilidad del SO_4^{-2} en razón a la adición de elevadas dosis de yeso, en el subsuelo disminuye la actividad del Al^{+3} , proporcionando un acondicionamiento temporal que contribuye a mejorar el desarrollo de las raíces (Zambrosi et al. 2007).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos en el estudio de la aplicación de dosis de yeso en un suelo arcilloso y manejado en sistema de sistema de siembra directa, permiten obtener las siguientes conclusiones:

- a) La aplicación y la reaplicación de dosis de yeso no provocaron aumentos en los parámetros de crecimiento y producción de la soja y maíz
- b) La aplicación de yeso no aumenta los tenores de S en los granos de maíz y soja
- c) Las exportaciones de S en granos de soja y maíz no son influenciadas por la aplicación y reaplicación de dosis de yeso.
- d) El tenor de S es influenciado por el factor dosis, aumentando los niveles de S en las tres camadas estudiadas, sin efecto residual y anual a la aplicación y reaplicación de dosis de yeso

5.2 Recomendación

Igualmente aunque la aplicación y reaplicación de yeso agrícola como fuente de S no mostró respuesta en los cultivos evaluados, merece atención para que en el tiempo no se vuelva limitante en los cultivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, A; Khan, I; Anjum, NA; Iram, D; Abdin, MZ; Iqbal, M (2005) Effect of Timing of Sulfur Fertilizer Application on Growth and Yield of Rapeseed. (en línea) Journal of Plant Nutrition, 28:6, 1049-1059.Consultado 10.oct.2016. Disponible en : <http://dx.doi.org/10.1081/PLN-200058905>
- Ahmad, A y Abdin, MZ. 2000. Effect of sulphur application on lipid, RNA and fatty acid content in developing seeds of rapeseed (*Brassica campestris* L.)(en línea). Plant Science 150: 70-76Consultado el 20.oct.2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945299001673>
- Alfaro, M; Bernier, R y Iraira, I. 2005. Efecto de Fuentes de Azufre Sobre el Rendimiento y Calidad de Trigo y Pradera en Dos Andisoles. Agricultura Técnica, Chile 3 (66):283-294
- Alves, ME. 2002. Atributos mineralógicos e electroquímicos: adsorção e dessorção de sulfatos em solos paulistas (Mestrado).(en línea). São Paulo, BR, Universidade de São Paulo. 169p.Consultado 30.ago.2015. Disponible en:<http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/Fertbio2004/Fs71.pdf>
- Amtmann, A y Armengaud, P. 2008. Effects of N, P, K and S on metabolism: new knowledge gained from multi-level analysis (en línea). Consultado 22.oct.2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526609000387>
- Anderson, GC; Fillery, IRP; Ripper, FH; Leach; BJ. 2006. Sulfur mineralization in coarse-textured soil after different sulfate fertilisation histories, and yield responses of wheat and Lupin. Australian. Journal of Soil Research 44: 165-174.
- Antalíková, G; Záková, M; Benedíková, D. 2008. Characterization of soybean traits variability by cluster analysis. (en línea). Consultado 20.sep.2016 Agriculture (Poľnohospodárstvo), 54(2):45-53. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=SK2008000257>
- Astolfi, S; Zuchi, S y Passera, C. 2004. Role of sulphur availability on cadmium-induced changes of nitrogen and sulphur metabolism in maize (*Zea mays* L.) leaves. (en línea). Journal of Plant Physiology. (161): 792-802. Consultado 20.oct.2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161704000100>

- Barczak, B; Majcherczak, E. 2008. Effect of varied fertilization with sulfur on selected spring barley yield structure components. *Journal of Central European Agriculture*, 4(9): 777-784
- Bissani, CA y Tedesco MJ. 1988. O enxofre no solo. In: XVII Reuniao Brasileira de fertilidade de solo, Anais-Londrina, PR.
- Bloem, E; Haneklaus, S; Salac,P; Wickenhauser, P y Schnug, E.2007. Facts and Fiction about Sulfur Metabolism in Relation to Plant-Pathogen Interactions. *Plant Biol.* 9: 596–607
- Broch, DL; Pavinato, PS, Possentti, JC; Martin, T; Del Quiqui, EM. 2011. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. *Revista Ciência Agronômica.*(3):791-796
- Buchner, P; Stuiver, E; Westerman, S; Wirtz, M; Hell, R; Hawskerford, M; De Kok, L. 2004. Regulation of sulfate uptake and expression of sulfate transporter genes in *Brassica oleracea* as affected by atmospheric H₂S and pedospheric sulfate nutrition. *Plant Physiology*. 136: 3396-3408.
- Calvo, NI; Echeverría, HI; Sainz rozas, H. 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. (en línea) *Cienc. Suelo* 1 (24): 1-11. Consultado el 28.sep.2016. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672006000100009
- Caires, E; Garbuio, F; Churka, S; Joris, H. 2011.Use of Gypsum for Crop Grain Production under a Subtropical No-Till Cropping System. *Agronomy Journal*, 103: 1804-1814
- Caires, E; Blum, J; Barth, G; Garbuijo, F; Kusman, M. 2003. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação no sistema de plantio direto. *R. Bras.Ci. Solo*(27): 275-286.
- Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas - CAPECO 2015. (en línea).Consultado3.ago.2015.Disponibleen:<http://www.tera.com.py/capeco/index.php?id=estadisticas>
- Çakir, R. 2014 Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research* 89(1):1-16. Consultado el20.oct.2016.Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429004000176>
- Castro, G. 2012. Atributos do solo decorrentes dos sistemas de produção e da aplicação superficial de corretivos. (Teses de Doutorado.) Botucatu, SP, UEP. 172 p
- Ceh, B; Hranstar, R; Tanjsek, J and Kosir, IJ. 2008. Impact of source and application time of sulphur on the yield, oil content and protein content in winter oilseed

- rape.(en línea). *Agriculturae Slováca*. (91): 5-14.Consultado 20.oct.2016. Disponible en: <http://search.proquest.com/openview/af93038b5dd83f050678cfe0c0a36303/1?pq-origsite=gscholar>
- Chiarotti, S; Pontini, C. 2000. Trigo: ensayo de fertilización azufrada. *Informaciones Agronómicas*, Buenos Aires 5: 15-17
- Cicore, PL; Sainz, HR; Echeverría, HE, Barbieri, PA. 2005. Respuesta del cultivo de soja al agregado de azufre en función de la disponibilidad hídrica y del sistema de labranza. (en línea). Consultado 30 sept. 2016. *R. Inv. Agr.* (34): 57-73. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Hernan_Echeverria/publication/237041561_Respuesta_del_cultivo_de_soja_al_agregado_de_azufre_en_funcin_de_la_disponibilidad_hdrica_y_del_sistema_de_labranza/links/004635304939019427000000.pdf
- Comissão de Química e FERTILIDADE do SOLO - RS/SC. 2004. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul. 404p
- Cordone, G y Martínez F. 2002. Efecto de la aplicación de Azufre y distintas dosis de Nitrógeno sobre el rendimiento del doble cultivo trigo/soja. Consultado 20.ago.2016. Disponible en: [projects.ppi-far.org/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/8E7767839314158103256BA4005849B6/\\$file/TRIGO-SOJAII+2000-01.Dosis+N.doc](http://projects.ppi-far.org/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/8E7767839314158103256BA4005849B6/$file/TRIGO-SOJAII+2000-01.Dosis+N.doc)
- Crusciol, CAC; Nascente, A; Mateus, GP; Borghi, LE. 2014. Intercropping soybean and palisade grass for enhanced land use efficiency and revenue in a no till system. *European Journal of Agronomy*, 58:53–62
- Crusciol, CAC; Soratto, RP; Silva, LM; Lemos, LB. 2006. Aplicação de enxofre em cobertura no feijoeiro em sistema de plantio direto. *Bragantia*, Campinas, 3(65): 459-465
- Cui, Y; Dong, Y; Li, Haifeng and Wang, Qingren. 2004. Effect of elemental sulphur on solubility of soil heavy metals and their uptake by maize. (en línea). *Environment International*. (30) 323-328. Consultado 22.oct.2016. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00182-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00182-X)
- Delfosse, T;Delmelle, P; Givron , C; Delvaux, C. 2005. Inorganic sulphate extraction from SO2-impacted Andosols. *EuropeanJournal of SoilScience*. (56): 127–133
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2011. Infostat versión 2008. Grupo Infostat. Univerdidad Nacional de Cordoba, AR. 336 p.
- Duggan, M ; Rodriguez, M; Lavado, R; Melgar, R. 2010. Eficiencia agronómica del azufre elemental relativa a una fuente azufrada soluble en trigo en la Región Pampeana.(en línea). *CI. SUELO (ARGENTINA)* 28(1): 67-77.Consultado

31.oct.2015. Disponible en:http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672010000100008&script=sci_arttext

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA 2003. Recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso Centro de Pesquisa Agropecuaria do Oeste Dourados, MS. 60p

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. 1992. Uso de gesso agrícola como insumo. EMBRAPA. 6p.

Ernani, PR; Ribeiro, MFS; Bayer, C. 2001. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. (em línea) Sci. agric., 58:825-831. Consultado 20.oct.2016. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162001000400026

Flæte, NES; Hollung, K; Ruud, L; Sogn, T; Færgestad, EM; Skarpeid, HJ; Magnus, EM and Uhlen, AK. 2005. Combined nitrogen and sulphur fertilisation and its effect on wheat quality and protein composition measured by SE-FPLC and proteomics. (en línea). Journal of Cereal Science. (41): 357-369. Consultado el 20.oct.2016. Disponible en:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521005000202?np=y>

Fatecha. DA; Rasche, JW; Leguizamon, CA; Gonzalez, AL; Lana, MC. 2015a. Aplicación de yeso agrícola y su efecto en la producción de soja em um oxisol de Alto Parana. In: I Congreso Paraguayo de Ciencia de Suelo. IV Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelo. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. P 72-74

Fatecha. DA; Rasche, JW; Leguizamon, CA; Gonzalez, AL; Lana, MC. 2015b. Respuesta a la aplicación de yeso agrícola en algunos parámetros de crecimiento y rendimiento en el cultivo de soja en sistema de siembra directa. In: I Congreso Paraguayo de Ciencia de Suelo. IV Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelo. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. P 75-77

Faria, CMB; Costa, ND; Faria; AF. 2003. Ação de calcário e gesso sobre características químicas do solo e na produtividade e qualidade do tomate e melão. (em línea). Horticultura Brasileira, Brasília, 4(21): 615-619. Consultado. 20.ago.2016. Disponible em: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v21n4/19423.pdf>

Fazli, IS; Abdin, MZ; Jamal, A; Ahmad, S. 2005. Interactive effect of sulphur and nitrogen on lipid accumulation, acetyl-CoA concentration and acetyl-CoA carboxylase activity in developing seeds of oilseed crops (*Brassicacampestris* L. and *Erucasativa* Mill.) (en línea). Consultado. 27.oct.2016. Planta Science, 1(168): 29-36. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945204003140>

- Federación de Cooperativas de Producción – FECOPROD. Agroclimate Fecoprod. (en línea). Consultado el 10.feb.2016. disponible en: <http://fecoprod.agroclimate.org>
- Ferraris, GN y Courerot, LA. 2004. Evaluación de dos formas alternativas de aplicación de sulfato de calcio pelletizado en soja. (en línea). Consultado. 28. ag. 2016. Revista de Tecnología Agropecuaria, (9): 34-36. Disponible en: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=bibunfa.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=008039>
- Fismes, J; Vong,PC; Guckerta, P; Frossard, E. 2000. Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. (en línea). European Journal of Agronomy, 12: 127-140. Consultado el 20.oct.2016. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030199000520>
- Flæte, NES; Hollung, K; Ruud, L; Sogn, T; Færgestad, EM; Skarpeid, HJ; Magnus, EM y Uhlen, AK. 2005. Combined nitrogen and sulphur fertilisation and its effect on wheat quality and protein composition measured by SE-FPLC and proteomics. (en línea). Journal of Cereal Science. (41): 357-369. Consultado 20.oct.2016. Disponible en:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521005000202?np=y>
- Garcia, FO; Fontanetto, H; Vivas, H. 2001. La fertilización del doble cultivo trigo soja. Informaciones Agronómicas, Buenos Aires: 10: 14-17.
- Grant, CA; Mahli, SS and Karamanos, RE. 2012. Sulfur management for rapeseed. (en línea). Journal of Cereal Science.(128): 119-128. Consultado 20.oct.2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429011004229>
- Gentiletti, A y Gutiérrez FH. 2004. Fertilización azufrada del cultivo de soja en el centro-sur de Santa Fe. Informaciones agronómicas. 24:1-9
- Gubiani, E; Tiecher, T; Rheinheimer, D; Bender, MA; Piccin, R; Bellinaso Júnior, R; Mallmann, FJ; Rasche, JW.2012. Deposição de enxofre atmosférico em Santa Maria-RS. Deposição de enxofre atmosférico em Santa Maria-RS. In: XV Simposio de Ensino, Pesquisa e Extensão SEPE. Santa Maria Anais Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão.
- Gutiérrez, FH; Prystupa, P; Ferraris, G. 2007. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. Journal of Plant Nutrition. 30: 93-104.
- Haneklaus, S; Bloem, E; Kok, LD; Yang, Z; Wang, S; Schnug, E. 2007. The potential of sulfur induced resistance against plant diseases of oilseed rape. (en línea). Conference: 12th Int. Rapeseed Congress, Wuhan, P.R. China, 26 –

- 30 Consultado 28.nov.2016. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/283622560_The_potential_of_sulfur_induced_resistance_against_plant_diseases_of_oilseed_rape
- Hitsuda, K; Sfredo, G; Klepker. 2004. Diagnosis of Sulfur Deficiency in Soybean using Seeds. (en línea). Consultado 20. Oct.2016. *Soil Science Journal* 4(68): 1445-1451. Disponible en: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/68/4/1445>
- Hug, S. 1996. In situ fourier transform infrared measurements of sulphate adsorption on hematite in aqueous solution. *Journal Soil Scienc.* (23):1-8
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2009. Enfoques y perspectiva (en línea). Consultado 30 ene. 2017. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-como_alcanzar_altos_rendimientos_.pdf
- Jackson, G. 2008. Effects of Nitrogen and Sulfur on Canola Yield and Nutrient Uptake. (en línea). *Agronomy Journal* 4 (92): 644-649. Consultado 22.oct.2016. Disponible en: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/92/4/644>
- Jarvan, M; Edesi, L; Adamson, A; Lukme, L; Akk, A. 2008 The effect of sulphur fertilization on yield, quality of protein and baking properties of winter wheat. (en línea). Consultado 16.oct.2016. *Agronomy Research*, v. 6, n. 2, p. 458-469. Disponible en: <http://agronomy.emu.ee/vol062/p6203.pdf>
- Joris, H; Caires, E; Churka, S; Pereira Filho, P; Zardo Filho, R. 2007. Alterações no solo e comportamento sucessão milho-trigo-soja em sistema de plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, (30):87-98.
- Klein, R.F. 2003. Experiencias en fertilización balanceada de trigo/soja en Alberti (Buenos Aires). (en línea). *Informaciones Agronómicas* 17: 1-6. Consultado 28.sep.2016. Disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/FertilizacionNitrogenadaAzufradaCebadaCervecera.pdf>
- Lara Cabezas, WAR y Souza, MA. 2008. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de uréia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, 2(32): 2331-2342.
- López, OL; Erico, EG; Llamas, PA; Molinas, AS; Franco, ES; Rios, EO. 1995. Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta ordenamiento territorial preliminar de la región oriental del Paraguay. (En línea). Consultado en 01/03/2015. Disponible en www.geologiadelparaguay.com
- Milléo, MBR y Doni Filho, D. 2001. Marcha de absorção de enxofre por plantas de canola. (en línea). *Scientia Agraria* 2: 25-30. Consultado. 22. oct. 2016. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2913204>

- Moda, LR; Borges, BMM; Flores, RA; Dos Santos, CLR; Prado, RM; Sousa, JI. 2013. Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica. (en línea). Revista Agro@mbiente On-line, 2(7):129-135. Consultado 6.dic.2016. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Bernardo_Borges2/publication/283785038_Gessagem_na_cultura_da_soja_no_sistema_de_plantio_direto_com_e_sem_adubacao_potassica/links/5654539e08aefe619b19d01c.pdf?origin=publication_list
- Mostafa, E. A. M.; Abdelkader, A. A. 2006. Sulfur fertilization effects on growth, yield and fruit quality of grand nain banana cultivar. Journal of Applied Science Research, 8(2): 470-476
- Mottin, MC; Seidel, EP; Dal Molin, JVF. 2016. Resposta da cultura do milho (*Zea mays*) a épocas de adubação NPK e doses de gesso. In: XX Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, Foz do Iguaçu – PR. p 39-41
- Mudibu, J; Nkongolo, KK; Kalonji-Mbuyi, A; Kisungu, RV. 2012. Morphovariability and agronomic characteristics of soybean accessions from the Democratic Republic of Congo (DR-Congo) gene pool (*Glycine max* (L.) Merrill). American Journal of Plant Sciences. (3): 331-337 Consultado. 16.sept. 2016. Disponible en: http://www.academicjournals.org/article/article1380009049_Mudibu%20et%20al.pdf
- Nascente, AS y Carvalho, MCS. 2016. Calcário e gesso afetando fertilidade do solo, nutrição e produtividade de grãos da soja. In: XX Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, Foz do Iguaçu – PR. p 53-55
- Nazhar, R; Noushina, I; Masood, A; Syeed, S and Khan, NA. 2011. Understanding the significance of sulfur in improving salinity tolerance in plants. (en línea). Environmental and Experimental Botany. (70):80-87. Consultado 20.oct.2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847210001905>
- Neis, L; Paulino, HB; De Souza, EM; Dos Reis, OF; Pinto, FA. 2010 Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. (en línea) Revista Brasileira de Ciência do Solo 34: 409-416. Consultado 02.ene.2017. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n2/v34n2a14.pdf>
- Nogueira, MA y Melo WJ. 2003. Enxofre disponível para a soja e atividade arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. (en línea). R. Bras. Ci. Sol. 27:655-663 Consultado 10.set.2015. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n4/a10v27n4>
- Novdin, SC; Driscoll, CT; Likens, GE. The effects of pH of surface adsorption y forets soil. Soil. Escience. 142:69-75
- Oliveira, RA; Silva, EAM; Matos Castañon, THF; Da Silva, TJA; Meneghetti, LAM. 2016. Crescimento e desenvolvimento inicial do trigo BRS 254 irrigado e

adubado com nitrogênio e enxofre. In: XX Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, Foz do Iguaçu – PR. p 105-106

Osório Filho, B; RheinheimerII, D; Da Silva, L; Kaminski, J; Dias, G. 2007. Deposição do enxofre atmosférico no solo pelas precipitações pluviais e respostas de culturas à adubação sulfatada em sistema plantio direto.(en línea). *Ciência Rural*, Santa Maria. 37(3):712-719. Consultado 10.set.2015. Disponible en:<http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n3/a17v37n3.pdf>

Osório Filho, BD; Rasche, JW;Rheinheimer, DS; Silva, LS. 2003.Disponibilidade de sulfato em solos decorrente da calagemIn: XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Ribeirão Preto

Pagani,A; Echeverría, HE; Rozas y HS. 2009. Respuestas a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes de la Provincia de Buenos Aires. (en línea) *Ciencia del suelo*, (27): 21-29. Consultado 22.oct.2016. Disponible en:<http://www.suels.org.ar/publicaciones/vol27n1/Pagani.pdf>

Paul, .KW; Kubicki, JD; Sparks, DL. 2007. Sulphate adsorption at the Fe-(hydroxide–H₂O interface: comparison of modft cluster and periodic dft models. *European journal of soil science*. 58: 978-986

Peak, D; Ford, R; Sparks, D. 1999. An in situ ATR-FTIR investigation of sulphate bonding mechanisms on goethite. *Journal Soil Scienc.* (22):1-11

Pepler S; Gooding, MJ; Ford, KE; Ellis, RH; Jones; SA. 2005. Delaying senescence of wheat with fungicides has interacting effects with cultivar on grain sulphur concentration but not with sulphur yield or nitrogen:sulphur ratios. (en línea). *European Journal of Agronomy* 22: 405-4016 Consultado 22.oct.2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030104000541>

Pereira, CS; De Fleitas, AA; Chapla, MV y Lange, A. 2016. Doses d potássio com a presença de enxofre na cultura da soja. (em línea). *Gl. ScI, Tecnol, Rio Verde*. (1): 22-31

Pozza, AAA; Curi N; Guilherme LRG, Marques JJGSM; Costa ETS; ZulianiDQ; Motta PEF; Martins RS; Oliveira, LCA. 2009. Adsorção e dessorção aniônicas individuais por gibbsita pedogenética. (en línea). *Química Nova*.32:99 Consultado 30.ago.2015. Disponible en:105.http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000103&pid=S0034-737X201300030001600021&lng=en

Prietzl, J; Thieme, J; Herre, A; Salomé, M; Eichert, D. 2008. Differentiation between adsorbed and precipitated sulphate in soils and at microsites of soil aggregates by sulphur K-edge Xanes. *Eur.J. Soil. Sci* (59): 730-743.

Quiñónez, LR, Fatecha, DA; Rasche, JW; Leguizamón, CA y Lana, MDC. 2015. Fertilización sulfatada y su efecto residual en el maíz zafríña en un Oxisol del Alto Parana. In: I Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo. IV Simposio

Paraguay de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. P 85-87.

Raij, B. 2008. Gesso na agricultura. IPNI International Plant Nutrition Institute (en línea). Consultado 3 oct.2015. Disponible en [https://www.ipni.net/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/\\$FILE/Page26-27-122.pdf](https://www.ipni.net/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/$FILE/Page26-27-122.pdf)

Raij, B. 2011. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piricaba, BR., IPNI 420p.

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.(en línea). R. Bras. Ci. Solo.35:1687-1698 Consultado 23.set.2015. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n5/a23v35n5.pdf>

Rasche, JW. 2004. Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul.(Dissertação de Mestrado).(en línea). Santa Maria, BR,UFSB. Consultado 30.ago.2015. Disponible en: 97p.<http://w3.ufsm.br/ppgcs/disserta%20E7%F5es%20e%20teses/DISERTAC%C3O%20JIMMY%20MESTRADO%20pdf.pdf>

Rasche, JW; Rheinheimer, D; Osorio Filho, B. 2004a. Recuperação e movimentação de sulfato em solos com diferentes teores de argila.(en línea).In: FERTBIO, Lages, SC, Br. Consultado 2.set.2015. Disponible en <http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/Fertbio2004/Fs71.pdf>

Rasche; JW; Rheinheimer; DS; Osório Filho, B.2004b. Resposta de culturas a aplicação de enxofre em ensaio em casa de vegetação.(en línea).In: FERTBIO, Lages, SC, Br. Consultado 2.set.2015. Disponible en <http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/Fertbio2004/Fs71.pdf>

Rausch, T y Wachter, A. 2005. Sulfur metabolism: a versatile platform for launching defence operations. (en línea). Trends Plant Science. 10: 503-509. Consultado el 20.oct.2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138505002001>

Rheinheimer, D; Rasche, JW; Da Silva, L; Osorio Filho, B. 2007. Resposta à aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica.(en línea). Ciência Rural, Santa Maria. 37(2): 363-371.Consultado 2.ago.2015. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n2/a11v37n2.pdf>

Rheinheimer, D; Rasche, JW; Osorio Filho, B; Da Silva, L; Bortoluzzi, E. 2005. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto.(en línea). Ciência Rural, Santa Maria. 35(3):562-569. Consultado 3.set.2015. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/%0D/cr/v35n3/a11v35n3.pdf>

- Rivetti, AR. 2007. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de Riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. (en línea) Córdoba, AR. Revista Científica, FCAUNC, (39): 29-39. Consultado 20.sept.2016. Disponible en: http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/1527/rivettiagrarias39-1.pdf
- Rosolem, CA; Calonego, JC; Foloni, JSS. 2005. Leaching of nitrate and ammonium from cover crop straws as affected by rainfall. Communications in Soil Science and Plant Analysis, Nova Iorque, (36): 819-831.
- Rouached' H; Secco, D; Bulak, A. 2009. Getting the most sulfate from soil: Regulation of sulfate uptake transporters in *Arabidopsis*, 166: 893-902.
- Salvagiotti, F; Castellarín, JM; Miralles, DJ; Pedrol' HM. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. (en línea). Field Crops Research 113: 170-177. Disponible en: <http://www.science-direct.com/science/article/pii/S0378429009001105>
- Salvagiotti, F y Miralles, DJ. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. European Journal. Of Agronomy 3 (28): 282-290.
- 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. Ciencia del Suelo 22(2): 1-10
- Sawyer, JE y Barker, DW. 2002. Sulfur application to corn and soybean crops in iowa. In: Integrated Crop Management Conference, Iowa State University, Ames, IA. P:1-12
- Scherer, HW. 2001. Sulphur in crop production. European journal of agronomy. 14:81-111.
- Schultz, N; Barbosa, ES; Rodrigues, GS; Pinheiro Junior, CR; Pinto, LA. 2016. Acúmulo de raízes de *Brachiaria decumbens* Com aplicação de calcário e gesso em superfície. In: XX Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, Foz do Iguaçu – PR. p 612-614.
- Serafim, ME; De Lima, JM; Lima, VMP; Zeviani, WM; Pssoni, PT. 2012. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. (em línea). Consultado 25.ago.2016. Bragantia, Campinas, 1(71).75-81. Disponible en: http://www.scielo.br/pdf/brag/2012nahead/aop_801_12.pdf
- Silva, DJ; Venegas, VHA; Ruiz, HA; Sant', RA. 2003. Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. Pesq. agropec. bras., Brasília. 38(6):715-721

- Smiles, DE. 2009. Quantifying carbon and sulphate loss in drained acid sulphate soils. *European Journal of Soil Science*. (60):64-70
- Soares, G. 2016. Gesso e fósforo na sucessão soja/milho safrinha. Tesis (Maestría). Jatáí, Goiás, Brasil. en línea). Universidade Federal de Goiás. Consultado 30.ago.2016.
Disponible:<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/6365/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Guilherme%20Filgueiras%20Soares%20-%202016.pdf>
- Soaud, AA; Al Darwish, FH; Saleh, ME; El-Tarabily, KA; Arizum, MS. y Rahman, MM. 2011. Effects of elemental sulfur, phosphorous micronutrients and *Paraccocus versutus* on nutrient availability of calcareous soils. *Australian Journal of Crop Science*. 5(5):554-561.
- Solomon, D; Lehmann, J; Lobe, I; Martinez, CE; Tveitnes, S; DU Preez, CC, Amelung, W. 2005. Sulphur speciation and biogeochemical cycling in long-term arable cropping of subtropical soils: evidence from wet-chemical reduction and SK-edge XANES spectroscopy. (56): 621–634
- Soratto, R y Crusciol, CA. 2008. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. (en línea). *R. Bras. Ci. Solo*, 32:675-688. Consultado 3.set.2015. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n2/22.pdf>
- Soratto, RP; Crusciol, CAC; Mello, 2010. FFC. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. *Bragantia*, Campinas, 4(69): 965-974
- Sousa, D. y Lobato, E. 2004. Correção da acidez do solo. In: *Correção do solo e adubação*. 2.ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, P.81-96.
- Souza, DMG; Rein, TA y Albrecht, TA. 2008. Resposta a gesso pela cultura de algodão cultivado em sistema de plantio direto em um Latossolo de Cerrado. In: IX Simpósio Nacional de Cerrado, Savanas Tropicais. P: 1-8
- Taiz, L., & Zieger, E. 2004. *Fisiologia vegetal*. EE UU, Universitat Jaume-i. 432p.
- Tedesco, MJ; Volkweiss, SJ; Bohnen, H; Gianello, C; Bissani, CA. 1995. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 215p.
- Tellec, T; Diquelou, S; Lemauiel, S; Cliquet, JB; Lesuffleur, F; Ourry, A. 2009. Nitrogen:sulphur ratio alters competition between *Trifolium repens* and *Lolium perenne* under cutting: production and competitive abilities. (en línea). Consultado 28.sep.2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030108000452>

- Tiecher, T; Rheinheimer, D; Rasche, JW; Brunetto, G; Mallmann, FJ; Piccin, R. 2012 Resposta de culturas e disponibilidade de enxofre em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetidos à adubação sulfatada.(en línea). *Bragantia*, Campinas. 71(4):518-527.Consultado 2.set.2015. Disponible en http://www.scielo.br/pdf/brag/v71n4/aop_1573_13.pdf
- Tiecher, T; Rheinheimer, D; Rasche, JW; Mallmann, FJ; Piccin, R; Brunetto, G. 2013. Respostas de culturas à adubação sulfatada e deposição de enxofre atmosférico.(en línea). *Rev. Ceres*, Viçosa. 60(3):420-427.Consultado 2.set.2015. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rceres/v60n3/16.pdf>
- Thomas, SG; Hocking, TJ and Bilsborrow, PE. 2003. Effect of sulphur fertilisation on the growth and metabolism of sugar beet grown on soils of differing sulphur status. (en línea). *Revista*. (83): 223-235. Consultado 22.oct.2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429003000753>
- Togay, Y; Togay,N ;Cig, F; Erman, M y Celen,AE. 2008. The effect of sulphur applications on nutrient composition, yield and some yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.). (en línea)*African Journal of Biotechnology*. (7):Consultado 20.oct.2016. Disponible en: <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/59267>
- Tysko, MN y Rodríguez, MB. 2006. Respuesta de trigo-soja en doble cultivo a la fertilización con azufre elemental pretratado. *Cienc. Suelo*, Buenos Aires,(2) 24: 1-8
- Vivas, HS; Albrecht, R; Hotián JL; Gastaldi, L. 2011. Residualidad del fósforo y del azufre. Buenos aires, argentina, INTA: 1-3
- Vong, PH; Nguyen, C and Guckert, A. 2007.Fertilizer sulphur uptake and transformations in soil as affected by plant species and soil type. (en línea). *European Journal of Agronomy*. (27): 35-43. Consultado el 20.oct.2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030107000068>
- Wadt, PG. 2000. Alterações eletroquímicas de um latossolo vermelho-amarelo tratado com carbonato e sulfato de cálcio. *Scientia Agricola*. 57(1):519-524
- Watanabe, SY. 2013. Aplicación de yeso y cal agrícola en la sucesión soja-trigo en siembradirecta en un ultisol. (tesis de posgrado). San Lorenzo,PY, Area de Suelos y Ordenamiento Territorial., CIA, FCA, UNA. 108p.
- Wieser, H; Gutser, R and Tucher, SV. 2004. Influence of sulphur fertilisation on quantities and proportions of gluten protein types in wheat flour. (en línea). *Journal of Cereal Science*. (40): 239-244. Consultado 20.oct.2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521004000748>

Yang, Z; Singh, BR and Hansen, S. 2007. Aggregate associated carbon, nitrogen and sulfur and their ratios in long-term fertilized soils. (en línea). Soil and Tillage Research. (95): 161-171. Consultado 22.oct.2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198707000025>

ZambrosiI, FCB; Alleoni, LRF; Caires., EF. 2007. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. Ciência Rural. 37(1):110-117

Zhao F.J., S. Fortune, V.L. Barbosa, S.P. McGrath, R. Stobart, P.E. Bilsborrow, E.J. Booth, A. Brown y P.Robson. 2006. Effects of sulphur on yield and malting quality of barley. J. Cereal Sci. 43: 369–377.

ANEXOS

Anexo 1. Precipitación pluviométrica, temperatura media, máxima y mínima mensual desde el período de septiembre 2015 hasta junio de 2016.

Precipitación (mm)	Temperatura Media	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima
81,9	22,8	16,5	31,8
65,2	24,5	19,3	29,7
245,6	23,6	19,5	31,2
271,8	26,5	21,9	33,2
70,0	26,7	22,1	33,9
11,2	23,7	18,6	30,5
140,7	17,1	13,3	29,4
136,1	22,0	16,2	30,9
140,1	22,8	16,5	31,8
131,9	24,5	19,3	29,7

Anexo 2. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de la soja

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	298,221	74,555	1,2207	0,4257
Dosis Factor A	5	37,331	7,466	0,9195	
Error (a)	20	162,405	8,120		
Aplicación Factor B	1	2,948	2,948	0,0483	
Error (b)	4	244,304	61,076		
Dosis * Aplicación	5	30,007	6,001	0,4071	
Error (c)	20	294,886	14,743		
Total	59	1070,82			
CV (%)			1,48		

Anexo 3. Análisis de varianza de la variable número de inserción de la soja

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	21,776	5,442	0,7598	
Dosis Factor A	5	26,337	5,267	0,5182	
Error (a)	20	203,296	10,165		
Aplicación Factor B	1	0,096	0,096	0,0134	
Error (b)	4	28,647	7,162		
Dosis * Aplicación	5	11,228	2,246	0,4131	
Error (c)	20	108,719	5,436		
Total	59	400,089			
CV (%)			8,60		

Anexo 4. Análisis de varianza de la variable número de vainas de la soja

FV	gl	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)			
		SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	1963,402	490,850	1,3649	0,3852
Dosis Factor A	5	79,331	15,866	1,2845	
Error (a)	20	247,044	12,352		
Aplicación Factor B	1	1438,498	291,721	0,8112	0,3095
Error (b)	4	28,647	354,624		
Dosis * Aplicación	5	23,147	4,639	0,2686	
Error (c)	20	346,988	17,349		
Total	59	4390,132			
CV (%)				8,28	

Anexo 5. Análisis de varianza de la variable vainas de 1 grano de la soja

FV	gl	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)			
		SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	0,498	0,125	1,0013	0,4995
Dosis Factor A	5	0,447	0,089	1,0861	0,3981
Error (a)	20	1,646	0,082		
Aplicación Factor B	1	0,008	0,008	0,0656	
Error (b)	4	0,498	0,124		
Dosis * Aplicación	5	1,111	0,222	0,6460	
Error (c)	20	6,878	0,344		
Total	59	11,086			
CV (%)				16,80	

Anexo 6. Análisis de varianza de la variable vainas de 2 granos de la soja

FV	gl	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)			
		SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	26,169	6,542	1,8507	0,2828
Dosis Factor A	5	17,627	3,525	1,8859	
Error (a)	20	31,926	4,185		
Aplicación Factor B	1	83,693	3,535	0,8425	0,2426
Error (b)	4	6,667	4,185		
Dosis * Aplicación	5	14,140	0,677	0,1055	
Error (c)	20	3,385	6,418		
Total	59	280,039			
CV (%)				14,82	

Anexo 7. Análisis de varianza de la variable vainas de 3 granos de la soja

FV	gl	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)			
		SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	40,218	10,055	0,7142	
Dosis Factor A	5	6,979	12,796	1,7089	0,1786
Error (a)	20	149,756	7,488		
Aplicación Factor B	1	0,726	0,726	0,0516	
Error (b)	4	56,312	14,087		
Dosis * Aplicación	5	38,714	7,743	0,9700	
Error (c)	20	159,638	7,982		
Total	59	509,343			
CV (%)			8,80		

Anexo 8. Análisis de varianza de la variable vainas de 4 granos de la soja

FV	gl	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)			
		SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	0,077	0,019	4,1971	0,0125
Dosis Factor A	5	0,030	0,006	1,2920	0,3066
Error (a)	20	0,091	0,005		
Aplicación Factor B	1	0,020	0,020	1,0000	
Error (b)	4	0,081	0,020		
Dosis * Aplicación	5	0,019	0,004	0,6532	
Error (c)	20	0,115	0,006		
Total	59	0,433			
CV (%)			303,75		

Anexo 9. Análisis de varianza de la variable número total de vainas de la soja

FV	gl	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)			
		SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	786,040	196,510	1,5785	
Dosis Factor A	5	851,321	170,264	1,6280	
Error (a)	20	2091,649	104,582		
Aplicación Factor B	1	48,600	48,600	0,3904	
Error (b)	4	497,980	124,495		
Dosis * Aplicación	5	542,866	108,573	0,8757	
Error (c)	20	2479,564	123,978		
Total	59	7298,020			
CV (%)			8,29		

Anexo 10. Análisis de varianza de la variable masa de 1.000 granos de la soja

FV	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)				
	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	395,037	98,759	4,8004	0,0789
Dosis Factor A	5	121,801	24,360	0,4298	
Error (a)	20	1133,428	56,671		
Aplicación Factor B	1	1,040	1,040	0,0506	
Error (b)	4	20,573	20,573		
Dosis * Aplicación	5	80,429	16,086	0,4594	
Error (c)	20	700,354	35,018		
Total	59	2514,381			
CV (%)				3,94	

Anexo 11. Análisis de la varianza de la variable peso de hectolítrico de la soja

FV	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)				
	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	4,126	1,031	0,3048	
Dosis Factor A	5	3,530	0,771	0,4827	
Error (a)	20	31,926	1,596		
Aplicación Factor B	1	1,380	0,408	0,4079	
Error (b)	4	13,536	1,384		
Dosis * Aplicación	5	3,853	0,771	0,4332	
Error (c)	20	18,452	0,923		
Total	59	77,970			
CV (%)				4,74	

Anexo 12. Análisis de varianza de la variable rendimiento de la soja

FV	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)				
	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	108702,067	27175,517	0,7417	
Dosis Factor A	5	374620,621	74924,124	0,6465	
Error (a)	20	2318013,733	115900,687		
Aplicación Factor B	1	55,104	55,104	0,0015	
Error (b)	4	146567,333	36641,833		
Dosis * Aplicación	5	354265,021	70853,004	0,8333	
Error (c)	20	1700621,667	85031,083		
Total	59	77,970			
CV (%)				7,38	

Anexo 13. Análisis de varianza de la variable nivel de S en granos de la soja

FV	gl	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)			
		SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	0,223	0,056	0,8495	
Dosis Factor A	5	0,374	0,075	1,4405	0,3718
Error (a)	20	1,312	0,066		
Aplicación Factor B	1	0,015	0,015	0,1355	
Error (b)	4	0,405	0,109		
Dosis * Aplicación	5	0,300	0,060	0,6794	
Error (c)	20	1,765	0,088		
Total	59	4,423			
CV (%)			12,75		

Anexo 14. Análisis de varianza de exportación de S de los granos de la soja

FV	gl	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)			
		SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	2,165	0,541	0,2908	
Dosis Factor A	5	8,877	1,775	0,9537	
Error (a)	20	37,229	1,861		
Aplicación Factor B	1	0,222	0,222	0,0831	
Error (b)	4	10,687	2,672		
Dosis * Aplicación	5	9,511	1,902	1,0855	0,3948
Error (c)	20	35,048	1,752		
Total	59	103,740			
CV (%)			4,74		

Anexo 15. Análisis de varianza de la variable grosor del tallo del maíz

FV	gl	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)			
		SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	12,387	3,097	0,3945	
Dosis Factor A	5	0,963	0,193	0,1226	
Error (a)	20	31,473	1,572		
Aplicación Factor B	1	0,081	0,081	0,0103	
Error (b)	4	7,851	7,851		
Dosis * Aplicación	5	28,593	5,719	3,3725	0,0227
Error (c)	20	33,913	1,696		
Total	59	138,777			
CV (%)			6,17		

Anexo 16. Análisis de covarianza de la variable grosor del tallo del maíz

FV	Cuadro de Análisis de la Covarianza (SC tipo III)				
	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	21,546	5,387	0,6220	
Dosis Factor A	5	27,109	5,421	0,6300	
Error (a)	20	172,083	8,604		
Aplicación Factor B	1	4,278	4,278	0,7475	
Error (b)	4	22,893	5,723		
Dosis * Aplicación	5	59,073	11,957	1,5207	0,234
Covariable	20	0,285	0,285	0,0363	
Error (c)	59	149,392	7,863		
CV (%)			13,48		

Anexo 17. Análisis de varianza de la variable altura de la planta del maíz

FV	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)				
	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	0,193	0,048	6,2826	0,514
Dosis Factor A	5	0,074	0,015	1,4149	0,2619
Error (a)	20	0,209	0,010		
Aplicación Factor B	1	0,033	0,033	4,2109	
Error (b)	4	0,031	0,008		
Dosis * Aplicación	5	0,031	0,006	0,9261	0,1079
Error (c)	20	0,135	0,007		
Total	59	0,706			
CV (%)			3,86		

Anexo 18. Análisis de varianza de la altura de inserción de la planta del maíz

FV	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)				
	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	0,077	0,019	0,6667	0,0514
Dosis Factor A	5	0,039	0,008	1,9504	
Error (a)	20	0,081	0,004		
Aplicación Factor B	1	0,001	0,001	0,0230	0,1306
Error (b)	4	0,116	0,029		
Dosis * Aplicación	5	0,025	0,005	0,6410	0,1079
Error (c)	20	0,158	0,008		
Total	59	0,497			
CV (%)			8,95		

Anexo 19. Análisis del número de hojas de la planta del maíz

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	6,433	1,608	2,8806	0,1650
Dosis Factor A	5	0,733	0,147	0,4335	
Error (a)	20	6,767	0,338		
Aplicación Factor B	1	0,267	0,267	0,4776	
Error (b)	4	2,233	0,558		
Dosis * Aplicación	5	1,133	0,227	0,8447	
Error (c)	20	5,367	0,268		
Total	59	22,933			
CV (%)				4,13	

Anexo 20. Análisis de varianza de la longitud de la espiga del maíz

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	3,481	0,870	0,4992	
Dosis Factor A	5	15,507	3,101	1,0900	0,3962
Error (a)	20	56,907	2,845		
Aplicación Factor B	1	1,261	1,261	0,7237	
Error (b)	4	6,973	1,743		
Dosis * Aplicación	5	1,322	0,264	0,3173	
Error (c)	20	16,659	0,833		
Total	59	102,110			
CV (%)				5,33	

Anexo 21. Análisis de varianza del diámetro de la espiga del maíz

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	5,777	1,444	0,8837	
Dosis Factor A	5	39,217	7,843	1,9501	0,1306
Error (a)	20	80,441	4,022		
Aplicación Factor B	1	36,973	36,973	22,6230	
Error (b)	4	6,537	1,634		
Dosis * Aplicación	5	6,911	1,382	0,2177	0,0809
Error (c)	20	127,013	6,351		
Total	59	302,870			
CV (%)				6,76	

Anexo 22. Análisis de varianza del número de hileras de la espiga del maíz

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	2,381	0,595	1,3066	0,4009
Dosis Factor A	5	0,867	0,173	0,5168	
Error (a)	20	0,709	0,33		
Aplicación Factor B	1	0,060	0,060	0,1321	
Error (b)	4	1,822	0,456		
Dosis * Aplicación	5	0,103	0,021	0,0868	
Error (c)	20	4,740	0,237		
Total	59	16,682			
CV (%)				3,60	

Anexo 23. Análisis de varianza de la masa de 1.000 granos del maíz

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	277,614	69,404	0,1816	
Dosis Factor A	5	835,847	167,169	0,6718	
Error (a)	20	4976,758	248,838		
Aplicación Factor B	1	345,600	345,600	0,9043	
Error (b)	4	1528,719	1382,180		
Dosis * Aplicación	5	2615,036	523,007	2,4820	0,0664
Error (c)	20	4214,406	210,720		
Total	59	14793,980			
CV (%)				4,45	

Anexo 24. Análisis de varianza del peso hectolítrico del maíz

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	41,154	10,289	1,2485	0,4175
Dosis Factor A	5	6,055	1,211	0,1465	
Error (a)	20	165,280	8,264		
Aplicación Factor B	1	2,091	2,091	0,2537	
Error (b)	4	32,964	8,241		
Dosis * Aplicación	5	87,243	17,449	3,4273	0,0213
Error (c)	20	101,822	5,091		
Total	59	436,609			
CV (%)				4,45	

Anexo 25. Análisis de covarianza del peso hectolítrico del maíz

Cuadro de Análisis de la Covarianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	42,934	10,734	1,3445	0,2883
Dosis Factor A	5	7,366	1,473	0,1845	
Error (a)	20	159,669	7,983		
Aplicación Factor B	1	2,965	2,965	0,5813	
Error (b)	4	20,401	5,100		
Dosis * Aplicación	5	82,760	16,522	3,1149	0,0566
Covariable	20	1,231	1,231	0,2317	
Error (c)	59	100,961	5,314		
CV (%)			4,45		

Anexo 26. Análisis de varianza del rendimiento del maíz

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	11197204,996	2799301,249	3,9116	0,1075
Dosis Factor A	5	2414791,354	482958,271	0,4467	
Error (a)	20	21624666,165	1081233,308		
Aplicación Factor B	1	234499,986	234499,986	0,3277	
Error (b)	4	2862536,698	715634,175		
Dosis * Aplicación	5	13537385,401	2707477,080	2,9707	0,0365
Error (c)	20	18228120,577	911406,029		
Total	59	14793,980			
CV (%)			15,37		

Anexo 27. Análisis de covarianza del rendimiento del maíz

Cuadro de Análisis de la Covarianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	10378162,101	2594540,525	2,4928	0,0758
Dosis Factor A	5	271309,153	271309,153	0,4252	
Error (a)	20	3214644,359	803661,090		
Aplicación Factor B	1	2212972,535	442594,507	0,3376	
Error (b)	4	20815982,116	1040799,106		
Dosis * Aplicación	5	13118710,590	2623742,118	2,7982	0,0504
Covariable	20	409294,060	409294,060	0,4365	
Error (c)	59	17815330,940	37648,997		
CV (%)			15,59		

Anexo 28. Análisis de varianza del nivel de S en granos del maíz

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	17,867	4,467	3,1364	0,0373
Dosis Factor A	5	1,376	0,275	0,1932	0,2956
Error (a)	20	28,483	1,424		
Aplicación Factor B	1	1,380	1,380	1,4453	
Error (b)	4	3,820	0,955		
Dosis * Aplicación	5	10,104	2,021	2,2057	0,0941
Error (c)	20	18,323	0,916		
Total	59	81,352			
CV (%)				17,11	

Anexo 29. Análisis de varianza de la exportación de S en granos del maíz

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	0,304	0,076	5,5509	0,0036
Dosis Factor A	5	0,019	0,004	0,2717	
Error (a)	20	0,273	0,014		
Aplicación Factor B	1	0,016	0,016	1,3813	0,3051
Error (b)	4	0,045	0,011		
Dosis * Aplicación	5	0,044	0,009	1,1421	0,3711
Error (c)	20	0,153	0,008		
Total	59	0,854			
CV (%)				9,70	

Anexo 30. Análisis de varianza del nivel de S en el suelo en la camada de 0-10 cm

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	59,204	14,801	0,9768	
Dosis Factor A	5	296,042	59,289	3,9074	0,0124
Error (a)	20	303,058	15,153		
Aplicación Factor B	1	21,576	21,576	14,5302	0,1008
Error (b)	4	5,940	1,485		
Dosis * Aplicación	5	61,668	12,334	0,6764	
Error (c)	20	364,168	18,208		
Total	59	1111,656			
CV (%)				45,91	

Anexo 31. Análisis de varianza del nivel de S en el suelo en la camada de 10-20 cm

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	623,063	155,766	2,5329	
Dosis Factor A	5	1368,464	273,693	4,4506	0,0069
Error (a)	20	1129,918	61,496		
Aplicación Factor B	1	0,410	0,410	0,0117	
Error (b)	4	139,736	34,934		
Dosis * Aplicación	5	93,666	18,733	0,4734	
Error (c)	20	791,405	39,570		
Total	59	4246,662			
CV (%)			51,99		

Anexo 32. Análisis de varianza del nivel de S en el suelo en la camada de 20-40 cm

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	1343,465	335,866	5,3369	
Dosis Factor A	5	1792,105	358,421	5,6953	0,0020
Error (a)	20	1258,652	62,933		
Aplicación Factor B	1	0,908	0,908	0,0084	
Error (b)	4	433,297	108,324		
Dosis * Aplicación	5	65,803	13,161	0,2887	
Error (c)	20	911,756	45,568		
Total	59	5805,985			
CV (%)			48,58		

Anexo 33. Análisis de varianza del nivel de S en el suelo en la aplicación

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	1387,990	346,997	3,5981	0,0929
Dosis Factor A	5	1796,380	359,276	3,7255	0,1152
Error (a)	20	1928,761	96,438		
Aplicación Factor B	2	438,464	219,232	2,5819	0,1364
Error (b)	8	679,300	84,913		
Dosis * Profundidad	10	346,564	34,656	1,6048	0,1405
Error (c)	40	863,812	21,595		
Total	89	7441,270			
CV (%)			39,92		

Anexo 34. Análisis de varianza del nivel de S en el suelo en la reaplicación

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Bloque	4	335,993	83,998	1,2709	0,3146
Dosis Factor A	5	1367,512	273,502	4,1382	0,0596
Error (a)	20	1321,832	66,092		
Aplicación Factor B	2	232,337	116,169	4,4146	0,0511
Error (b)	8	210,519	26,315		
Dosis * Aplicación	10	185,054	18,505	1,0194	0,4448
Error (c)	40	726,140	18,154		
Total	89	4379,338			
CV (%)			35,69		