

**APLICACIÓN DE DIFERENTES FUENTES Y DOSIS DE FERTILIZANTES
FOSFATADOS EN EL CULTIVO DE SOJA EN UN OXISOL**

ALFREDO JESÚS ROJAS OZUNA

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Magister en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial. Dirección de Postgrado.

SAN LORENZO – PARAGUAY

Abril – 2013

**APLICACIÓN DE DIFERENTES FUENTES Y DOSIS DE FERTILIZANTES
FOSFATADOS EN EL CULTIVO DE SOJA EN UN OXISOL**

ALFREDO JESÚS ROJAS OZUNA

Orientador: Prof. Ing. Agr. (DSc.) **CARLOS ANDRÉS LEGUIZAMÓN ROJAS**

Co-Orientadores: Prof. Ing. Agr. (MSc.) **DIEGO AUGUSTO FATECHA FOIS**

Ing. Agr. (DSc.) **ANDRE VINICIUS ZABINI**

Prof. Ing. Agr. (MSc.) **MARIA DEL PILAR GALEANO S.**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Magister en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial. Dirección de Postgrado.

SAN LORENZO – PARAGUAY

Abril – 2013

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Maestría en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial

**APLICACIÓN DE DIFERENTES FUENTES Y DOSIS DE FERTILIZANTES
FOSFATADOS EN EL CULTIVO DE SOJA EN UN OXISOL**

Esta tesis fue aprobada por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar
por el grado de Magister en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial, otorgado
por la Facultad de Ciencias Agrarias/UNA

Autor: Alfredo Jesús Rojas Ozuna

Orientador: Prof. Ing. Agr. (DSc.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas

Miembros de la Mesa Examinadora:

Prof. Ing. Agr. (MSc.) Diego Augusto Fatecha Fois.....

Prof. Ing. Agr. (PhD.) Héctor Javier Causarano Medina.....

Prof. Ing. Agr. (MSc.) María del Pilar Galeano Samaniego.....

San Lorenzo-Paraguay, 3 de abril de 2013

DEDICO

A Maura Catalina, quien dió todo por mí
A Katiana, compañera de vida, amiga y sostén

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen María, por las bendiciones recibidas.

A los Profesores, Carlos Leguizamón, Pilar Galeano, Diego Fatecha, Héctor Causarano, Luis Maldonado, Ulises Riveros y al Ing. Agr. Andre Zabini, por la orientación, el apoyo y la confianza para la realización de la Tesis; y a los Profesores del Curso de Maestría, por las enseñanzas, comprensión y momentos vividos.

Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), por la beca y por todo el apoyo brindado para la realización del Curso de Maestría.

A la Empresa Timac Agro Paraguay, del Grupo Roullier, y a todos sus funcionarios, por la gran colaboración para la realización del trabajo de Tesis.

A la Facultad de Ciencias Agrarias y en especial al Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, a sus docentes y personal administrativo, por la ayuda, comprensión e incansable espíritu de cooperación durante la realización de la Maestría y el trabajo de Tesis.

A mi madre, Maura Catalina; mis hermanos, Romilio y Sady; familiares y amigos por la comprensión y el apoyo brindado durante estos años de estudio.

A Katiana Graciela, compañera de vida, amiga incondicional y sostén en todos los momentos de la vida.

A mis compañeros y compañeras del curso de Maestría, por la ayuda, la comprensión y la amistad brindada durante estos años de estudio.

A todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron para la realización de mis estudios e hicieron posible que hoy pueda decir misión cumplida.

APLICACIÓN DE DIFERENTES FUENTES Y DOSIS DE FERTILIZANTES FOSFATADOS EN EL CULTIVO DE SOJA EN UN OXISOL

Autor: ALFREDO JESÚS ROJAS OZUNA

Orientador: Prof. Ing. Agr. (DSc.) CARLOS ANDRÉS LEGUIZAMÓN ROJAS

Co-Orientadores: Prof. Ing. Agr. (MSc.) DIEGO AUGUSTO FATECHA FOIS

Ing. Agr. (DSc.) ANDRE VINICIUS ZABINI

Prof. Ing. Agr. (MSc.) MARÍA DEL PILAR GALEANO S.

RESUMEN

La disminución de la fijación del fósforo es un desafío en la fertilización fosfatada. El desarrollo de fertilizantes fosfatados diferenciados que limiten este proceso es una alternativa para aumentar la eficiencia de esta práctica. En el Centro de Investigación y Desarrollo del Grupo Roullier, situado en la ciudad de Minga Guazú, sobre un Oxisol manejado en el sistema de siembra directa, se instaló un ensayo cuyo objetivo fue evaluar los efectos de diferentes fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados sobre la producción de soja. El experimento constó de 13 tratamientos y ocho repeticiones, con un arreglo espacial en bloques completos al azar. Las fuentes de fósforo fueron super fosfato simple, TOP PHOS y super fosfato triple, las dosis de P_2O_5 con cada fertilizante fueron 30, 60, 90 y 120 $kg\ ha^{-1}$, también se estableció un testigo sin aplicación de P_2O_5 . Se evaluaron caracteres de crecimiento (altura de plantas, número de nudos, diámetro del tallo y masa seca aérea) en los estadios V5 y R1, así como parámetros de rendimiento (cantidad de plantas del área útil, número de vainas y peso de mil semillas) y la producción total de granos. Además, se evaluó la concentración de fósforo en el suelo posterior a la cosecha de la soja utilizando Mehlich 1 como solución extractora. Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza según un diseño anidado para comparar las fuentes y también fueron analizadas las respuestas a las dosis de P_2O_5 de cada fuente. Los análisis fueron realizados con el programa estadístico Infostat. No se encontraron diferencias significativas entre fuentes de fósforo en cuanto a los parámetros de crecimiento, caracteres de rendimiento y en la producción de granos. La producción media de granos en $kg\ ha^{-1}$ fue de 1.519, 1.515 y 1.498 para las fuentes super fosfato simple, TOP PHOS y super fosfato triple respectivamente. Se encontraron diferencias significativas en la producción de granos con la aplicación de diferentes dosis de P_2O_5 dentro de cada una de las fuentes. No se encontraron diferencias significativas en la concentración de fósforo extractable en el suelo con la utilización de diferentes fuentes y dosis de fósforo, siendo las medias obtenidas dentro de las fuentes de 23, 20 y 20 $mg\ dm^{-3}$ para super fosfato simple, TOP PHOS y super fosfato triple respectivamente. En condiciones de déficit hídrico el fertilizante diferenciado no produjo efecto significativo en el cultivo de soja.

Palabras claves: Fósforo, Fertilización, Soja.

APPLICATION OF DIFFERENT SOURCES AND DOSAGE OF PHOSPHATE FERTILIZERS OVER THE SOYBEAN PRODUCTION IN AN OXISOL

Author: ALFREDO JESÚS ROJAS OZUNA

Adviser: Prof. Ing. Agr. (DSc.) CARLOS ANDRÉS LEGUIZAMÓN ROJAS

Co-Advisers: Prof. Ing. Agr. (MSc.) DIEGO AUGUSTO FATECHA FOIS

Ing. Agr. (DSc.) ANDRE VINICIUS ZABINI

Prof. Ing. Agr. (MSc.) MARÍA DEL PILAR GALEANO S.

SUMMARY

Decreasing phosphorus fixation is a challenge in phosphate fertilization. The development of different fertilizers to limit this process is an alternative to increase the efficiency of the phosphorus fixation. In the Research and Development Center of Roullier Group, located in the city of Minga Guazú, an experiment was conducted to investigate the effect of different source and dosage of phosphate fertilizers on the growth and yield parameters of soybean crop in a field classed as Oxisol. The direct sowing system was utilized as crop management. Sources of phosphorus were super simple superphosphate, TOP PHOS and triple superphosphate. The dosage of P_2O_5 used of each fertilizer were 30, 60, 90 and 120 kg ha⁻¹. The experiment consisted of 13 treatments and 8 reps, including a control treatment with randomized complete block design. The evaluated the soybean growth parameters were plant height, pod numbers, stem diameter and shoot dry weight. In the V5 and R1 plant growth stage the yield parameters evaluated were number of plants of the useful area, number of pods, weight of thousand-seed, and the total seed weight. In addition, the concentration of phosphorus in the soil after harvest of soybean was analyzed using as extracting Mehlich-1 solution. The results were subjected ANOVA according to a nested design to compare sources and were also analyzed responses to doses of P_2O_5 of each source. Data analyses were performed with the statistical program Infostat. There were no significant differences between sources of phosphorus on the growth parameters, characters and yield in grain production. The average production of grains in kg ha⁻¹ was 1519, 1515 and 1498 for sources super phosphate simple, TOP PHOS and triple super phosphate respectively. There were significant differences in grain production with the application of different doses of P_2O_5 into every one of the sources. There were significant differences in concentration phosphorus in the soil with the use of different sources and doses of phosphorus, being the means obtained in the sources of 23, 20 and 20 mg dm⁻³ phosphate for super simple, TOP PHOS and triple super phosphate respectively. In water deficit conditions differentiated fertilizer produced no significant effect on the soybean crop.

Keywords: Phosphorus, Fertilization, Soybean.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Ciclo del fósforo	3
2.2 Fósforo en el suelo	4
2.2.1 Fósforo disponible	5
2.2.2 Fijación del fósforo en el suelo	6
2.2.3 Movimiento del fósforo en el suelo	7
2.3 Fósforo en siembra directa	8
2.4 Fósforo en la planta	9
2.5 El cultivo de soja y el fósforo	11
2.6 Fertilización fosfatada	12
2.7 Fertilizantes fosfatados utilizados	14
2.8 Método Mehlich 1 como extractante de fósforo del suelo	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1 Localización del experimento	16
3.2 Diseño experimental y tratamientos	17
3.3 Siembra y manejo del experimento	18
3.4 Evaluaciones	18
3.4.1 Parámetros de crecimiento de la soja	18
3.4.2 Caracteres de rendimiento de la soja	20
3.4.3 Análisis de suelo posterior a la cosecha de la soja	20
3.5 Análisis de datos	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1 Comportamiento del régimen de precipitaciones durante el ciclo de la soja	22
4.2 Efecto de fuentes de fósforo en parámetros de crecimiento de la soja en el estadio V5	23

	Página
4.3 Efecto de fuentes de fósforo en parámetros de crecimiento de la soja en el estadio R1.....	25
4.3.1 Respuesta de la masa seca aérea de la soja a dosis de fósforo de diferentes fuentes en R1	26
4.4 Efecto de diferentes fuentes de fósforo en caracteres de rendimiento de la soja en el estadio R8.....	29
4.4.1 Rendimiento en granos de la soja con dosis de diferentes fuentes de fósforo	31
4.5 Análisis de suelo posterior a la cosecha de la soja.....	35
4.5.1 Concentración de fósforo extractable en el suelo con diferentes fuentes de fósforo.....	35
4.5.2 Concentración de fósforo extractable en el suelo con dosis de diferentes fuentes de fósforo	36
5. CONCLUSIONES.....	40
ANEXOS	41
REFERENCIAS	50

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Ciclo del fósforo en sistemas agrícolas	3
2. Representación mensual de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de la soja (noviembre de 2011 a marzo de 2012) y medias históricas	22
3. Medias obtenidas en la masa seca aérea de la soja bajo diferentes dosis de TOP PHOS	27
4. Medias obtenidas en la masa seca aérea de la soja bajo diferentes dosis de Súper Fosfato Triple	28
5. Rendimiento de la soja bajo diferentes dosis de Súper Fosfato Simple	32
6. Rendimiento de la soja bajo diferentes dosis de TOP PHOS	33
7. Rendimiento de la soja bajo diferentes dosis de Súper Fosfato Triple	34
8. Concentración de fósforo extractable en el suelo posterior a la cosecha de la soja en la profundidad de 0-0,1 m	37

LISTA DE TABLAS

	Página
1. Tratamientos del experimento	17
2. Altura, número de nudos por planta y masa seca aérea de la soja en el estadio de crecimiento V5 (22-12-11).....	23
3. Altura, número de nudos por planta, diámetro de tallo y masa seca aérea de la soja en el estadio de crecimiento R1 (31-01-12).....	25
4. Número de plantas del área útil, número de vainas por planta, peso de mil semillas y rendimiento de la soja en el estadio R8 (03-04-2012).....	29
5. Concentración de fósforo extractable en el suelo a 0-0,1 m, con la aplicación de diferentes fuentes de fósforo, posterior a la cosecha de la soja	35

1. INTRODUCCIÓN

El Paraguay es un país eminentemente agropecuario, con grandes extensiones dedicadas a la ganadería y la agricultura, actividades que se convirtieron a través del tiempo en las principales fuentes de entrada de divisas al país mediante la exportación de productos cárnicos y de granos. En este sentido, la agricultura mecanizada juega un rol fundamental en la producción, teniendo como uno de los rubros más importantes a la soja.

La producción de alto rendimiento del cultivo de soja, que ayude a obtener buenos ingresos o ganancias para el productor, precisa de suelos fértiles con presencia de nutrientes en cantidades suficientes, balanceadas y asimilables por las plantas, además de tener un clima favorable para la producción. Para corregir las deficiencias de nutrientes es necesario implementar sistemas de fertilización que provea la nutrición adecuada de las plantas.

Entre los nutrientes esenciales para las plantas se encuentra el fósforo (P), que es uno de los más difíciles de manejar y disponibilizar para los cultivos debido a su elevada capacidad de reacción en el suelo. Los suelos de la Región Oriental del Paraguay normalmente presentan deficiencias en los niveles de P disponible debido a que este nutriente queda fácilmente fijado a las partículas del suelo, tanto a pH ácidos como alcalinos.

Los estudios de calibración de la fertilización realizados en el Paraguay utilizaron como fuente de P fertilizantes convencionales como el súper fosfato simple o el súper fosfato triple, los cuales presentan características que hacen que el fósforo

adicionado sea fijado por las partículas del suelo, principalmente en suelos ácidos como los de la Región Oriental del Paraguay.

La Empresa Timac AGRO[®] del Grupo Roullier ha desarrollado un fertilizante fosfatado diferenciado, el TOP PHOS[®], el cual presenta características que limitan la fijación del fósforo presente en el fertilizante con el suelo, de manera a aumentar la disponibilidad y la eficiencia de la fertilización fosfatada, resultando toda una novedad en el mercado de los fertilizantes. Este fertilizante diferenciado está siendo desarrollado y examinado en las zonas de producción de cultivos extensivos del Paraguay, así como de toda Sudamérica, con lo cual se pretende demostrar las cualidades del fertilizante diferenciado comparado con los fertilizantes fosfatados convencionales en suelos de la zona de producción de granos de la Región Oriental del Paraguay.

El objetivo general fue evaluar los efectos de diferentes fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados sobre la producción de soja en un Oxisol, y los objetivos específicos fueron: determinar la altura, diámetro de tallo, número de nudos y masa seca aérea de la soja; determinar el número de vainas por planta, el peso de mil semillas, y la productividad en granos; determinar el contenido de fósforo extractable en el suelo en pos cosecha en la camada 0-0,1 m. La hipótesis planteada fue que la aplicación del fertilizante fosfatado diferenciado produce mayor crecimiento y producción de granos en el cultivo de soja, así como una mayor disponibilidad del fósforo en un Oxisol.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Ciclo del fósforo

En la Figura 1 se observa el ciclo del fósforo en sistemas agrícolas, con sus principales entradas y salidas en el sistema suelo.

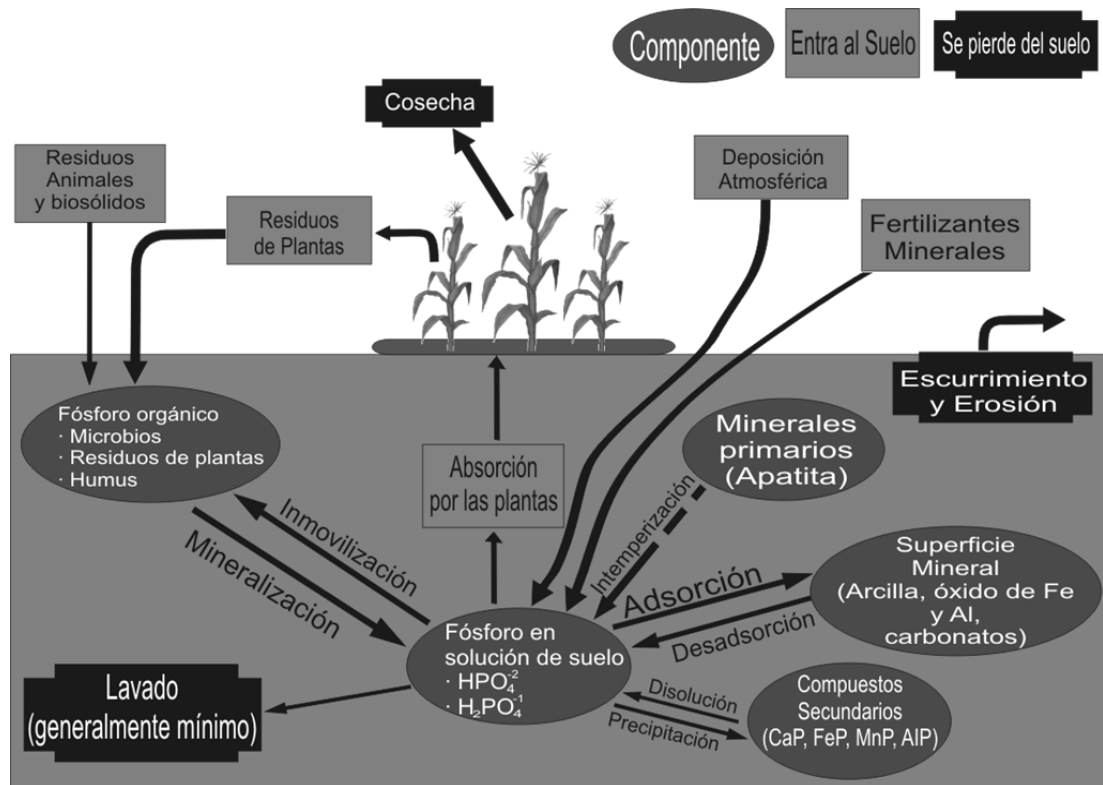


Figura 1. Ciclo del fósforo en sistemas agrícolas.

Fuente: De las Salas 1987

En el ciclo del fósforo se presentan las pérdidas en el suelo representadas por las cosechas, lavado, esguimiento y erosión; además, se observan las ganancias de fósforo en el suelo, representadas por residuos de animales y biosólidos, deposición atmosférica, residuos de plantas y aplicación de fertilizantes minerales. También se

observa las formas o los componentes en que se encuentra el fósforo en el suelo (De las Salas 1987).

2.2 Fósforo en el suelo

La intensidad de meteorización de los suelos es muy variable, en suelos de áreas subtropicales, como los de la Región Oriental del Paraguay, se libera solo 50 kg ha⁻¹ año⁻¹ aproximadamente de P₂O₅, cantidad considerada insuficiente para el desarrollo normal de cualquier cultivo anual (Fatecha A. 2004).

El fósforo está presente en el suelo en dos fracciones, la orgánica y la inorgánica, dependiendo del tipo de suelo, entre 50 y 60% corresponde a la fracción orgánica, mientras que el resto se encuentra en forma inorgánica (Boschetti y Quintero 2006).

Según los mismos autores, el fósforo inorgánico comprende varias fracciones, el que está presente en los minerales primarios (básicamente apatitas), el fósforo adsorbido en las arcillas (lábil), el fósforo no lábil representado por fósforo precipitado (poco disponible) y el fósforo en la solución que es el que pueden aprovechar las plantas. El fósforo orgánico proviene de restos vegetales y animales que al ser degradados por los microorganismos del suelo liberan compuestos fosfatados; constituyendo aproximadamente del 29 al 65% del fósforo de la superficie del suelo, se espera encontrar contenidos superiores de fósforo orgánico en suelos arcillosos que en suelos arenosos o francos, ya que el fósforo orgánico tiende a ser adsorbido sobre las arcillas, como también el contenido puede ser afectado por el manejo del suelo y el tipo de cultivo (Arzuaga et al. 2005).

De Las Salas (1987), afirma que un proceso muy importante dentro del ciclo del fósforo es la mineralización de fósforo orgánico, que implica la formación de compuestos menos complejos (ácidos nucleicos, proteínas), a partir de las sustancias polimerizadas (nucleoproteínas), que liberan ácido fosfórico. La actividad biológica es muy importante en este proceso de mineralización.

Los procesos de mineralización incluyen procesos biológicos y bioquímicos. La mineralización biológica ocurre cuando el fósforo inorgánico celular, a partir de las células muertas, es liberado a la solución y cuando los compuestos orgánicos son hidrolizados, sobre las superficies externas de las membranas celulares. Esto último es manejado por los microorganismos que necesitan fuente de energía y fósforo. La mineralización bioquímica es gobernada por la exoenzima fosfatasa. Es conocido que la biomasa microbiana puede tomar fósforo como resultado de la incorporación de la materia orgánica, o en respuesta a cambios fisiológicos causados por las fluctuaciones de humedad u otras variaciones (Arzuaga et al. 2005).

2.2.1 Fósforo disponible

El fósforo disponible se origina de la solubilización de los minerales fosfatados, de la mineralización de la materia orgánica y de la adición de fertilizantes fosfatados (Mello et al. 1988).

Según Mendoza (1989), Scheid (1989) y Fatecha A. (2004), son varios los factores que están involucrados en la disponibilidad del fósforo para el crecimiento de las plantas a través del tiempo, algunos de estos factores son, tipo y cantidad de arcilla, época de aplicación del fertilizante, aireación del suelo, compactación del suelo, humedad del suelo, nivel de fosfato en el suelo y presencia de otros nutrientes; el pH influye enormemente en la proporción con la que son absorbidos por la planta. Además, la disponibilidad del fósforo depende del tipo de suelo, debido a que una parte del fósforo total puede estar fijado (no disponible). Mientras mayor sea el tenor de arcilla, mayor será la cantidad de fósforo que fijará el suelo (Rheinheimer 2000).

El fósforo presente en el suelo se puede dividir en tres grandes grupos, relacionados a su capacidad de ser absorbidos por las plantas y son: a) Fósforo en solución, representado por el fósforo en la solución del suelo y está inmediatamente disponible para las plantas y se encuentra en las formas H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} y PO_4^{3-} de acuerdo al pH, este grupo se encuentra en cantidades bajas comparadas con el fósforo total. Lo exportado por las plantas es repuesta de la fracción del fósforo lábil.

b) Fósforo asimilable, representado por el fósforo débilmente adsorbido, se encuentra en equilibrio directo con el fósforo en solución. c) Fósforo no asimilable, representado por la mayor parte del fósforo del suelo e incluye a los fosfatos quimiadsorbidos a los coloides del suelo, principalmente en óxidos de hierro y aluminio, formando compuestos de baja solubilidad (Raij 1991). De acuerdo a Mello et al. (1988), la máxima solubilidad de este elemento en el suelo se verifica a pH próximo a la neutralidad y la fijación aumenta con el aumento de la acidez o de la alcalinidad (Fatecha A. 2004).

2.2.2 Fijación del fósforo en el suelo

La fijación de fósforo es la capacidad que tiene un suelo para transformar a una parte del fósforo soluble agregado en forma de sales o al nativo del suelo a formas insolubles para las plantas (Velazco 1983).

Según Dominguez (1997), la fijación es un proceso por el cual los fosfatos pasan de formas solubles a formas menos solubles, a través de reacciones con compuestos orgánicos o inorgánicos del suelo; en otras palabras, los iones ortofosfatos que se encuentran libres en la solución del suelo son adsorbidos por otros compuestos del suelo, formándose compuestos insolubles no disponibles para las plantas, este fenómeno depende de varias propiedades del suelo, principalmente del pH y la presencia de compuestos de Fe y Al.

El fenómeno de fijación tiene muchas causas, siendo una de ellas la presencia del carbonato de calcio en cantidades excesivas y otra la presencia del aluminio intercambiable, con la formación en cada uno de estos casos de compuestos insolubles del fósforo (Velazco 1983, Mendoza 1989, Domínguez 1997, Boschetti et al. 2003, Suñer et al. 2005).

Los suelos presentes en zonas de clima tropical y subtropical por lo general poseen baja capacidad de intercambio catiónico, bajo nivel de bases intercambiables,

son ricos en óxidos de hierro y aluminio, presentan reacción ácida y por tales motivos poseen elevada capacidad de fijar fósforo (Primavesi 1988).

De acuerdo a Hahn y Bonussi (2009), gran parte de la zona sojera posee suelos arcillosos y pertenecen a las clases Ultisol, Alfisol y Oxisol originados de roca basáltica que poseen cantidades elevadas de óxidos de hierro y aluminio que fijan fósforo, es por ello que disminuye la disponibilidad del fósforo en la solución del suelo y se encuentran suelos con bajos tenores de fósforo disponible en esas zonas (Cubilla 2005, Barreto 2008).

Al encalar los suelos ácidos, el Fe y el Al, son menos solubles y pueden precipitarse como hidróxidos de hierro y aluminio, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y $\text{Al}(\text{OH})_3$, lo que ocasiona que se incremente la disponibilidad del fósforo para las plantas en el suelo en las formas más asimilables que son el ortofosfato primario y ortofosfato secundario. Es importante hacer notar que el encalado debe ser planeado y controlado para evitar elevar demasiado el pH con la aplicación excesiva de cal, pues al llegar el pH a un valor entre 6,8 y 7 se corre el riesgo de la precipitación del fósforo por formar fosfatos de Ca o Mg (Mendoza 1989, Domínguez 1997, Boschetti et al. 2003, Suñer et al. 2005).

2.2.3 Movimiento del fósforo en el suelo

Domínguez (1997), menciona que el fósforo es poco móvil a causa de su elevada capacidad de fijación en el suelo, teniendo importancia el movimiento por difusión, el cual implica el movimiento de un ion de una zona de mayor concentración a una de menor concentración en una fase acuosa a cortas distancias. Los fosfatos inorgánicos solo se mueven en el suelo muy pocos centímetros, mientras que el fósforo orgánico tiene un poco más de movilidad, aproximadamente hasta unos 12 cm.

Scheid (1989), menciona que si el fósforo está a más de 6,5 mm de la raíz, en un suelo franco, el mismo no podrá moverse lo suficiente para poder ser absorbido

por la raíz, en líneas generales, el fósforo puede moverse un poco más en suelos arenosos que en suelos arcillosos.

Algunos factores que influyen en el movimiento del fósforo en el suelo son, el gradiente de concentración entre el sitio donde se encuentra el fósforo y la raíz, la tortuosidad, el contenido de agua y la temperatura del suelo. Además, el fósforo se mueve a muy corta distancia, a pesar de que todos los factores se encuentren en niveles óptimos, de ahí que las plantas con buen desarrollo radicular presentan mejor absorción de fósforo (Montecinos, citado por Peroni 2005).

2.3 Fósforo en siembra directa

En sistemas de siembra directa con aproximadamente 10 años de producción, ciertas características químicas del suelo pueden sufrir modificaciones, especialmente la formación de una camada superficial con alta disponibilidad de nutrientes como el fósforo. Este hecho obedece a la aplicación consecutiva de fertilizantes, la muy baja o nula presencia de erosión hídrica, la disminución de las superficies de contacto entre los iones fosfatos y las partículas del suelo (Selles et al. 1997) reduciendo la acción de los mecanismos de fijación por los constituyentes minerales y las pérdidas (Muzilli 1983).

En la fase inicial de la siembra directa la construcción de niveles de fósforo exige una mayor cantidad de fertilizantes, acelerándose los procesos mediante la saturación de los sitios más ávidos, el remanente es redistribuido, aumentando su capacidad de desorción (Rheinheimer y Anghinoni 2001), debido a que este nutriente permanece más lábil en este sistema (Cubilla 2005).

En el sistema de siembra directa, la construcción de la fertilidad ocurre solamente en la camada de 0-0,1 m, originando un aumento en el gradiente de concentración, el cual es verificado por el bajo porcentaje de muestras de suelo con niveles por encima del tenor crítico en las camadas más profundas a 0,1 m (Martinazzo 2006).

Sch lindwein y Anghinoni (2000) y Gatiboni (2003) mencionan que la acumulación del fósforo en suelos bajo el sistema de siembra directa es aproximadamente 50% superior en la camada de 0-0,1 m, en relación a los suelos preparados convencionalmente, mejorando así la eficiencia en la fertilización fosfatada.

Garcia y Picone (2007), mencionan que la acumulación superficial de fósforo en el sistema de siembra directa podría resultar en una mayor disponibilidad para las plantas comparado a la labranza convencional, debido a la disminución de los procesos que extraen fósforo de la solución del suelo a través de reacciones químicas de precipitación y de adsorción a los coloides y la tendencia a acumular formas de fósforo más biodisponibles.

Los mismos autores aducen que el muestreo de un suelo con la inclusión de bandas podría introducir error al sobreestimar el fósforo disponible. A este proceso de variación horizontal se suma la variación vertical, generada por la estratificación, afectando el muestreo para el diagnóstico de la fertilidad y la recomendación de dosis de fósforo para los cultivos.

2.4 Fósforo en la planta

El fósforo es esencial en la transferencia de energía en las células vivas, también es importante en la formación y translocación de carbohidratos, ácidos grasos y productos intermediarios esenciales, además son componentes esenciales de los núcleos de las células. En condiciones de deficiencia de fósforo se reducen el crecimiento de la planta y la actividad del sistema simbiótico de fijación de nitrógeno (Cargill 1982).

El contenido de fósforo presente en las plantas varía entre 0,1 % y 1,2 %, aproximadamente el 80% se encuentra incorporado a compuestos orgánicos, el mismo se encuentra en la planta en forma de ortofosfato y en algunos casos como pirofosfato y que se encuentra unido a diferentes compuestos. Los compuestos más

frecuentes y significativos normalmente son el di y trifosfato de adenosina (ADP, ATP), fosfolípidos, ácidos nucleicos (RNA, DNA), dinucleótido adenina nicotinamida (NADPH) y fitina (Domínguez 1997).

El fósforo es absorbido por las plantas a través de las capas externas de las células de los pelos radiculares y de la punta de la raíz; la absorción también se produce a través de las micorrizas, que son hongos que crecen en asociación con las raíces de muchos cultivos (Dominguez 1997). El fósforo puede ser absorbido como ión ortofosfato primario (H_2PO_4^-), o como ión ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}). (Mendoza 1989, Domínguez 1997, Boschetti et al. 2003, Suñer et al. 2005). De hecho, la absorción por las raíces de las plantas de H_2PO_4^- es diez veces más rápida que la del HPO_4^{2-} (Domínguez 1997).

En la absorción del fósforo por las plantas, tiene gran influencia la temperatura (disminuye con el frío) y el pH (disminuye a pH elevado), la absorción del ion H_2PO_4^- aumenta con valores bajos del pH, mientras que los valores más altos del pH incrementan la absorción de la forma HPO_4^{2-} . Otros factores que intervienen son la humedad, la aireación y la disponibilidad del nutriente (Suñer et al. 2005).

El fósforo absorbido es móvil en la planta y se incorpora rápidamente al metabolismo. Así, se producen azúcares y alcoholes fosforilados como productos intermedios, además de fosfolípidos que son componentes básicos de las membranas celulares. El compuesto orgánico más importante en el que interviene el fósforo es el trifosfato de adenosina (ATP) que cumple con el papel de almacenamiento y transporte de energía. Además, al ser componente de ácidos nucleicos participa en el proceso de la reproducción, constitución genética de la planta, y mediante la fitina se constituye una reserva de fósforo en la semilla que es movilizada durante la germinación y transformada en formas necesarias para la nueva planta (Domínguez 1997).

Scheid (1989) y EMBRAPA (1992), sugieren que los síntomas de deficiencia de fósforo en las plantas se presentan como tamaño reducido, hojas de coloración

verde oscura y retardo del estadio de maduración. Según FAO (1995), los síntomas de deficiencia del fósforo en la planta están definidos y se manifiestan como retraso en el crecimiento y plantas que quedan con folíolos pequeños verde oscuros azulados, los síntomas aparecen en las hojas más viejas debido a su alta movilidad en la planta, pueden ocurrir en casi todos los suelos tropicales ácidos con bajo pH y alta capacidad para fijar el fósforo.

2.5 El cultivo de soja y el fósforo

La soja se adapta mejor a temperaturas entre 20 y 30 °C, la temperatura ideal para su crecimiento y desarrollo está en torno a los 30°C, su crecimiento vegetativo es reducido o nulo a temperaturas iguales o menores a 10°C y por encima de los 40°C. La necesidad total de agua para este cultivo para la obtención del máximo rendimiento varía entre 450 a 800 mm durante el ciclo, dependiendo de las condiciones climáticas, del manejo del cultivo y de la duración del ciclo (EMBRAPA 2003), el pH óptimo del suelo para la producción de este cultivo está comprendido entre 6 y 7 (Guerrero 1987).

La soja con un rendimiento de 3.000 kg ha⁻¹ de granos puede extraer del suelo 205 kg de nitrógeno, 55 kg de fósforo y 135 kg de potasio (Sanchez 1987). Clovis (2000) menciona que un mayor contenido de fósforo determina mayor nodulación y ambos originan un aumento en el rendimiento de la soja. Cuando la disponibilidad de fósforo en el suelo es baja, la fertilización puede aumentar el número de flores, vainas, granos por planta y consecuentemente el rendimiento (Ferraris et al. 2001).

Sovalvarro y Cruz (1999) mencionan que el rendimiento esperado en el cultivo de la soja, depende del número de granos y del peso individual de los granos. La obtención de bajo rendimiento como consecuencia de una deficiencia de fósforo, se debe en general a una disminución en el número de granos, esto se determina durante la formación de las vainas (Fernández 2001).

Para poder maximizar el rendimiento, es importante que durante la etapa de formación de vainas el cultivo tenga una buena cobertura de hojas, lo cual depende de la disponibilidad de fósforo en el suelo. Las plantas que crecen en suelos con baja disponibilidad de fósforo llegan a floración capturando 25% menos de radiación solar, debido a que la deficiencia de fósforo disminuye tanto el tamaño como la velocidad de aparición de hojas (Sovalvarro y Cruz 1999).

La soja absorbe cerca de la mitad del fósforo que necesita durante los últimos cuarenta días de la estación de crecimiento, si la presencia de fósforo disminuye sensiblemente en la mitad del ciclo del cultivo, se puede desistir de obtener la meta inicial de producción (Scheid 1989).

2.6 Fertilización fosfatada

Según Cubilla (2005), Fatecha (1999) y Fatecha A. (2004) en la Región Oriental del Paraguay el fósforo es el nutriente más deficiente y el que presenta mayor limitación para obtener elevados rendimientos de los cultivos, ya sea por la baja concentración o por el complejo comportamiento en el suelo. El levantamiento de la fertilidad de los suelos de la Región Oriental, indica que más del 80% de los análisis de suelo hechos desde 1980 hasta el 2002 presentaron niveles bajos de fósforo disponible, esto evidencia el problema con este nutriente y la importancia de mejorar el manejo de la fertilización fosfatada (Fatecha D. 2004).

Se ha observado que la aplicación de fósforo aumenta la producción de materia seca y la absorción de fósforo por la soja (Fernández et al. 1995). La respuesta de los cultivos a la aplicación de fertilizantes fosfatados depende del nivel de fósforo disponible en el suelo, además de otros factores del suelo, del cultivo y del manejo del fertilizante. Entre los factores del suelo se destacan la textura, la temperatura, el contenido de materia orgánica y el pH, mientras que entre los factores del cultivo deben mencionarse los requerimientos y el nivel de rendimiento que se desea obtener (García y Picone 2007).

Un factor que influye marcadamente en la eficiencia del fertilizante y en los rendimientos es la forma de colocación de los mismos (Litzenberguer 1976, Clovis 2000, Fatecha A. 2004). La aplicación en bandas y por debajo de la línea de siembra normalmente constituye la forma más eficiente, especialmente ante problemas de pH o fijación por parte de las arcillas (Clovis 2000, Fatecha A. 2004, Suñer et al. 2005).

Otro factor muy importante que puede afectar la respuesta a la fertilización fosfatada es la disponibilidad de agua en el suelo. La difusión por medio del agua en el suelo es su principal mecanismo de llegada a las raíces y aumenta con el contenido de agua en el suelo. Por ello una sequía aun moderada puede afectar la nutrición fosfatada del cultivo de soja (Rezende 2002).

Según Fernández et al. (1995), la deficiencia de fósforo es el principal factor limitante de producción en los Oxisoles y Ultisoles. Estos suelos frecuentemente tienen la característica de fijar fuertemente el fósforo y requieren altas dosis de nutrientes para corregir la deficiencia.

Además de la dosis y el tipo de fertilizante, en la fertilización fosfatada se debe tener en consideración al fenómeno de fijación. La fertilización fosfatada constituye una solución para dos propósitos, por un lado se procura aumentar el contacto del fósforo con la raíz, y por otro lado, se busca disminuir la fijación del fósforo por el suelo (Malavolta 1980).

El bajo contenido de fósforo extraíble en el suelo restringe la producción de grano. Su particularidad consiste en que como fertilizante no mantiene su efectividad a través del tiempo y reacciona con el suelo fijándose como compuestos menos solubles en las arcillas y la materia orgánica, dicho estado es poco relevante para la oferta inmediata, constituyéndose con el transcurso del tiempo en fuente de lo que se denomina fósforo residual (Vivas 2003). El mismo autor, menciona que en un programa de restitución fosfatada, las aplicaciones sucesivas de fertilizantes deben no solo corregir las deficiencias puntuales, sino que cubrir en forma aproximada lo que fija el suelo y extraen los cultivos.

Los tenores de fósforo obtenidos por el método de Mehlich 1 varía en función de los tenores de arcilla, los niveles críticos de fósforo corresponden a 3; 8; 14 y 18 mg dm⁻³ para los suelos con tenores de arcilla de 61 a 80%, 41 a 60%, 21 a 40% y menos de 20%, respectivamente, en suelos con menos de 15% de arcilla no se recomienda practicar agricultura extensiva (Duque 2000). En el Paraguay el tenor crítico de fósforo, determinado bajo el sistema de siembra directa para trigo, soja y maíz, estimado para suelos de 410 a 600 g kg⁻¹ de arcilla es de 12 mg dm⁻³ y para suelos con 210 a 400 g kg⁻¹ de arcilla es de 15 mg dm⁻³ (Cubilla 2005).

2.7 Fertilizantes fosfatados utilizados

El súper fosfato simple es obtenido por el tratamiento de la roca fosfatada con ácido sulfúrico y contiene cerca de 20% de P₂O₅, 11% de S y 20% de Ca (Gros y Dominguez 1992, Fatecha A. 2004). Mientras que el super fosfato triple proviene de la reacción del ácido fosfórico, obtenido por proceso húmedo, con la roca fosfatada y contiene alrededor de 46% de P₂O₅. (Scheid 1989, Fatecha A. 2004). El super fosfato simple es de reacción ácida y el superfosfato triple presenta reacción neutra (Fatecha A. 2004).

Investigaciones recientes han demostrado el papel de las sustancias orgánicas como protector del fósforo y con eso la posibilidad de obtener nuevos fertilizantes órgano-minerales de mayor eficiencia (Guardado et al. 2005, Guardado et al. 2007, Guardado et al. 2008).

TOP-PHOS[®] es un fertilizante fosfatado que empezó a ser utilizado en Sudamérica en el 2010, el mismo fue desarrollado por el área de investigación y desarrollo (I+D) del grupo Roullier. Teniendo en cuenta la importancia del fósforo para el cultivo de la soja y los problemas que ocurren con este nutriente en suelos tropicales, el grupo Roullier priorizó la zona agrícola Sudamericana para el desarrollo comercial de este fertilizante (Cabrera 2011).

Por un lado, la nueva forma del fósforo del TOP-PHOS[®] busca reducir la fijación de fósforo por el suelo, mejorar su disponibilidad para las plantas y por otro lado agrega moléculas naturales con propiedades que mejoran la actividad y vida microbiana del suelo, acelerando la descomposición de la materia orgánica, el aporte de nutrientes y el desarrollo de las raíces. La composición de este nuevo fertilizante fosfatado es muy parecida al Súper Fosfato Simple, posee 18% P₂O₅, 11% S, y 18% Ca (Guardado et al. 2005, Guardado et al. 2007, Guardado et al. 2008).

2.8 Método Mehlich 1 como extractante de fósforo del suelo

La solución extractora de Mehlich 1, de Carolina del Norte o Doble ácido, desarrollado en 1953, es la solución adoptada en la red de laboratorios de suelo de Rio Grande do Sur y Santa Catarina (ROLAS) para la determinación de fósforo, el cual es también actualmente adoptado por la Red Nacional de Laboratorios de Suelo (RENALAS). Este método de ácidos fuertes diluidos se destaca como aquel extractor de fósforo disponible que promueve la disolución parcial de los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio solubilizando el fósforo (Cubilla 2005).

En general, el método Mehlich 1 sobreestima la cantidad de fósforo disponible en suelos que recibieron fosfatos naturales (Raij 1991) y subestima el fósforo disponible en suelos muy arcillosos debido a la menor extracción y readsorción del fósforo (Kamprath y Watson 1980, citados por Cubilla 2005).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del experimento

El ensayo se realizó en la Región Oriental del Paraguay, Departamento de Alto Paraná, Distrito de Minga Guazú, a 5 km de la ruta N° 7 “Dr. José Gaspar Rodríguez de Francia” a la altura del km 22, en el Centro de Investigación y Desarrollo del Grupo Roullier en Sudamérica.

La zona de realización del experimento pertenece al tipo climático cfa (mesotérmico) de Koeppen, con temperatura media anual entre 21 y 22 °C y precipitación media anual entre 1.650 y 1.700 mm (Huespe et al. 1995).

Según López et al. (1995), el tipo de suelo corresponde a un Rhodic Kandiudox, con textura arcillosa fina, paisaje de lomadas, material de origen basalto, relieve de 0 a 8%, con buen drenaje y pedregosidad nula.

El resultado de análisis de suelo en la camada de 0-0,2 m antes de la instalación del ensayo mostró los siguientes datos: Ca⁺⁺ 4,88; Mg⁺⁺ 1,82; K⁺ 0,67; Al⁺⁺⁺ 0,35; H+Al 3,90; Suma de Bases 7,36 y CIC 11,26; estos resultados expresados en cmol_c dm⁻³; MO 3,11%; Saturación de Aluminio 4,83%; Saturación de Bases 65,79%; Fe 110,72; Mn 112,35; Cu 7,33 y Zn 5,67; estos resultados expresados en mg LS⁻¹; pH CaCl₂ 5,31; pH SMP 6,39; pH H₂O 5,96 y P 9,2 mg dm⁻³.

3.2 Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con 13 tratamientos y ocho repeticiones, totalizando 104 unidades experimentales en parcelas de cinco hileras de soja por 6 m de largo ($13,5 \text{ m}^2$), con un área útil de tres hileras centrales de soja de 3 m de largo ($4,05 \text{ m}^2$).

Los tratamientos fueron compuestos de tres fuentes de fósforo con cuatro dosis cada una y un testigo, como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos del experimento.

Tmto	Fertilizante	Composición (%)				Dosis P_2O_5
		N	P_2O_5	Ca	S	kg ha^{-1}
1	Testigo	0	0	0	0	0
2	Super simple					30
3	Super simple	0	18	20	11	60
4	Super simple					90
5	Super simple					120
6	TOP PHOS					30
7	TOP PHOS	1	18	18	11	60
8	TOP PHOS					90
9	TOP PHOS					120
10	Super triple					30
11	Super triple	0	46	14	0	60
12	Super triple					90
13	Super triple					120

Las dosis de fertilizante de los tratamientos fueron aplicados en surcos a unos cinco centímetros de las semillas en el momento de la siembra.

El potasio fue aplicado al voleo en la cantidad necesaria para la exportación por los granos (20 kg de K_2O por tonelada de granos), considerando una productividad promedio de 3 t ha^{-1} de granos, se aplicó la dosis de 60 kg ha^{-1} veinte días después de la emergencia.

El suministro de Ca fue ajustado con calcáreo calcítico, de manera a compensar a los tratamientos en los cuales el contenido de Ca en el fertilizante era menor, el mismo fue aplicado al voleo antes de la siembra.

3.3 Siembra y manejo del experimento

Para la realización del experimento se utilizó semilla de soja del Cultivar “Potencia” y la siembra se realizó el día 19 de noviembre de 2011, en forma mecanizada con sembradora en el sistema de siembra directa, sobre los rastrojos desecados del cultivo de trigo. El distanciamiento fue de 0,45 m entre hileras y dejando 12 plantas por metro lineal mediante un trabajo de raleo posterior a la germinación de las semillas.

Las semillas fueron inoculadas con bacterias del género *Rizhobium spp* para asegurar la provisión de nitrógeno (1ml kg^{-1} de semilla), la cantidad de nitrógeno disponible en el TOP PHOS es pequeña y fue desconsiderada, también se realizó tratamiento de semilla con Carbendazim y Thiram (2 ml kg^{-1} de semilla).

El control de plagas y enfermedades se realizó de acuerdo a la aparición de las mismas y a las necesidades del cultivo.

La cosecha se realizó el día 3 de abril de 2012, en forma manual, cortando la planta a la altura del cuello, y el trillado o desgranado se realizó con una desgranadora mecánica pequeña, adaptada para el efecto.

3.4 Evaluaciones

3.4.1 Parámetros de crecimiento de la soja

Las evaluaciones de crecimiento fueron realizadas en el estadio V5 (cuarta y quinta hoja trifoliada desarrollada) en fecha 22-12-11 y en el estadio R1 (inicio de floración) en fecha 31-01-12.

En el estadio V5 se evaluaron las siguientes variables: número de nudos por planta, altura de planta y masa seca de la parte aérea.

Para la medición del número de nudos por planta, se extrajeron al azar, cuatro plantas del área útil y se procedió al conteo del número de nudos de cada una, obteniéndose un promedio que representó al número de nudos por planta.

Para la medición de la altura de planta, se extrajeron al azar, cuatro plantas del área útil y se procedió a medir la altura de las mismas, con la ayuda de una cinta métrica, desde la base del tallo hasta el último brote, obteniéndose un promedio que representó a la altura de la planta.

Para la medición de la masa seca de la parte aérea de la planta, se extrajeron al azar, diez plantas del área útil, se realizó el secado en estufa a 60 °C durante 72 horas y se procedió al pesaje en una balanza, obteniéndose un promedio que representó a la masa seca de la parte aérea de la planta.

En el estadio R1 se contemplaron las siguientes variables: diámetro del tallo, número de nudos por planta, altura de plantas y masa seca de parte aérea.

Para la medición del diámetro del tallo, se extrajeron al azar, cinco plantas del área útil y se procedió a medir el diámetro del tallo, aproximadamente un centímetro por encima del primer nudo con la ayuda de un calibrador, obteniéndose un promedio que representó al diámetro del tallo de la planta.

La medición del número de nudos por planta, la altura y la masa seca aérea se realizó según procedimiento realizado en V5. Fue aumentado el número de plantas medidas a cinco para número de nudos por planta y altura, y reducido a cinco para masa seca aérea.

3.4.2 Caracteres de rendimiento de la soja

Los caracteres del rendimiento se evaluaron en el momento de la cosecha (estadio R8) y fueron: número de plantas del área útil, número de vainas por planta, peso de mil granos y producción de granos.

Para determinar el número de plantas del área útil del experimento, se realizó el conteo de las mismas en el momento de la cosecha.

Para la medición del número de vainas por planta, se extrajeron al azar, veinte plantas del área útil cosechada y se procedió al conteo del número de vainas de cada una, obteniéndose un promedio que representó al número de vainas por planta.

Para la determinación del peso de mil granos, se extrajeron al azar del total de granos del área útil de cada parcela, 100 granos en cuatro oportunidades y se determinó su peso en una balanza digital, luego se obtuvo un promedio, el cual fue multiplicado por 10, obteniéndose de esa forma el peso de mil granos para cada unidad experimental.

Se realizó la cosecha del área útil total y se determinó el peso de la producción de granos de dicha área en una balanza digital, con una humedad promedio de granos de 12% y se convirtió a kg ha^{-1} .

3.4.3 Análisis de suelo posterior a la cosecha de la soja

El muestreo de suelo se realizó en la tercera semana del mes de mayo de 2012, se obtuvieron muestras de cada una de las unidades experimentales a la profundidad de 0-0,1 m. El procedimiento de muestreo consistió en la obtención de 12 submuestras (cuatro en la línea de siembra y ocho en la entrelinea) del área útil de cada unidad experimental, con la utilización de una barrena tipo tubo, que fueron homogeneizadas y transformadas en una muestra compuesta, la cual fue enviada al laboratorio para el análisis correspondiente.

Las muestras extraídas fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelo del Centro de Investigación y Desarrollo del Grupo Roullier y las determinaciones realizadas fueron: Materia Orgánica (MO), pH en H₂O, pH en CaCl₂, pH en SMP, Aluminio (Al⁺⁺⁺), Hidrógeno+Aluminio (H+Al), Capacidad de intercambio catiónico efectivo (t), Capacidad de intercambio catiónico total (T), Suma de bases (SB), Porcentaje de saturación de bases (V), Calcio (Ca⁺⁺), Magnesio (Mg⁺⁺), Potasio (K⁺) y Fósforo disponible (P), a la profundidad ya mencionada, de manera a obtener el estado nutricional con y sin la aplicación de fuentes y dosis de fósforo.

3.5 Análisis de datos

Para la realización del análisis se procedió a sistematizar todos los datos, los parámetros de crecimiento, los de caracteres de rendimiento y los resultados de análisis del suelo, utilizando planillas electrónicas del programa Excel. Con la ayuda del software estadístico Infostat se realizó el análisis de los mismos.

Se realizó análisis de varianza para observar si existían diferencias significativas en los parámetros estudiados por efecto de las diferentes fuentes de fósforo. El análisis se realizó según un diseño de campo de bloques completos al azar y en un diseño anidado, en el cual, las dosis están anidadas a los tratamientos principales, que en este caso son las fuentes de fósforo. También se realizó análisis de varianza de cada fuente de fósforo considerando las diferentes dosis, según un diseño de bloques completos al azar, si fuera detectada diferencias significativas entre dosis dentro de cada fuente incluyendo a la dosis testigo, se realizó análisis de regresión.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comportamiento del régimen de precipitaciones durante el ciclo de la soja

En la Figura 2, se observa el régimen de precipitaciones ocurrida en la zona de Minga Guazú, Departamento de Alto Paraná, durante el periodo de noviembre de 2011 a marzo de 2012 y las medias históricas mensuales.

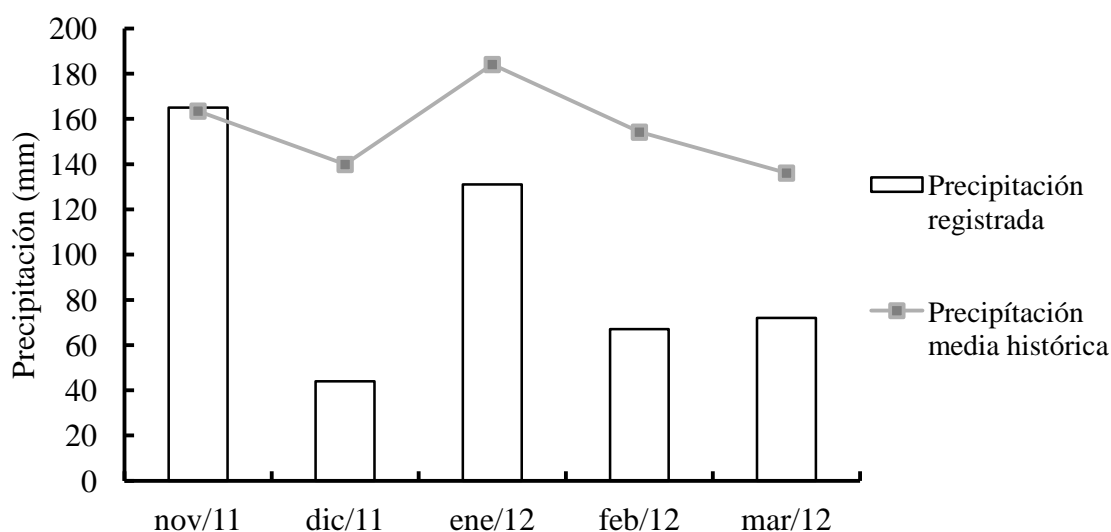


Figura 2. Representación mensual de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de la soja (noviembre de 2011 a marzo de 2012) y medias históricas.

Fuente: Estancia San Manuel, Centro de Investigación y Desarrollo Timac Agro Paraguay y Unidad de Gestión de Riesgos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (UGR-MAG).

Durante la realización del experimento, se registró un periodo de precipitación muy por debajo de la media histórica determinada para la zona (UGR-MAG 2012), como se puede apreciar en la Figura 2 y en el Anexo 1. La precipitación registrada durante el primer mes del ciclo de la soja (noviembre) fue satisfactoria, en cambio, para los meses de diciembre, enero, febrero y marzo estuvo por debajo de la media histórica con 96, 53, 87 y 64 mm menos respectivamente.

Además de la escasa cantidad de lluvia caída durante el ciclo del cultivo, otro factor importante fue el periodo de días sin precipitación, llegando en algunos casos a alcanzar hasta 27 días consecutivos. Se registró un fuerte periodo de falta de agua en el mes de diciembre, con solo dos eventos de 22 mm cada uno. Otra etapa de fuerte déficit hídrico ocurrió a finales del mes de enero hasta casi finales del mes de febrero, con un periodo de 27 días sin lluvias que coincidió con el inicio de la etapa reproductiva (R1); y otro periodo crítico de 25 días entre finales del mes de febrero hasta pasado la mitad del mes de marzo, la cual coincidió con el periodo del momento del llenado de granos (R5).

La escasa cantidad de lluvia registrada y la mala distribución temporal de las mismas influyó marcadamente en los resultados obtenidos en el experimento.

4.2 Efecto de fuentes de fósforo en parámetros de crecimiento de la soja en el estadio V5

En la Tabla 2, se presentan los valores medios obtenidos en la medición de los parámetros de crecimiento, altura de planta (cm), número de nudos por planta y masa seca aérea (g pl^{-1}) en el estadio V5.

Tabla 2. Altura, número de nudos por planta y masa seca aérea de la soja en el estadio de crecimiento V5 (22-12-11).

Fuente	Estadio V5		
	Altura de planta (cm)	Número de nudos	Masa seca aérea (g pl^{-1})
Testigo ¹	12,5	5,7	17,93
Super fosfato simple	13,5 Ns	6,0 Ns	20,25 Ns
TOP PHOS	13,4	6,0	20,20
Super fosfato triple	13,4	5,9	20,03
Media	13,4	5,9	20,16
Coefficiente de variación (%)	5,4	5,3	11,3

¹ El testigo no formó parte del análisis de varianza.

Ns Diferencias no significativas en columnas, en un análisis de varianza con diseño anidado al 5% de probabilidad de error.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza con un diseño anidado al 5% de probabilidad de error, demostraron que no existen diferencias significativas entre las fuentes para el parámetro altura de plantas (Anexo2), número de nudos por planta (Anexo 3) y masa seca de la parte aérea (Anexo 4).

Lo observado con los promedios obtenidos en los parámetros de crecimiento inicial, estadio V5 (37 días después de la siembra), estaría explicado por el hecho de que todas las unidades experimentales correspondientes a las tres fuentes recibieron cantidades iguales de P_2O_5 , así como las condiciones iniciales de concentración de nutrientes como el fósforo en el suelo y las precipitaciones fueron adecuadas hasta ese momento. Por lo tanto, en esta etapa del crecimiento del cultivo, no se pudo observar lo planteado por Guardado et al. (2005), Guardado et al. (2007) y Guardado et al. (2008) que mencionan que con la fuente diferenciada de fosfato (TOP PHOS) se tendría mejor absorción del fósforo y mayor crecimiento de plantas debido a la mayor disponibilidad de fósforo en el suelo.

Por otro lado, se puede observar diferencias numéricas principalmente de los tratamientos con fósforo en relación al testigo, el cual no fue incluido en el análisis de varianza, debido a que se utilizó un diseño anidado de fuentes y dosis, en el cual solamente se buscó diferencias entre las fuentes de fósforo.

Estos datos coinciden con los datos obtenidos por Cabrera (2011), quien no encontró diferencias significativas en parámetros de crecimiento en el cultivo de soja con aplicación de fertilizantes convencionales y TOP PHOS, cuando las condiciones previas de fertilidad del suelo y del clima fueron favorables durante su experimento, asumiendo que para este ensayo y hasta este periodo de crecimiento, se tuvo una aceptable cantidad y distribución de lluvias (111 mm en tres eventos), como se observa en la Figura 2 y el Anexo 1.

4.3 Efecto de fuentes de fósforo en parámetros de crecimiento de la soja en el estadio R1

En la Tabla 3, se presentan los valores medios obtenidos en la medición de los parámetros de crecimiento, altura de planta (cm), número de nudos por planta, diámetro de tallo (cm) y masa seca aérea (g pl^{-1}) en el estadio R1.

Tabla 3. Altura, número de nudos por planta, diámetro de tallo y masa seca aérea de la soja en el estadio de crecimiento R1 (31-01-12).

Fuente	Estadio R1			
	Altura de planta (cm)	Número de nudos	Diámetro de tallo (cm)	Masa seca aérea (g pl^{-1})
Testigo ¹	66,9	12,1	0,81	78,84
Super fosfato simple	71,3 Ns	12,6 Ns	0,83 Ns	93,84 Ns
TOP PHOS	71,8	12,2	0,83	88,63
Super fosfato triple	71,7	12,3	0,82	89,49
Media	71,6	12,4	0,82	90,65
Coefficiente de variación (%)	5,7	7,1	7,88	16,6

¹ El testigo no formó parte del análisis de varianza.

Ns Diferencias no significativas en columnas, en un análisis de varianza con diseño anidado al 5% de probabilidad de error.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza, al 5% de probabilidad de error, demostraron que no existen diferencias significativas entre las fuentes para los parámetros altura de plantas (Anexo 5), número de nudos por planta (Anexo 6), diámetro de tallo (Anexo 7) y masa seca aérea (Anexo 8).

Estos resultados observados con las medias obtenidas en los parámetros de crecimiento en el estadio R1 (73 días después de la siembra), se deben principalmente a que en el sistema de siembra directa, existe una disminución en la fijación del fósforo en el suelo (García y Picone 2007), sean estas provenientes de fertilizantes convencionales o diferenciados, en consecuencia, debido a las condiciones favorables del suelo que impiden la fijación del fósforo presente en el fertilizante, las plantas no presentan diferencias significativas en los parámetros de crecimiento en este estadio.

Se estima que otro factor que influyó con fuerza en los parámetros de crecimiento en el estadio R1 fue el factor climático, siendo registrada antes de esta medición un periodo de bajo contenido de agua en el suelo, en el cual se registró solamente dos eventos de lluvia con 22 mm cada una en el mes de Diciembre y recién a los 12 días se volvió a registrar una precipitación de 78 mm. Así, la limitación en el contenido de humedad afectaría la absorción de nutrientes como el fósforo y en consecuencia la no diferencia entre las fuentes, ya que las plantas no pudieron expresar su máximo potencial de absorción, de manera a obtener diferencias entre las fuentes principalmente a causa de la baja humedad en el suelo (Rezende 2002).

4.3.1 Respuesta de la masa seca aérea de la soja a dosis de fósforo de diferentes fuentes en R1

El análisis de varianza para la variable masa seca aérea de la soja con la aplicación de diferentes dosis de P_2O_5 provenientes de la fuente super fosfato simple demostró que no existe diferencias significativas entre dosis, con un diseño de bloques completos al azar, al 5% de probabilidad de error (Anexo 9).

Las medias de la masa seca aérea obtenidas con dosis de P_2O_5 provenientes de la fuente super fosfato simple fueron de 91, 96, 90 y 97 $g\ pl^{-1}$ para dosis de 30, 60, 90 y 120 $Kg\ ha^{-1}$ respectivamente, siendo la media obtenida en el testigo sin aplicación de P_2O_5 igual a 79 $g\ pl^{-1}$.

La producción de masa seca aérea aumenta con el incremento en las dosis de P_2O_5 aplicadas hasta 60 $kg\ ha^{-1}$, sin embargo, para la dosis de 90 $kg\ ha^{-1}$ se evidencia una disminución, aumentando nuevamente cuando se aplica dosis de 120 $kg\ ha^{-1}$, lo cual dificulta explicar el comportamiento obtenido.

En cuanto a la fuente TOP PHOS, el análisis de varianza para la variable masa seca aérea de la soja con la aplicación de diferentes dosis de P_2O_5 demostró que existen diferencias significativas entre dosis, con un diseño de bloques completos al azar, al 5% de probabilidad de error (Anexo 10).

En la Figura 3 se presentan las medias de la masa seca aérea de la soja, obtenidas con la aplicación de diferentes dosis de TOP PHOS. Además, se presenta la ecuación de regresión y el coeficiente R^2 correspondiente a la regresión polinómica de segundo grado.

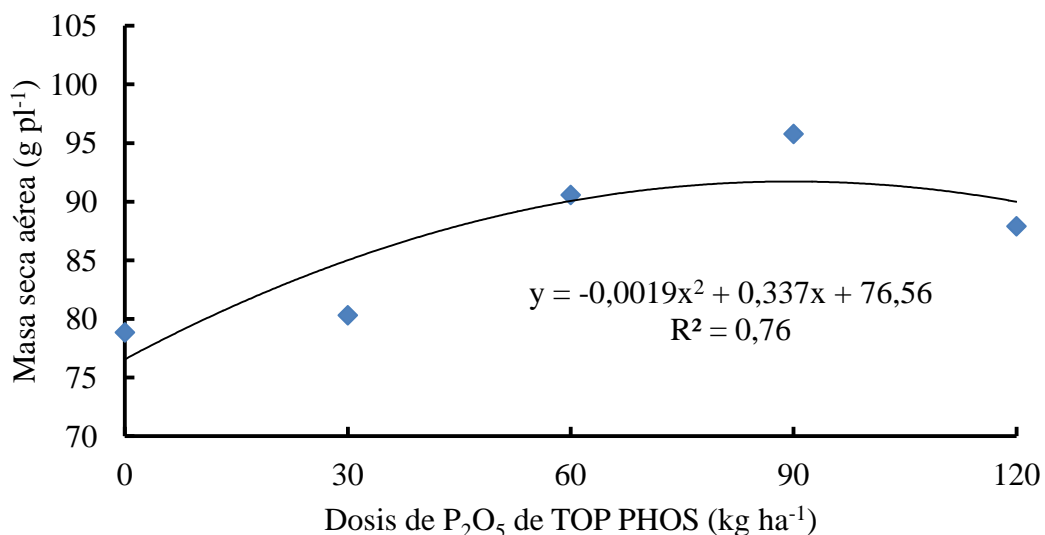


Figura 3. Medias obtenidas en la masa seca aérea de la soja bajo diferentes dosis de TOP PHOS.

En el análisis de regresión para la fuente TOP PHOS, con respecto a la masa seca aérea producida en el estadio R1 se observa un comportamiento ascendente hasta la dosis de 90 kg ha⁻¹ para posteriormente empezar a decaer a medida que aumenta la dosis de fósforo aplicada con esta fuente. La dosis de máxima eficiencia técnica para dicho fertilizante es de 89 kg ha⁻¹.

El análisis de varianza para la variable masa seca aérea de la soja con la aplicación de diferentes dosis de P₂O₅ provenientes de la fuente super fosfato triple demostró que existe diferencias significativas entre dosis, con un diseño de bloques completos al azar, al 5% de probabilidad de error (Anexo 11).

En la Figura 4 se presentan las medias de la masa seca aérea de la soja, obtenidas con la aplicación de diferentes dosis de Súper Fosfato Triple. Además, se presenta la ecuación de regresión y el coeficiente R^2 correspondiente a la regresión polinómica de segundo grado.

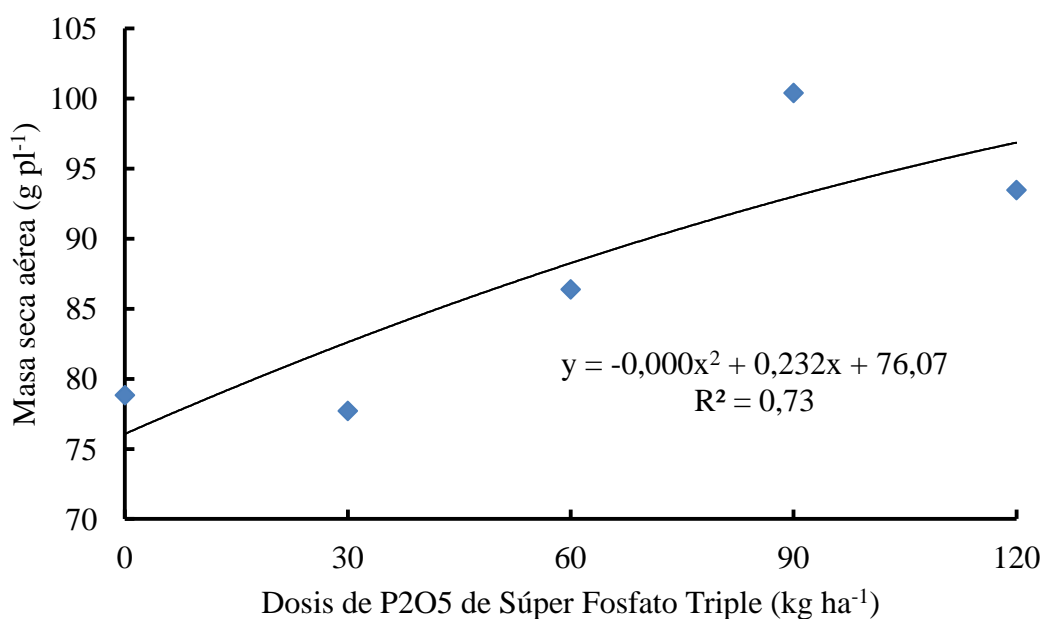


Figura 4. Medias obtenidas en la masa seca aérea de la soja bajo diferentes dosis de Súper Fosfato Triple.

Con la aplicación de dosis crecientes de P₂O₅ con la fuente super fosfato triple se obtuvieron medias de 78, 87, 100 y 83 g pl⁻¹ con dosis de 30, 60, 90 y 120 kg ha⁻¹ respectivamente. Se obtuvo respuesta positiva en la producción de masa seca aérea hasta la dosis de 90 kg ha⁻¹, sin embargo, la dosis de 30 kg ha⁻¹ presentó una producción de masa seca aérea ligeramente menor que el tratamiento testigo. La dosis de máxima eficiencia técnica se obtendría con dosis mayores a las utilizadas en este trabajo.

Teniendo en cuenta las fuentes de fósforo utilizadas en el experimento, convencionales (Súper Fosfato Simple y Súper Fosfato Triple) y diferenciada (TOP PHOS) se observa un comportamiento muy irregular con respecto a las respuestas en producción de masa seca bajo diferentes dosis, este hecho dificulta la posibilidad de definir cuál de las fuentes es más eficiente en cuanto a su utilización por la planta de la soja, lo observado estaría relacionado con las condiciones de buena fertilidad inicial del suelo donde se realizó el experimento y los problemas ligados al clima poco favorable, cantidad y distribución de lluvias, factores que no permitieron observar las bondades del fertilizante diferenciado, con el cual se esperaba mayor producción de masa seca hasta el estadio R1.

4.4 Efecto de diferentes fuentes de fósforo en caracteres de rendimiento de la soja en el estadio R8

En la Tabla 4, se presentan los valores medios obtenidos en la medición de los caracteres de rendimiento, número de plantas del área útil, número de vainas por planta, peso de mil semillas (g) y rendimiento (kg ha⁻¹) en el estadio R8.

Tabla 4. Número de plantas del área útil, número de vainas por planta, peso de mil semillas y rendimiento de la soja en el estadio R8 (03-04-12).

Fuente	Estadio R8			
	Número de plantas del área útil	Número de vainas por planta	Peso de mil semillas (g)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Testigo ¹	95	23,5	130,10	1.307
Súper Fosfato Simple	89 Ns	28,0 Ns	126,16 Ns	1.519 Ns
TOP PHOS	91	28,4	127,77	1.515
Súper Fosfato Triple	92	28,6	129,71	1.498
Media	91	28,36	127,88	1.511
Coefficiente de variación (%)	12,3	17,3	5,0	12,7

¹ El testigo no formó parte del análisis de varianza.

Ns Diferencias no significativas en columnas, en un análisis de varianza con diseño anidado al 5% de probabilidad de error.

En cuanto a los parámetros de rendimiento, los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza, demostraron que no existen diferencias significativas entre las fuentes para los parámetros número de plantas del área útil (Anexo 12), número de vainas por planta (Anexo 13), peso de mil semillas (Anexo 14) y rendimiento (Anexo 15).

Era de esperarse que al no haber diferencias en los parámetros de crecimiento, tampoco se encuentren diferencias en los caracteres de rendimiento y producción de granos. Cubilla et al. (2007) mencionan que los cultivos responden a la aplicación de fósforo, a excepción de zonas donde ocurre déficit hídrico, en las cuales los rendimientos son mucho menores.

Se puede considerar que el principal factor sería el climático, ya que se registraron, principalmente después del primer mes desde la siembra, periodos largos

de falta de agua, principalmente en el inicio de la floración y durante el llenado de los granos, llevando al cultivo a un fuerte estrés hídrico, sin recuperación para desarrollar su potencial de productividad, por tal se explica el hecho de que no se hayan encontrado diferencias significativas entre los parámetros de rendimiento en función a fuentes convencionales y diferenciadas de fósforo. Si bien el fósforo de alguna de las fuentes pudo haber estado más disponible que otras, la planta no pudo absorber las cantidades suficientes para demostrar esas diferencias a causa de la falta de agua en el suelo.

Scheid (1989), explica que la soja absorbe cerca de la mitad del fósforo que necesita durante los últimos cuarenta días de la estación de crecimiento y si la presencia de fósforo disminuye sensiblemente en la mitad del ciclo del cultivo, se puede desistir de obtener la meta inicial de producción. Se hace difícil precisar cuánto de fósforo de cada fuente estuvo disponible para las plantas, pero si se puede deducir que sin humedad suficiente en el suelo, no es determinante cuánto de fósforo hubiera estado disponible en el suelo, sin el agua las plantas no la absorbieron. En este sentido, Rezende (2002) indica que una sequía, aun moderada, puede afectar la nutrición fosfatada de la soja.

Los resultados obtenidos coinciden con los de Cabrera (2011), que no encontró diferencias significativas en cuanto al rendimiento comparando fuentes de fósforo como el súper fosfato simple con el TOP PHOS, sin embargo en aquel experimento obtuvo mejores rendimientos con el fertilizante diferenciado TOP PHOS. Además, el mismo autor encontró mayores rendimientos en 23 de las 24 parcelas de agricultores evaluadas (Zabini et al. 2011).

Fatecha (1999) y Cubilla (2005), aseguran que el nutriente más limitante para la producción en suelos de la Región Oriental es el fósforo y más del 80% de los suelos de esta región presentaron niveles bajos de fósforo disponible, Fernández et al. (1995) afirman que el principal factor limitante de producción en los Ultisoles y Oxisoles es la deficiencia de fósforo y estos son los suelos predominantes de la zona sojera del Paraguay (Hahn y Bonussi 2009).

Otro factor que influencia en la disponibilidad del fósforo es el sistema de manejo del suelo. Así, en suelos bajo sistema de siembra directa, sean estos Oxisoles o Ultisoles, se crea un ambiente donde el contenido de materia orgánica aumenta, el pH tiende a la neutralidad, disminuye la superficie de contacto entre los iones de fósforo y las partículas de suelo (Selles et al. 1997, Garcia y Picone 2007), este nutriente permanece más lábil (Cubilla 2005), los sitios de adsorción de fósforo disminuyen (Cubilla et al. 2007), factores estos que determinan un aumento del fósforo disponible. Estas razones pudieron contribuir para la falta de diferencias significativas entre los rendimientos de diferentes fuentes, ya que al parecer, las condiciones favorables ofrecidas por el sistema de siembra directa y la buena fertilidad inicial del suelo hacen que las bondades del fertilizante diferenciado no se expresen ampliamente.

Además, la condición de limitación de humedad en el suelo, especialmente desde R1 hasta R8 del ciclo de la soja, que no permitió la obtención de los rendimientos esperados en granos con la aplicación de los fertilizantes utilizados (convencionales o diferenciados). La disminución del contenido de humedad en el suelo es más importante desde el inicio de floración (R1), así, se observa que desde la floración hasta el inicio del llenado de granos (R5) se estiman pérdidas de 20% o más en el rendimiento, mientras que el periodo más crítico de falta de agua en el suelo es desde R5 a R7, pudiéndose producir pérdidas de 40% o más en el rendimiento (Andriani 2002).

4.4.1 Rendimiento en granos de la soja con dosis de diferentes fuentes de fósforo

La aplicación de dosis de P_2O_5 provenientes de las tres fuentes utilizadas, super fosfato simple, TOP PHOS y super fosfato triple, presentaron diferencias significativas entre dosis al 5% de probabilidad de error (Anexo 16, 17 y 18).

En la Figura 5 se presenta la media de los rendimientos de la soja obtenidos con la aplicación de diferentes dosis de super fosfato simple. Además, se presenta la ecuación de regresión y el coeficiente R^2 correspondiente a la regresión lineal.

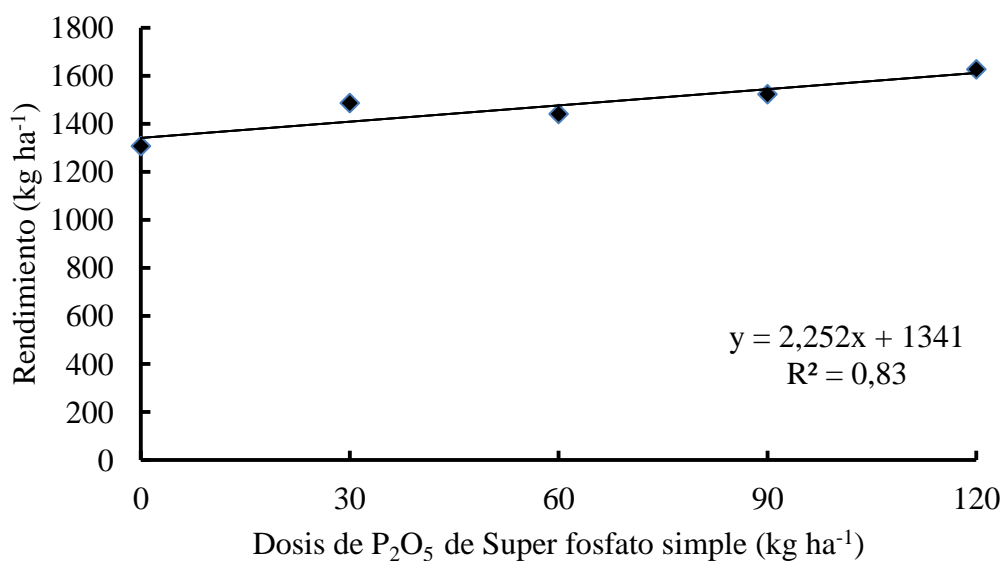


Figura 5. Rendimiento de la soja bajo diferentes dosis de super fosfato asimple.

En la Figura 5, se puede observar que existe un aumento en el rendimiento de granos de acuerdo al aumento de la dosis de fósforo aplicado al suelo en forma de fertilizante super fosfato simple, ajustándose a una ecuación lineal, con todo, los rendimientos obtenidos no fueron los esperados. El menor rendimiento obtenido fue de 1.307 kg ha^{-1} en el tratamiento sin aplicación de P_2O_5 y el más elevado se obtuvo con la dosis máxima aplicada de 120 kg ha^{-1} .

A pesar que los rendimientos no fueron elevados, los resultados coinciden con los obtenidos por Vieira et al. (1986), que indican que con la adición de fósforo al suelo aumenta la producción de granos de soja.

En la Figura 6 se presenta el promedio de los rendimientos de la soja obtenidos con la aplicación de diferentes dosis de TOP PHOS, así como la ecuación de regresión y el coeficiente R^2 correspondiente a la regresión lineal.

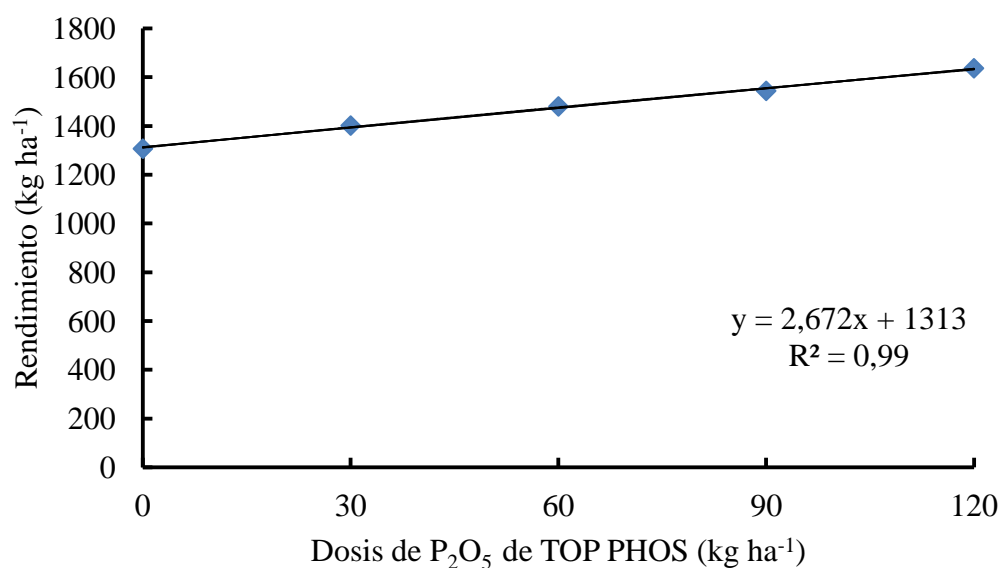


Figura 6. Rendimiento de la soja bajo diferentes dosis de TOP PHOS.

Se puede apreciar el aumento en el rendimiento de granos (Figura 6), debido al aumento de la dosis de fósforo, en la forma del fertilizante TOP PHOS, aplicado al suelo, no obstante los rendimientos obtenidos fueron bajos.

El rendimiento más elevado fue de 1.637 kg ha^{-1} y se obtuvo con el tratamiento de dosis máxima de P_2O_5 aplicado (120 kg ha^{-1}), el comportamiento de la respuesta a la aplicación del fertilizante diferenciado fue lineal aumentando $2,67 \text{ kg}$ de granos por cada kg de P_2O_5 aplicado. En este sentido, la dosis de máxima eficiencia técnica se obtendría con dosis mayores a las utilizadas en este experimento.

Aunque los rendimientos obtenidos fueron bajos, los resultados coinciden con los de Díaz-Zorita et al. (2010), quienes encontraron que con la aplicación de fósforo a la soja, los rendimientos se incrementaban y Nakagawa et al. (1986) quienes encontraron que la producción total de semillas de *Ricinus communis L.* fue incrementada por la acción de la aplicación del fósforo.

En la Figura 7 se presentan los rendimientos promedios de la soja obtenidos con la aplicación de diferentes dosis de super fosfato triple, la ecuación de regresión y el coeficiente R^2 correspondiente a la regresión polinómica de segundo grado.

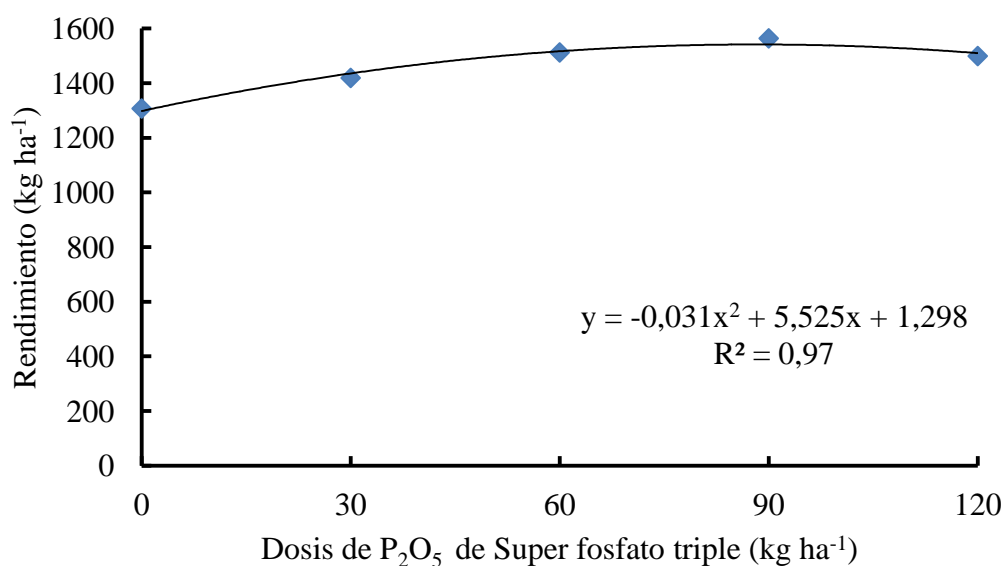


Figura 7. Rendimiento de la soja bajo diferentes dosis de super fosfato triple.

A pesar de que los rendimientos obtenidos fueron bajos, se puede observar el aumento en el rendimiento de granos a partir del incremento en la dosis de fósforo aplicado al suelo en forma del fertilizante super fosfato triple.

Se aprecia que el menor rendimiento fue obtenido sin aplicación de P₂O₅ con 1.307 kg ha⁻¹ y el más elevado fue de 1.558 kg ha⁻¹ (rendimiento de máxima eficiencia técnica) obtenido con la aplicación de 89 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (dosis de máxima eficiencia técnica).

Como el clima no tuvo un comportamiento normal en el periodo de realización del experimento, se estima que el factor limitante para la obtención de altos rendimientos fue la escasa cantidad y mala distribución de lluvias durante el ciclo de la soja, lo cual hizo que el cultivo no desarrolle su máximo potencial de rendimiento. Además, el contenido inicial de fósforo en el suelo estuvo en el nivel considerado alto (Cubilla 2005, Cubilla et al. 2007), lo cual favoreció considerablemente al tratamiento testigo (sin aplicación de P₂O₅), razón por la cual se esperaba una baja probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfatados (Cubilla 2005).

Los resultados obtenidos con la aplicación de dosis crecientes de fósforo, con dosis de super fosfato simple, TOP PHOS o super fosfato triple, coinciden con los resultados de Heyn y Valinotti (1996), Torres et al. (2002), Cubilla (2005), Cubilla et al. (2007), Barbosa et al. (2003), quienes trabajando con diferentes cultivos, encontraron respuesta positiva a la aplicación de fósforo.

4.5 Análisis de suelo posterior a la cosecha de la soja

4.5.1 Concentración de fósforo extractable en el suelo con diferentes fuentes de fósforo

En la Tabla 5, se presentan los valores medios obtenidos con cuatro dosis de P_2O_5 anidadas a tres fuentes de P_2O_5 , posterior a la cosecha de la soja.

Tabla 5. Concentración de fósforo extractable en el suelo a 0-0,1 m, con aplicación de diferentes fuentes de fósforo, posterior a la cosecha de la soja.

Fuente	Contenido de P (mg dm⁻³)
Testigo ¹	15
Super fosfato simple	23 Ns
TOP PHOS	20
Super fosfato triple	20
Media	21
Coefficiente de variación (%)	48,4

¹ El testigo no formó parte del análisis de varianza.

Ns Diferencias no significativas en columnas, en un análisis de varianza con diseño anidado al 5% de probabilidad de error.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza demostraron que no existen diferencias significativas entre las fuentes para la concentración de fósforo extractable en el suelo posterior a la cosecha de la soja (Anexo 19).

El fertilizante con el que se obtuvo un mejor contenido de fósforo en el suelo, extractable por el Método Mehlich 1 fue el super fosfato simple, seguido por el TOP PHOS y el súper fosfato triple, pero las diferencias no son significativas. Esto es explicado por las condiciones iniciales favorables en cuanto al pH, contenido de materia orgánica y buen nivel de fósforo en el suelo, principalmente como producto

de la utilización del sistema de siembra directa, lo cual favorece las características de acumulación de nutrientes como el fósforo y la baja capacidad de fijación del mismo en estos suelos (Eltz et al. 1989).

El hecho de que las condiciones del suelo eran buenas en cuanto al pH (6,03), contenido de materia orgánica (3,55) y buen contenido de fósforo en el suelo (15 mg dm⁻³) en la parcela testigo, clasificado como nivel alto (Cubilla 2005), hicieron que el fertilizante diferenciado no pueda expresar sus cualidades comparado con las demás fuentes, principalmente por el hecho de que los sitios de fijación del fósforo están saturados (Cubilla 2005, Cubilla et al. 2007), por tanto, los fertilizantes convencionales también están mayormente en el suelo en su forma extractable por el método Mehlich 1.

Se puede presumir que los efectos y cualidades del fertilizante diferenciado se expresarían de mejor manera en suelos manejados en el sistema convencional, con revolvimiento continuo del suelo, bajo contenido de nutrientes y materia orgánica, con pH ácido y presencia de óxidos de hierro y aluminio que fijan fósforo, sin embargo, se debe prestar atención al método de extracción del fósforo del suelo, ya que se estima que el extractante Mehlich 1 tiene la capacidad de extraer del suelo una parte del fósforo que no estaría inmediatamente disponible para las plantas.

4.5.2 Concentración de fósforo extractable en el suelo con dosis de diferentes fuentes de fósforo

Se realizó análisis de varianza para la variable concentración de fósforo extractable en el suelo bajo diferentes dosis aplicadas para cada una de las fuentes.

Los resultados obtenidos indican que no se encontraron diferencias significativas en la concentración de fósforo extractable en el suelo, a la profundidad de 0-0,1 m, con la aplicación de diferentes dosis de P₂O₅ en la fuente super fosfato simple (Anexo 20), TOP PHOS (Anexo 21) y super fosfato triple (Anexo 22). Teniendo en cuenta que los rendimientos medios obtenidos en cada fuente tampoco

presentaron diferencias significativas, de manera que la extracción de nutrientes fue semejante considerando las parcelas bajo las diferentes fuentes.

En la Figura 8, se presenta la concentración de fósforo extractable en el suelo para cada tratamiento obtenido mediante análisis químico por el Método Mehlich 1 posterior a la cosecha de la soja.

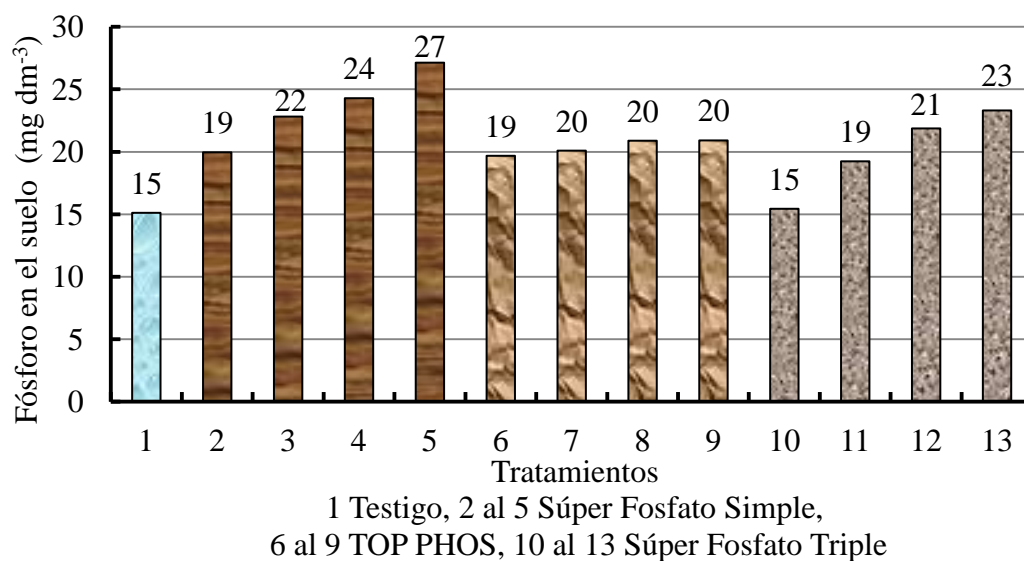


Figura 8. Concentración de fósforo extractable en el suelo posterior a la cosecha de la soja en la profundidad de 0-0,1 m.

Se puede observar que el contenido de fósforo extractable para el tratamiento 1 (Testigo, sin aplicación de P_2O_5) fue de 15 mg dm^{-3} ; para los tratamientos 2, 3, 4 y 5 (aplicación de dosis de 30, 60, 90 y 120 kg ha^{-1} de P_2O_5), pertenecientes a la fuente súper fosfato simple, los valores variaron de 20 a 27 mg dm^{-3} ; para los tratamientos 6, 7, 8 y 9 (aplicación de dosis de 30, 60, 90 y 120 kg ha^{-1} de P_2O_5), pertenecientes a la fuente TOP PHOS, los valores variaron de 20 a 21 mg dm^{-3} ; mientras que para los tratamientos 10, 11, 12 y 13 (aplicación de dosis de 30, 60, 90 y 120 kg ha^{-1} de P_2O_5), pertenecientes a la fuente súper fosfato triple, los valores estuvieron entre 15 y 23 mg dm^{-3} . Una de las causas de no encontrar diferencia significativa está relacionado al alto coeficiente de variación encontrado, principalmente en la fuente súper fosfato simple que presenta una respuesta lineal y va de 15 a 27 mg dm^{-3} .

La aplicación de dosis crecientes de fertilizantes fosfatados, tanto convencionales (súper fosfato simple y súper fosfato triple) como diferenciados (TOP PHOS) incrementaron el contenido de fósforo disponible en el suelo. La aplicación de fertilizantes fosfatados es la forma más rápida de aumentar el contenido de fósforo en el suelo.

Se puede verificar un mayor incremento en la concentración de fósforo extractable en el suelo para los tratamientos que utilizaron como fuente al súper fosfato simple (Tratamientos 2 al 5), por sobre los tratamientos que utilizaron como fuente el TOP PHOS (Tratamientos 6 al 9) y los tratamientos que utilizaron como fuente al súper fosfato triple (Tratamientos 10 al 13). El hecho de que la concentración de fósforo extractable en el suelo, posterior a la aplicación de P_2O_5 vía fertilizantes convencionales y diferenciados, no presenta diferencias significativas está explicado por las condiciones de bajo poder de fijación que poseen los suelos manejados en el sistema de siembra directa, principalmente por el elevado contenido de materia orgánica, pH cercano a la neutralidad y elevado contenido de fósforo, especialmente en la camada 0-0,1 m.

Estas condiciones mencionadas, hacen que el fósforo adicionado al suelo en forma de fertilizantes, convencionales o diferenciados, no sea retenido o fijado en el suelo, principalmente por que los sitios de fijación (óxidos de hierro y aluminio) están saturados (Cubilla 2005). Además, se debe tener en cuenta al extractor utilizado, Mehlich 1 puede sobreestimar la concentración de fósforo disponible en suelos tratados con fertilizantes provenientes de fosfatos naturales.

Además, uno de los factores a tener en cuenta es la variación horizontal en el contenido de fósforo en el suelo, debido a la inclusión de bandas en el momento de la aplicación del fertilizante y el muestreo, ya que el mismo es un elemento considerado poco móvil en el suelo.

Otro factor a tener en cuenta es la dureza en la capa externa de los gránulos del fertilizante TOP PHOS, el cual presenta un proceso distinto de granulación en

relación a los fertilizantes convencionales, hecho que dificulta su solubilización y movimiento, esto explicaría el hecho de encontrar menores cantidades de fósforo extractable en los suelos que fueron tratados con el fertilizante TOP PHOS.

Debido a los factores predominantes que posiblemente llevaron a la ausencia de respuestas significativas entre tratamientos, es importante seguir evaluando el presente experimento por un periodo más largo de tiempo, de manera a detectar posibles respuestas del efecto residual de las dosis y fuentes de fósforo en condiciones climáticas diferentes.

5. CONCLUSIONES

En las condiciones que se desarrollo esta investigación se puede concluir que:

Los parámetros de crecimiento considerados en los estadios V5 y R1 no son afectados por las fuentes de fósforo utilizadas en este experimento.

Los caracteres de rendimiento número de vainas, peso de mil semillas y rendimiento de granos no son afectados por las fuentes de fósforo utilizadas en este experimento.

La producción de granos del cultivo de soja aumenta con dosis crecientes de aplicación de fósforo en forma lineal para las fuentes super fosfato simple y TOP PHOS, con dosis de máxima eficiencia técnica mayores a las utilizadas en este experimento, y en forma polinómica de segundo grado para la fuente super fosfato triple en la cual la dosis de máxima eficiencia técnica es de 89 kg ha^{-1} .

El contenido de fósforo extractable en el suelo posterior a la cosecha de la soja no es afectado por las diferentes fuentes y dosis de fósforo aplicadas, utilizando la solución de Mehlich 1 como extractante.

En condiciones de déficit hídrico el fertilizante diferenciado no produjo efecto significativo en el cultivo de soja.

ANEXOS

Anexo 1. Precipitaciones ocurridas en mm durante el ciclo de la soja (noviembre 2011 a marzo 2012).

Días	2011		2012			
	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1						
2						
3						R8/Cosecha
4						
5						
6						
7						
8		22				
9						
10						
11						
12			78			
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19	Siembra					
20						
21	65		20	10		
22		V5	15		10	
23				45	4	
24			18	12		
25						
26					58	
27						
28						
29						
30	25	22				
31			R1			
Total	90	44	131	67	72	
Media histórica	163,5	139,9	184,1	154,2	136,1	

Fuente: Estancia San Manuel, Centro de Investigación y Desarrollo del Grupo Roullier (2012) y Unidad de Gestión de Riesgos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (UGR-MAG) (2012).

Anexo 2. Análisis de la varianza de la variable altura de planta en el estadio de crecimiento V5 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Altura de planta (cm)	96	0,42	0,29	5,45	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	30,35	18	1,69	3,13	0,0003
Fuente	0,10	2	0,05	0,09	0,9152
Fuente>Dosis	7,09	9	0,79	1,46	0,1774
Repetición	23,17	7	3,31	6,14	<0,0001
Error	41,49	77	0,54		
Total	71,85	95			

Anexo 3. Análisis de la varianza de la variable número de nudos en el estadio de crecimiento V5 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Número de nudos	96	0,23	0,26	5,28	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,36	18	0,13	1,31	0,2056
Fuente	0,21	2	0,11	1,06	0,3506
Fuente>Dosis	0,81	9	0,09	0,90	0,5282
Repetición	1,33	7	0,19	1,91	0,0799
Error	7,69	77	0,10		
Total	10,05	95			

Anexo 4. Análisis de la varianza de la variable masa seca aérea en el estadio de crecimiento V5 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Masa seca aérea (g pl ⁻¹)	96	0,42	0,29	11,35	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	294,98	18	16,39	3,13	0,0003
Fuente	0,87	2	0,43	0,08	0,9207
Fuente>Dosis	44,96	9	5,00	0,95	0,4839
Repetición	249,16	7	35,59	6,80	<0,0001
Error	402,94	77	5,23		
Total	697,92	95			

Anexo 5. Análisis de la varianza de la variable altura de planta en el estadio de crecimiento R1 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Altura de planta (cm)	96	0,44	0,31	5,75	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1025,32	18	56,96	3,36	0,0001
Fuente	5,12	2	2,56	0,15	0,8600
Fuente>Dosis	369,03	9	41,00	2,42	0,0178
Repetición	651,17	7	93,02	5,49	<0,0001
Error	1304,82	77	16,95		
Total	2330,14	95			

Anexo 6. Análisis de la varianza de la variable número de nudos en el estadio de crecimiento R1 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Número de nudos	96	0,23	0,05	7,06	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	17,59	18	0,98	1,27	0,2331
Fuente	1,83	2	0,92	1,19	0,3104
Fuente>Dosis	6,02	9	0,67	0,87	0,5571
Repetición	9,73	7	1,39	1,80	0,0984
Error	59,35	77	0,77		
Total	76,93	95			

Anexo 7. Análisis de la varianza de la variable diámetro de tallo en el estadio de crecimiento R1 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Diámetro de tallo	96	0,39	0,24	7,88	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,21	18	0,01	2,71	0,0013
Fuente	3,9e-03	2	2,03e-03	0,46	0,6311
Fuente>Dosis	0,09	9	0,01	2,40	0,0189
Repetición	0,11	7	0,02	3,75	0,0015
Error	0,33	77	4,2E-03		
Total	0,53	95			

Anexo 8. Análisis de la varianza de la variable masa seca aérea en el estadio de crecimiento R1 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Masa seca aérea (g pl ⁻¹)	96	0,27	0,10	16,64	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	6400,63	18	355,59	1,56	0,0919
Fuente	499,46	2	249,73	1,10	0,3388
Fuente>Dosis	3546,24	9	394,03	1,73	0,0959
Repetición	2354,92	7	336,42	1,48	0,1874
Error	17518,37	77	227,51		
Total	23919,00	95			

Anexo 9. Análisis de la varianza de la variable masa seca aérea con dosis de Súper Fosfato Simple en el estadio de crecimiento R1 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Masa seca parte aérea (g pl ⁻¹)	40	0,3	0,02	17,72	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3068,8	11	278,98	1,08	0,4136
Dosis	1724,56	4	431,14	1,66	0,1865
Repetición	1344,24	7	192,03	0,74	0,6397
Error	7258,23	28	259,22		
Total	10327,03	39			

Anexo 10. Análisis de la varianza de la variable masa seca aérea con dosis de TOP PHOS en el estadio de crecimiento R1 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Masa seca parte aérea (g pl ⁻¹)	40	0,37	0,12	13,62	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2245,20	11	204,11	1,46	0,2004
Dosis	1609,75	4	402,44	2,89	0,0404
Repetición	635,45	7	90,78	0,65	0,7102
Error	3902,56	28	139,38		
Total	6147,76	39			

Anexo 11. Análisis de la varianza de la variable masa seca aérea con dosis de Súper Fosfato Triple en el estadio de crecimiento R1 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Masa seca parte aérea (g pl ⁻¹)	40	0,45	0,23	17,55	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5290,97	11	481	2,05	0,0621
Dosis	2992,93	4	748,23	3,18	0,0283
Repetición	2298,05	7	328,29	1,4	0,246
Error	6585,10	28	235,18		
Total	11876,07	39			

Anexo 12. Análisis de la varianza de la variable número de plantas del área útil en el estadio de crecimiento R8 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Número de plantas	96	0,27	0,10	12,30	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	3563,85	18	197,99	1,59	0,0839
Fuente	130,90	2	65,45	0,53	0,5933
Fuente>Dosis	808,22	9	89,90	0,72	0,6881
Repetición	2624,74	7	374,96	3,01	0,0075
Error	9588,64	77	124,53		
Total	13152,49	95			

Anexo 13. Análisis de la varianza de la variable número de vainas en el estadio de crecimiento R8 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Número de vainas	96	0,16	0,00	17,35	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	363,90	18	20,22	0,84	0,6545
Fuente	6,92	2	3,46	0,14	0,8670
Fuente>Dosis	143,74	9	15,97	0,66	0,7424
Repetición	213,24	7	30,46	1,26	0,2822
Error	1864,13	77	24,21		
Total	2228,04	95			

Anexo 14. Análisis de la varianza de la variable peso de mil semillas en el estadio de crecimiento R8 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso de mil semillas (g)	96	0,34	0,18	5,02	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1604,09	18	89,12	2,16	0,0106
Fuente	202,25	2	101,12	2,46	0,0926
Fuente>Dosis	657,03	9	73,00	1,77	0,0872
Repetición	744,81	7	106,40	2,58	0,0190
Error	3171,58	77	41,19		
Total	4775,67	95			

Anexo 15. Análisis de la varianza de la variable rendimiento en el estadio de crecimiento R8 de la soja.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	96	0,24	0,07	12,72	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	918925,39	18	51051,41	1,38	0,1650
Fuente	7833,89	2	3916,95	0,11	0,8995
Fuente>Dosis	473763,75	9	52640,42	1,43	0,1921
Repetición	437327,74	7	62475,39	1,69	0,1235
Error	2843730,77	77	36931,57		
Total	3762656,16	95			

Anexo 16. Análisis de la varianza para la variable rendimiento de granos de soja con la aplicación de diferentes dosis de P₂O₅ con la fuente Súper Fosfato Simple.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	40	0,42	0,20	13,45	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	810875,10	11	73715,92	1,87	0,0891
Dosis	438172,35	4	109543,09	2,78	0,0464
Repetición	372702,75	7	53243,25	1,35	0,2653
Error	1105255,10	28	39473,40		
Total	1916130,20	39			

Anexo 17. Análisis de la varianza para la variable rendimiento de granos de soja con la aplicación de diferentes dosis de P_2O_5 con la fuente TOP PHOS.

Variable	N	R^2	R^2Aj	CV	
Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$)	40	0,45	0,23	13,04	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	843460,28	11	76678,21	2,08	0,0582
Dosis	516371,55	4	129092,89	3,50	0,0195
Repetición	327088,73	7	46726,96	1,27	0,3026
Error	1033832,08	28	36922,57		
Total	1877292,36	39			

Anexo 18. Análisis de la varianza para la variable rendimiento de granos de soja con la aplicación de diferentes dosis de P_2O_5 con la fuente Súper Fosfato Triple.

Variable	N	R^2	R^2Aj	CV	
Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$)	40	0,47	0,27	10,62	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	606121,26	11	55101,93	2,29	0,0377
Dosis	320894,14	4	80223,53	3,33	0,0236
Repetición	285227,12	7	40746,73	1,69	0,1514
Error	673755,43	28	24062,69		
Total	1279876,68	39			

Anexo 19. Análisis de la varianza para la variable concentración de fósforo extractable en el suelo con la aplicación de diferentes fuentes de P_2O_5 , después de la cosecha de la soja.

Variable	N	R^2	R^2Aj	CV	
Fósforo en el suelo ($mg\ dm^{-3}$)	96	0,33	0,18	48,46	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	4098,46	18	227,69	2,14	0,0117
Fuente	245,36	2	122,68	1,15	0,3216
Fuente>Dosis	510,17	9	56,69	0,53	0,8469
Repetición	3342,92	7	477,56	4,48	0,0003
Error	8203,89	77	106,54		
Total	12302,35	95			

Anexo 20. Análisis de la varianza para la variable concentración de fósforo extractable en el suelo con diferentes dosis de P_2O_5 , con la fuente Súper Fosfato Simple.

Variable	N	R^2	R^2A_j	CV	
Fósforo extractable ($mg\ dm^{-3}$)	40	0,27	0,00	59,77	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1767,03	11	160,64	0,94	0,5181
Dosis	669,88	4	167,47	0,98	0,4339
Repetición	1097,15	7	156,74	0,92	0,5075
Error	4780,85	28	170,74		
Total	6547,88	39			

Anexo 21. Análisis de la varianza para la variable concentración de fósforo extractable en el suelo con diferentes dosis de P_2O_5 , con la fuente TOP PHOS.

Variable	N	R^2	R^2A_j	CV	
Fósforo extractable ($mg\ dm^{-3}$)	40	0,25	0,00	50,22	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	884,56	11	80,41	0,85	0,5927
Dosis	187,07	4	46,77	0,5	0,7388
Repetición	697,49	7	99,64	1,06	0,4161
Error	2640,21	28	94,29		
Total	3524,77	39			

Anexo 22. Análisis de la varianza para la variable concentración de fósforo extractable en el suelo con diferentes dosis de P_2O_5 , con la fuente Súper Fosfato Triple.

Variable	N	R^2	R^2A_j	CV	
Fósforo extractable ($mg\ dm^{-3}$)	40	0,41	0,18	44,15	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1377,36	11	125,21	1,78	0,1063
Dosis	436,97	4	109,24	1,55	0,2141
Repetición	940,39	7	134,34	1,91	0,1055
Error	1968,61	28	70,31		
Total	3345,98	39			

REFERENCIAS

Andriani, JM. 2002. Estrés Hídrico en soja. IDIA 21 (3): 48-51.

Arzuaga, AS.; Fernández, I.; Dalurzo, C; Vazquez, HC; Sara. 2005. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. (en línea). Consultado 18 may 2012. Disponible en <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/5-Agrarias/A-066.pdf>

Barbosa I, Vilela de Resende A, Furtini Neto AE, Alves VM, Lopez J. 2003. Eficiencia nutricional do milho em resposta a fontes e modos de aplicacao de fósforo. CERES 50 (287):27-39

Barreto, UF. 2008. Recomendação de fertilização fosfatada e potásica para as principais culturas de grãos sob sistema de planto direto no Paraguai. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. (BR). 223f.

Boschetti, NG; Quintero, CE; Benavidez, RA; Giuffre, L. 2003. Cuantificación de las fracciones orgánicas de fósforo en suelos de la Mesopotamia Argentina. (en línea). Consultado 20 may 2012. Disponible en http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_21n1/boschetti_1-8.pdf.

Boschetti, NG; Quintero, CE. 2006. Importancia del fósforo Orgánico del Suelo en la Nutrición Fosfatada de los Cultivos. (en línea). Consultado 11 abr 2012. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/Importancia%20del%20fosforo%20organico%20del%20suelo.asp>.

Cabrera, AA. 2011. Efectos de fertilizantes fosfatados sobre el crecimiento y rendimiento de la soja (*Glycine max* L.). Tesis (Ing. Agr.). San Lorenzo, PY: Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA. UNA. 36p.

Cargill, 1982. A Soja no Brasil Central, 2da Edición. Campinas (BR). 444p.

Clovis, M. 2000. Fertilización fosfatada (en línea). Consultado 14 mar. 2012. Disponible en http://www.agrobit.com.ar/Info_técnica/agricultura/fertilización/AG_000001fe.htm

Cubilla, MM. 2005. Calibração visando recomendação de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (BR). 160f.

Cubilla MM, Amado TJC, Wendling A, Eltz FLF, Mielniczuk J. 2007. Calibração visando a fertilização com fósforo para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. Revista Brasileira de Ciência del suelo. v. 31 pag:1463-1474.

De Las Salas, G. 1987. Suelos y ecosistemas forestales. San José-Costa Rica. 437p. (en línea). Consultado 15 abr 2012. Disponible en http://books.google.com/books?hl=es&lr=lang_es&id=hC4Fdd-LhNsC&oi=fnd&pg=PR1&dq=f%C3%B3sforo+en+el+sistema+suelo+planta&ots=yDeNwkcf-w&sig=9kg0v2bIj2anget4cA7CWAH5cdg#v=onepage&q=f%C3%B3sforo%20en%20el%20sistema%20suelo-%20planta&f=false.

Diaz-Zorita M, Aranguren J, Aguilar R, Satorre E. 2010. Fertilización fosfatada e inoculación de soja en Vertisoles. CI. Suelo (AR) 28 (2):215-222

Dominguez, VA. 1997. Tratado de fertilización. Madrid, ES. 607p.

Duque, A. 2000. Recomendaciones Técnicas, Técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. EMBRAPA, Agropecuaria Oeste. Dourados, MS. (BR). 176p.

Eltz FLF, Peixoto, RTG, Jaster F. 1989. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de un latossolo bruno álico. Revista Brasileira de Ciência del Suelo. (BR) 13:259-267.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria). 1992. Soja: Recomendaciones técnicas para o Mato Grosso do Sul. Dourados, MS. (BR). 179p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, BR). 2003. Tecnologías de producción de soja, Região Central do Brasil, Dourados, MS (BR).

FAO, 1995. El cultivo de la soja en los Trópicos: mejoramiento y producción. EMBRAPA, Roma. 255p.

Fatecha, A. 1999. Guía para la fertilización de cultivos anuales e perennes de la Región Oriental del Paraguay. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Subsecretaría de Estado de Agricultura, Dirección de Investigación Agrícola. Caacupé (PY).

Fatecha, A. 2004. Fertilidad de Suelos (Material didactico elaborado para la cátedra de Fertilidad de Suelos). /San Lorenzo, PY/ : CIA, FCA, UNA. 198p.

Fatecha, D. 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. Tesis (Ing.Agr.). San Lorenzo, PY : DeSOT, CIA, FCA, UNA. 88 p.

Fernández, EM; Crusciol, CA; Thimoteo, CM. de S; Rosolem, CA. 1995. Materia seca y nutrición de soja en razón de compactación de suelo y la fertilización fosfatada. Científica (BR) 23 (1): 117-121

Fernández, LC; Vazquez, S; Dalurco, HC; Morales. 2001. Índice de disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante en suelos de la provincia de Misiones, Argentina. (en línea). Consultado 14 jun 2012. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072001000200013.

Ferraris, GN; Ferrari, M; Ostojic, JJ. 2001. Fertilización fosforada en soja. Revista de Tecnología Agropecuaria. (AR) 6 (18). 20-23

García, FO; Picone, LI. 2007. Dinámica y manejo de fósforo en siembra directa. (en línea). Consultado 04 may 2012. Disponible en <http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos / dinamica-manejo-fosforo-siembra-t1524/p0.htm>.

Gatiboni, LC. 2003. Disponibilidade de formas de fósforo do solo ás plantas. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS (BR). 231f.

Gross, A; Dominguez, VA. 1992. Abonos: Guías Prácticas de Fertilización. Madrid (ES). 420p.

Guardado, I; Urrutia, O; Garcia Mina, JM. 2005. Methodological Approach to the Study of the Formation and Physicochemical Properties of Phosphate-Metal-Humic Complexes in Solution. *J. Agric. FoodChem.*, 53: 8673-8678.

Guardado, I; Urrutia, O; Garcia Mina, JM. 2007. Size Distribution, Complexing Capacity, and Stability of Phosphate-Metal-Humic Complexes. *J. Agric. FoodChem.*, 55: 408-413.

Guardado, I; Urrutia, O; Garcia Mina, JM. 2008. Some Structural and Electronic Features of the Interaction of Phosphate with Metal-Humic Complexes. *J. Agric. FoodChem.*, 56: 1035-1042.

Guerrero, A. 1987. Cultivos herbáceos extensivos, 4ta edición, revisada y ampliada. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid (ES). 756p.

Hann, E; Bonussi, D. 2009. Programa de manejo de suelo. Cooperativa Colonias Unidas. (en líneas) consultado 08 jun 2012. Disponible en: [http://oil-palm.org/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/159893DBD381A725852576E10061A5A7/\\$file/5.pdf](http://oil-palm.org/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/159893DBD381A725852576E10061A5A7/$file/5.pdf).

Heyn R, Valinotti P. 1996. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada sobre la productividad del pasto setaria (*Setaria anceps* S.) cv. Kazungula. *Investigación Agraria. Asunción (PY)* 1 (1):35-40.

Huespe, H; Spinzi, L; Curiel, MV; Burgos, S; Rodas, O. 1995. Atlas ambiental de la Región Oriental del Paraguay. San Lorenzo, PY : CIF, FCA, UNA/GTZ. 2 v.

Litzenberger, SC. 1976. Guía para cultivos en los trópicos y subtropicos. (ES). 119-123.

López, O; González, E; De LLamas, P; Molinas, A; Franco, E; García, S; Rios, E. 1995. Mapa de Reconocimiento de Suelos de la Región Oriental del Paraguay. Asunción, PY: MAG/Banco Mundial/Gobierno del Japón/Servicio Geodésico Interamericano. Escala 1:500.000. Color. (Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra).

MAG-UGR (Ministerio de Agricultura y Ganadería-Unidad de Gestión de Riegos). 2012. (Datos climáticos históricos por localidades, zona Minga Guazú). (Disco Compacto) Caacupé-Paraguay.

Malavolta, E. 1980. Elementos de Nutrición mineral de plantas. Sao Paulo, BR: Editora Agronómica CERES. 292 p.

Malavolta, E. (2006). Manual de nutricao mineral de plantas. Ceres. São Paulo (BR). 638 p.

Martinazzo, R. 2006. Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria-RS (BR). 84 f.

Mello, AF; Moacry, OC; Arzolla, S. 1988. Fertilidad de solo. Brasilia (BR). 400p.

Mendoza, RE. 1989. Ritmo de la reacción entre el fósforo y el suelo y su relación con el valor residual del fósforo aplicado para el crecimiento del trébol (en línea). Consultado 14 jun 2012. Disponible en http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_7n1y2/Mendoza.pdf.

Mielniczuk, J; Ludwick, A; Volkweis, S. 1969. Estudos iniciais de calibração de análises para fósforo e potássio do solo com a cultura do trigo. Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS. Porto Alegre (BR). 10p.

Muzilli, O. 1983. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p. 95-100.

Nakagawa J. Levorato E. Boaretto AE. 1986. Efeitos de doses crescentes de termofosfato na presença e ausência de micronutrientes, em dois cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.). Científica, Sao Paulo (BR). 14 (1/2):55-64.

Peroni, MRS. 2005. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el tenor del fósforo de cinco suelos del Paraguay y el crecimiento del maíz. Tesis (Ing. Agr.). San Lorenzo, PY: Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA. UNA. 53p.

Primavesi, A. 1988. Manejo ecológico do solo, agricultura en regioes tropicais. Sao Paulo, (BR) Nobel. 550p.

Raij, B. 1991. Fertilidade do solo e adubacao. Ceres. Sao Pulo (BR). 343p.

Rheinheimer, DS; Anghinoni, I. 2001. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, p 151-160.

Rheinheimer, DS. 2000. Dinámica do fósforo em sistemas de manejo de solos. Tesis (Dr). UFRGS/PGCS. Porto Alegre (BR). 211p.

Rezende, De M. 2002. Eficiencia de adubação fosfatada. (En línea). Consultado 15 de abril 2012. Disponible en <http://www.agromail.net/agro/datos/a330-1677.html>

Sanchez, A. 1987. Cultivos oleaginosos. Manual para educación agropecuaria, Área Producción Vegetal. Trillas. México (MX). 73p.

Sheid, A. 1989. Manual de fertilidade do solo. ANDA/POTAFOS. Sao Paulo (BR). 155f.

Schindwein, JA; Anghinoni, I. 2000. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. Ciência Rural, v. 30, p. 611-617.

Selles, F. 1997. Distribution of fhosforus fractions in Braziliam oxisol under diferent tillage systems. Soil Tillage Research, Amsterdam, v. 44, p. 23-34.

Sovalvarro, CU; Cruz, I. 1999. Estudio de periodos de enmalezamiento y de control de malezas sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de la soja. Tesis (Ing. Agr.) Managua, Nicaragua. FAGRO. UNA. 50p.

Suñer, L; Galantini, JA; Rosell, R. 2005. Informaciones Agronómicas. Comisión de Investigaciones Científicas. (en línea). Consultado 21 may 2012. Disponible en [http://www.IPNI.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/BB473F7833FFC2BB03256FCB00731978/\\$file/Su%C3%B1er-Cambios+del+Psuelo.pdf](http://www.IPNI.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/BB473F7833FFC2BB03256FCB00731978/$file/Su%C3%B1er-Cambios+del+Psuelo.pdf).

Torres OA, Schumacher MV, Vogel H, Davila M, Barichelo L. 2002. Aplicación de diferentes dosis de fósforo en la producción de mudas de (Hovenia dulcis) McBR (Uva del Japón). Investigación Agraria. Asunción (PY) 4 (2):5-9.

Velazco, AH. 1983. Uso y manejo de suelo. México, (MX): Limusa. 191p.

Vieira RD, Mauro AO, Fernandes FM, Banzato DA. 1986. Efeito da adubacao fosfatada sobre a producao e algumas características fenológicas da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), em solo antes sob vegetacao de cerrado. Científica, Sao paulo (BR). 14 (1/2):19-27.

Vivas, H. 2003. Residualidad de la fertilización fosfatada y la influencia en la producción de soja. INTA, (en línea) Santa Fe. Consultado el 10 abril 2012. Disponible en <http://ppi-ppic.org/ppiweb/itams.nsf>

Wendling, A. 2005. Recomendação de nitrogênio e potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS (BR). 160f.

Zabini AV, Ianesko P, Cabrera A. 2011. Evaluación de la eficiencia agronómica de TOP PHOS en cultivos comerciales de soja de Paraguay. Simposio Paraguayo de manejo y conservación de suelos 2da / 2011 / San Lorenzo Paraguay. Pag:110-113.