

CARACTERES PRODUCTIVOS DE VARIEDADES DE SOJA INFLUENCIADAS POR DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO

PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF SOYBEAN VARIETIES INFLUENCED BY PHOSPHORUS AVAILABILITY

Modesto Osmar Da Silva Oviedo^{1a*}, Diosnel Duarte Martinez², Alvaro Manuel Huerta Maciel^{1b}, Amilcar Servin Niz^{1c}, Eulalio Morel López^{1d}, Wilfrido Daniel Lugo Pereira^{1e} y Derlys Fernando López Ávalos^{1f}

^{1a} Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Concepción. Concepción, Paraguay
dasilvaoviedomodesto@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2546-3936>

^{1b} Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Concepción. Concepción, Paraguay
alvarohuer66@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5522-3269>

^{1c} Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Concepción. Concepción, Paraguay
servinamilcar@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1717-0893>

^{1d} Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Concepción. Concepción, Paraguay
lopezeulalio@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5316-2108>

^{1e} Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Concepción. Concepción, Paraguay
wdlugo.26@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7217-1587>

^{1f} Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Concepción. Concepción, Paraguay
derlysfernando@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4371-9723>

² Semillero de Investigación, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Concepción, Concepción, Paraguay
duartemartinezdiosnel@gmail.com

* Autor para correspondencia: dasilvaoviedomodesto@gmail.com

RESUMEN

La soja es de vital importancia para la economía de Paraguay, constituyendo uno de sus pilares fundamentales, a través de la generación de empleo en diversos sectores, desde la producción hasta la comercialización y exportación. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de distintos niveles de fósforo en dos variedades de soja. El experimento se desarrolló en la localidad de San Felipe a 25 kilómetros de la ciudad de Horqueta, Paraguay, durante los meses de diciembre 2022 a marzo del 2023. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con un arreglo factorial de 4×2 , siendo el factor A: diferentes niveles de fósforo (el testigo: 0, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹) y el factor B: variedades de soja (Parso XIX y Parso XXIV). Las siguientes variables fueron evaluadas: altura de planta, número de vainas por planta, número de granos por planta, peso de mil granos y rendimiento de la soja. Las variables se sometieron a análisis de varianza y el Test de Fisher de

medias, comparadas por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Se concluye que, para la altura de plantas, los niveles de fósforo utilizados no produjeron efectos estadísticos ni tampoco hubo diferencias entre variedades. Para el número de vainas por planta, número de granos por planta y rendimiento, el Factor A solo presentó efecto dentro de la variedad Parso XXIV, siendo la mejor dosis de fósforo 120 kg ha⁻¹; al comparar las variedades del Factor B, la variedad Parso XXIV fue la superior estadísticamente.

Palabras clave: niveles de fósforo, variedades, soja, dosis recomendada.

ABSTRACT

Soybeans are of vital importance to the Paraguayan economy, constituting one of its fundamental pillars, from production to marketing and export. The objective of this study was to evaluate the effect of applying different levels of phosphorus to two soybean varieties. The experiment was carried out in the town of San Felipe, 25 kilometers from the city of Horqueta, Paraguay, from December 2022 to March 2023. A randomized complete block design with a 4 x 2 factorial arrangement was used, with factor A representing different phosphorus levels (control: 0, 40, 80, and 120 kg ha⁻¹) and factor B representing soybean varieties (Parso XIX and Parso XXIV). Plant height, number of pods per plant, number of grains per plant, thousand-grain weight, and soybean yield were evaluated. The data obtained were subjected to analysis of variance (ANOVA) and Fisher's test, and means were compared using Tukey's test at a 5% probability level. Under the conditions of this experiment, it was concluded that for the variable plant height, the phosphorus levels used had no statistically significant effect, nor were there any differences between varieties. For the variables number of pods per plant, number of grains per plant, and yield, Factor A only showed an effect within variety Parso XXIV, with the optimal dose being 120 kg ha⁻¹. When comparing varieties under Factor B, Parso XXIV was statistically superior.

Keywords: phosphorus levels, varieties, soybean, recommended dose.

INTRODUCCIÓN

El área global de la siembra de soja es aproximadamente de 125 millones de hectáreas y la producción global es de 348 millones de toneladas (FAO, 2018; CONAB, 2020).

El área de siembra de la soja en el Paraguay ha ido incrementándose a través del tiempo, desde un millón hasta más de tres millones de hectáreas cultivadas en el país. Se reporta en el último registro en la zafra 2022-2023, un rendimiento promedio estimativo de 2.743 kg ha⁻¹ para los departamentos de Alto Paraná, Canindeyú, Itapúa, Caaguazú y San Pedro como los mayores productores sojeros (CAPECO, 2023; INBIO, 2023).

Como cualquier cultivo, la soja es una planta que demanda nutrientes esenciales para lograr desarrollarse, aspirando a máximos rendimientos que conlleva a una nutrición adecuada que genere el aparte del suministro necesario, la manutención de la fertilidad del suelo a lo extenso del tiempo (García y Ciampitti, 2016).

El suelo es un recurso de suma importancia es parte integral del agrosistema, puesto que posee una infinidad de funciones y servicios ecosistémicos, entre los más destacados se encuentran: provisión de alimentos, hábitat

de microorganismos, soporte físico, reserva energética, reciclaje de nutrientes, retención del agua, patrimonio cultural, sumidero de carbono, regulación climática, etc. (Trujillo et al. 2018).

El manejo de la fertilidad del suelo es fundamental, este siendo puesto en marcha al determinar las propiedades físicas y químicas específicas de un lote, mediante un análisis de suelo, una herramienta importante para conocer el potencial de un suelo. Con el objeto de optimizar el rendimiento, se puede planificar el manejo de un lote al corregir todas aquellas deficiencias que presente el suelo según señalan Lizcano et al. (2017).

Los requerimientos de fósforo para el óptimo crecimiento de la soja están en el rango de 0,3 a 0,5% de la materia seca de la planta, para el periodo de crecimiento vegetativo. La mayor demanda de fósforo ocurre durante el crecimiento inicial del cultivo y la formación de las semillas, por lo que la aplicación de fertilizante al momento de la siembra puede ser recomendable, especialmente en suelos con bajo contenido de P (Cevallos et al., 2018).

La respuesta del cultivo de soja a la fertilización fosfatada aumenta cuando el nivel de fósforo extractable en la capa superficial (0-20 cm) de los suelos disminuye, estableciéndose

valores umbral que oscilan entre 10 y 16 mg kg⁻¹ de P. Una de las principales limitantes para la productividad del cultivo de soja es la carencia de fósforo. Una deficiencia de P puede provocar mermas de rendimiento, principalmente por una disminución en la nodulación, fijación de N y área foliar, afectando negativamente el número de granos de las plantas (Sucunza et al., 2018).

Para una correcta recomendación de fertilización fosfatada, la fuente y la dosis de aplicación son importantes, ya que dosis inferiores a las ideales no serán suficientes para el buen desarrollo de los cultivos, mientras que dosis superiores, no solo generan gastos, sino también antagonismo con otros iones y en el caso extremo precipitación en forma de compuestos. Para una correcta composición y fertilización de cada cultivo, es necesario evaluar no solo los efectos directos de los fertilizantes en los componentes de producción y productividad, sino también la dinámica del nutriente en el sistema de cultivo (Santini et al., 2019).

Uno de los cultivos más extractivos es la soja, puesto que devuelve muy pocos nutrientes al suelo, exportándose la mayor parte de estos en el grano (Ferraris, 2015). La soja extrae por año 60% de fósforo, del total extraído por todos los cultivos extensivos. La remoción de fósforo en un cultivo es de soja de 4.000 kg ha⁻¹, equivale 132 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente (Torresel, 2016).

Debido a lo expuesto anteriormente, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de distintos niveles de fósforo, en dos variedades de soja. Las variables respuestas propuestas, fueron altura de planta, el número de vainas por planta, el número de granos por planta, el peso de mil granos y el rendimiento de la soja.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y caracterización del área experimental

El experimento se desarrolló durante los meses de diciembre 2022 a marzo del 2023 en la localidad de San Felipe 25 km de la ciudad de Horqueta, Departamento de Concepción, Paraguay, circunscripta en las coordenadas 23°24'41" de latitud Sur y 57°24'43" de longitud Oeste. La región caracteriza por presentar una temperatura promedio de 26 °C, con máximas que pueden llegar hasta 45 °C en verano y mínimas de hasta 4 °C en invierno, el clima en el periodo experimental fluctuó entre 20 a 30°C. La precipitación media anual es de 1.400 mm, según datos proveídos por la Dirección de Meteorología e Hidrología de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC, 2023).

Las informaciones previas de los atributos físico-químicos del suelo en el área experimental se obtuvieron mediante análisis (Tabla 1 y 2), según las metodologías propuestas por Carter y Gregorich (2001) y por Reed (1996). El suelo pertenece al Orden Ultisol (López et al., 1995).

Diseño experimental

El experimento fue ajustado en un diseño de bloques completos al azar en un esquema factorial de 4 × 2, siendo el Factor A: niveles de fósforo (tratamientos): 0, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹. El fósforo usado fue superfosfato Triple 46% de P₂O₅. El Factor B: variedades de soja (Parso XIX y Parso XXIV).

En total se establecieron ocho tratamientos con tres repeticiones cada uno de ellos, por ello, se trabajó con 24 unidades experimentales (UE), de una superficie de 20 m² (4 × 5 m) cada una. Las

Tabla 1. Análisis químicos del suelo utilizado en el experimento.

Table 1. Chemical analysis of the soil used in the experiment.

Prof. (cm)	pH H ₂ O	M. O. %	Ca mg kg ⁻¹	Mg mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	Clase Textural
0-20	5,50	1,00	752	150	60	9,0	Franco arenosa

Tabla 2. Parámetros de las propiedades físicas analizadas.

Table 2. Parameters of the analyzed physical properties.

Profundidad Cm	Humedad gravimétrica %	Densidad aparente g cm ⁻³	Humedad volumétrica %	Punto de marchitez permanente %
20	26,7	1,458	40,4	16,3

principales características de la Parso XIX son: ciclo semi precoz, días para la floración de 45 a 55 días, días para la madurez 130 a 140 días, crecimiento del tallo indeterminado, rendimiento medio entre 2.500 y 3.500 kg ha⁻¹ y moderadamente resistente al tumbamiento o tendedura. La Parso XXIV se caracteriza por poseer: ciclo semi precoz, días para floración 45 a 50 días, días para la madurez 128 a 141 días, crecimiento de tallo determinado, días para la floración 45 a 50 días y rendimiento medio entre 3.000 a 4.500 kg ha⁻¹.

El área total del experimento consistió de una superficie de 680 m², siendo el área útil (AU) de 12 m². En cada parcela fueron colocadas cuatro hileras de soja, con diez plantas por cada hilera (10 cm entre plantas), totalizando 440 plantas por UE. El espaciamiento entre cada hilera fue constante de 45 cm y entre plantas de 10 cm.

Para iniciar la instalación del experimento se realizó la extracción de muestras de suelo compuestas con un total de 10 sub muestras, extraídas a una profundidad de 20 cm. La muestra obtenida fue remitida al Laboratorio para determinar las características físicos-químicos del suelo. La siembra fue realizada en la primera quincena del mes de diciembre (primavera), en forma manual. Las semillas recibieron un tratamiento preventivo con fungicidas e insecticidas con Clorantraniliprol: 62,5% e Inertes: 37,5% para hacer un cuidado preventivo; una vez secos y adheridos a la semilla, se procedió a realizar la inoculación a base de *Bradyrhizobium japonicum* en una dosis de 100 mL por cada 50 kg de semilla.

La aplicación del fertilizante fue realizada al momento de la siembra, paralelo a las líneas de siembra a una profundidad aproximada de 8-10 cm; se utilizó como fuente de fósforo se el Súper fosfato triple 00-46-00, con las dosis ya establecidas de 0, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹. La dosis de fósforo aplicado al suelo fue de 80 kg ha⁻¹ de acuerdo a lo sugerido por Toledo (2016), quien recomienda entre 70 a 90 kg de P₂O₅ para el cultivo de soja.

Variables del cultivo

Se realizaron las siguientes determinaciones, siempre, usando cinco plantas por UE: para la variable altura de la planta se procedió a medir desde la base del tallo hasta el ápice de la planta, mediante la ayuda de una cinta métrica y expresada en cm a los 50 días después de la siembra; el número de vainas por planta fue obtenido el conteo directo de las vainas, número de granos por planta de las vainas cosechadas de cada tratamiento, se procedió al conteo de granos y fue expresado en granos/planta, el peso de mil granos se contabilizaron mil granos y luego se

pesaron para determinar su peso (g) y para el rendimiento se cosecharon todas las plantas de las cuatro hileras centrales, por separado de cada tratamiento con sus repeticiones y posteriormente se procedió al pesaje de los granos que se transformaron a kg ha⁻¹.

Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó a todas las variables establecidas en el trabajo de investigación. Los datos fueron sometidos al programa estadístico AGROESTAT (Barbosa y Maldonado, 2015), para análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$) con test de Fisher, a fin de determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos; para aquellas variables que arrojaron diferencias significativas, se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p<0,05$ para categorizarlas.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Altura de planta

No hubo diferencias significativas ($p>0,05$) en la altura de las plantas entre los niveles, Factor A (niveles de P₂O₅). Sin embargo, se observa diferencias estadísticas para las variedades Factor B sin la aplicación de P₂O₅.

En la Tabla 3 se indica los promedios obtenidos de la variable evaluada, en el desdoblamiento de la interacción, estudiando los efectos del factor B dentro del factor A, se observa que hubo una diferencia significativa entre las variedades en el tratamiento testigo (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Los valores obtenidos de la altura de planta en ambas variedades, teniendo en cuenta los cuatro niveles de fósforo aplicados (0, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) no difieren estadísticamente, comparando las variedades; la Parso XXIV superó estadísticamente a la Parso XIX, respecto al testigo, según los resultados encontrados en el estudio.

La concentración de nutrientes en el suelo es suficiente para sostener el crecimiento máximo de la planta, en términos de altura, para esta etapa fenológica del cultivo de soja, haciendo que el aporte adicional con los niveles de fósforo no arrojara diferencias estadísticas y de esta forma el mejor tratamiento fue el T1 sin la aplicación, con la reducción de costo que la misma genera.

En un estudio realizado por Da Costa et al. (2017), en el cultivo de soja, con dosis de 0, 100, 200, 300 y 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, se determinó que la dosis de 241 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fue la de máxima eficiencia física, con una altura promedio de planta de 95,87 cm. Este valor supera considerablemente al obtenido en este estudio, diferencia que puede atribuirse tanto al material genético que es de

Tabla 3. Altura de plantas (cm) para dos variedades de soja fertilizadas con cuatro niveles de P_2O_5 .
Table 3. Plant height (cm) for two soybean varieties fertilized with four levels of P_2O_5

Factor A (Niveles de P_2O_5 NS)	Factor B (Variedades*)	
	Parso XIX	Parso XXIV
0 kg ha^{-1} de P_2O_5	45,33 B	50,53 A
40 kg ha^{-1} de P_2O_5	50,06	48,13
80 kg ha^{-1} de P_2O_5	49,86	48,06
120 kg ha^{-1} de P_2O_5	49,46	51,13
DMS columna	5,12	
DMS fila	3,77	
CV (%)	4,39	

* Letras mayúsculas distintas entre las filas, indican diferencia significativa, utilizando el test de Tukey. DMS: Diferencia Mínima Significativa. CV (%): Coeficiente de variación.

ciclo precoz y al momento en que se realizó la medición que fue a los 50 días después de la siembra.

Kaneko et al. (2020), al evaluar el efecto de cuatro dosis de P_2O_5 (0, 40, 80 y 120 kg ha^{-1}) aplicadas en surco, y usando como fuente superfosfato simple (18% de P_2O_5), también en el cultivo de soja, no observaron efectos significativos sobre la altura de planta, obteniendo un promedio de 56 cm. Estos resultados son similares para las dos variedades del presente estudio. Es importante destacar que detectar el efecto del fósforo en la etapa inicial de los cultivos no es posible detectarlo con facilidad, debido a que el mismo actúa de mayor forma en el crecimiento radicular y desde la floración iniciando la etapa productiva de los cultivos (Toledo, 2016).

Número de vainas por planta

De acuerdo con los datos obtenidos de la variable número de vainas por planta, se observa que hubo diferencia significativa entre los niveles del factor A (niveles de P_2O_5) para la variedad Parso XXIV, y una diferencia estadística entre las variedades para el factor B (variedades) con las dosis de 40 y 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

En la Tabla 4 se demuestra que la dosis de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 fue superior estadísticamente a las demás dosis en la variedad Parso XXIV.

Teniendo en cuenta las respuestas de las variedades estudiadas asociadas a los niveles de fósforo, el número de vainas de la variedad Parso XIX no se ve afectado por la aplicación de fósforo, mientras que, la variedad Parso XXIV presenta mejores resultados con la aplicación de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Bastistella et al. (2013), investigando dosis creciente de fósforo, no encontraron diferencias

estadísticas para la variable vainas por planta, aplicando dosis crecientes de fósforo como Súper fosfato triple; asimismo Fatecha et al. (2018), aplicando dosis creciente de cal agrícola no encontraron diferencia para esta variable. En el presente estudio solo se logró diferencia estadística en la variedad Parso XXIV, esto se debe a que las variedades ya tienen establecido genéticamente la cantidad aproximada de vainas que puede producir y cambiar eso fisiológicamente ya es difícil.

En una evaluación de dosis de fósforo, Marques et al. (2020), reportaron un promedio de 80 vainas por planta utilizando superfosfato simple como fuente. En contraste, en el presente experimento se alcanzó un promedio de 53 vainas por planta, valor considerablemente inferior al citado.

Número de granos por planta

Se observa que hubo diferencia significativa entre los niveles del factor A (niveles de P), no así en el factor B (variedades). Sin embargo, se observa una interacción entre ambos factores. En la Tabla 5 se detalla el desdoblamiento de la interacción entre los factores para el número de granos por planta.

Estudiando los efectos del factor A dentro del factor B, se demuestra que la dosis de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 fue superior estadísticamente a las demás dosis en la variedad Parso XXIV. Por otro lado, analizando los efectos (letras mayúsculas) del factor B dentro del factor A, se puede observar en la variedad Parso XIX, con la dosis de 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 es superior estadísticamente a la variedad Parso XXIV, mientras que en la variedad PARSO XXIV, la aplicación de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 obtuvo resultados superiores estadísticamente.

En la variedad Parso XXIV se puede notar que

Tabla 4. Números de vainas por para dos variedades de soja fertilizadas con cuatro niveles de P_2O_5
Table 4. Number of pods for two soybean varieties fertilized with four levels of P_2O_5

Factor A (Niveles de P_2O_5 **)	Factor B (Variedades**)	
	Parso XIX	Parso XXIV
0 kg ha^{-1} de P_2O_5	48,66	51,83 b
40 kg ha^{-1} de P_2O_5	53,46 A	42,40 bB
80 kg ha^{-1} de P_2O_5	59,53	51,80 b
120 kg ha^{-1} de P_2O_5	51,40 B	68,60 aA
DMS columna	13,56	
DMS fila	10,01	
CV (%)	10,69	

Letras minúsculas entre distintas columnas, difieren entre sí al comparar el número de vainas entre los tratamientos, según la prueba de Tukey al 5%. Letras mayúsculas distintas en las filas, difieren entre sí. **Diferencia altamente significativa para el test de Fisher. DMS: Diferencia Mínima Significativa. CV (%): Coeficiente de variación.

Tabla 5. Números de granos por planta para dos variedades de soja fertilizadas con cuatro niveles de P_2O_5

Table 5. Number of grains per plant for two soybean varieties fertilized with four levels of P_2O_5

Factor A (Niveles de P_2O_5 **)	Factor B (Variedades**)	
	Parso XIX	Parso XXIV
0 kg ha^{-1} de P_2O_5	89,73	87,73 b
40 kg ha^{-1} de P_2O_5	94,20 A	71,40 bB
80 kg ha^{-1} de P_2O_5	97,60	90,93 b
120 kg ha^{-1} de P_2O_5	92,20 B	128,50 aA
DMS columna	23,63	
DMS fila	17,44	
CV (%)	10,59	

Letras minúsculas en las columnas diferentes, difieren entre sí, según la prueba de Tukey al 5%. Letras mayúsculas distintas en las filas, difieren entre sí. **Diferencia altamente significativa para el test de Fisher. DMS: Diferencia Mínima Significativa. CV (%): Coeficiente de variación.

hubo efecto significativo en el número de granos por planta con la dosis de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respecto a los demás tratamientos; en cambio, en la variedad Parso XIX el número de granos por planta fue igual estadísticamente.

Rosidelma et. al (2015), trabajando con dosis crecientes de P_2O_5 en soja obtuvieron diferencias significativas entre los niveles de fósforo, alcanzando el máximo rendimiento con la dosis de 108 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; en la presente investigación se logró el mayor rendimiento con la variedad Parso XXIV, combinada con la dosis de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 . En esta variedad también hubo diferencias significativas en el número de granos, respecto a

las distintas dosis evaluadas.

Los beneficios positivos de la aplicación de fósforo en esta investigación coinciden con los resultados obtenidos por (Giret, 2021); quien reportó un efecto significativo en el número de granos por planta al momento de la cosecha al evaluar la nutrición fosfatada en soja mediante un fertilizante líquido con una concentración del 24% de P_2O_5 .

Peso de mil granos

La variable peso de mil granos no presentó diferencia significativa tanto en el factor A (niveles de P) como en el factor B (variedades).

Igualmente, no se observó efecto significativo para la interacción entre los factores.-

En cambio, Werner et al. (2020) observaron incrementos lineales en función de los niveles crecientes de P_2O_5 , lo cual no se evidenció en el presente experimento, en el cual ambas variedades evaluadas no mostraron diferencias significativas en la variable peso de 1.000 granos.

A su vez, Valerio et al. (2022) observaron diferencias significativas en el peso de mil granos de soja, en respuesta a la aplicación de superfosfato triple (46 % de P_2O_5), dicha diferencia estadística no fue observada en esta investigación.

Segatelli et al. (2022) llevaron a cabo un experimento que evidenció que la aplicación de fertilizantes fosfatados en el cultivo de soja mejora significativamente los indicadores productivos. Según los autores citados, la dosis óptima de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 resultó en incrementos notables tanto en el peso de mil granos como en el rendimiento total, en comparación con la ausencia de fertilización fosfatada.

Rendimiento

El análisis de datos obtenidos para la variable rendimiento presenta diferencia significativa en la interacción entre ambos factores.

En la Tabla 6 se observa el desdoblamiento de la interacción entre los factores en la que, analizando los efectos se demuestra que la dosis de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 fue superior estadísticamente a las demás dosis en la variedad Parso XXIV.

El estudio de Ferraris et al. (2015) destaca la importancia crítica de la fertilización fosfatada en suelos con bajo contenido de fósforo (P), como el Latosol Rojo-Amarillo de textura franco-arenosa (23% arcilla) y un nivel muy bajo de P (11,25 mg dm^{-3}). Los resultados demuestran una respuesta

significativa en la productividad de los cultivos al aplicar P_2O_5 obteniendo una productividad de 2.375 kg ha^{-1} con la dosis de 224 kg ha^{-1} de P_2O_5 . La presente investigación también presenta ese comportamiento del cultivo de soja para la variedad Parso XXIV donde a medida que se aumenta la dosis de P_2O_5 aumenta el rendimiento.

Para Tavares (2022) y Werner (2020), la aplicación de dosis crecientes de P_2O_5 , como fuente de fertilizante Superfosfato triple no presenta diferencia significativa en el rendimiento soja. Por otro lado, Marques et al. (2020), investigando el cultivo de soja, específicamente la variable rendimiento, observaron un comportamiento ascendente hasta la máxima dosis aplicada de fósforo. Y este comportamiento es refrendado también por Ferraris et al. (2015), quienes verificaron que el incremento en la fertilización fosfatada resulta en aumento en el rendimiento de los granos en suelo con bajo nivel de P, hasta un punto que el rendimiento ya no responde y decae; este comportamiento no fue alcanzado en este experimento para la variedad Parso XXIV.

CONCLUSIONES

La altura de plantas no fue influenciada estadísticamente por los niveles de fósforo evaluados, ni tampoco al comparar entre las variedades.

El número de vainas por planta, número de granos por planta y rendimiento de granos con Factor A (niveles de fosforo) presentó efecto en la variedad Parso XXIV, siendo la mejor dosis 120 kg ha ; a su vez, comparando las variedades a través del Factor B (variedades de soja), la variedad Parso XXIV fue la superior estadísticamente.

Tabla 6. Rendimiento de dos variedades de soja fertilizadas con cuatro niveles de P_2O_5 .

Table 6. Yield of two soybean varieties fertilized with four levels of P_2O_5 .

Factor A (Niveles de P_2O_5 **)	Factor B (Variedades**)	
	Parso XIX	Parso XXIV
0 kg ha^{-1} de P_2O_5	2852,66	2729,33 b
40 kg ha^{-1} de P_2O_5	3000,66 A	2228,66 bB
80 kg ha^{-1} de P_2O_5	3036,00	2900,00 b
120 kg ha^{-1} de P_2O_5	2793,66 B	4097,33 aA
DMS columna	939,27	
DMS fila	693,10	
CV (%)	13,39	

Letras minúsculas distintas en las columnas, difieren entre sí, según la prueba de Tukey al 5%. Letras mayúsculas distintas en las filas, difieren entre sí. **Diferencia altamente significativa para el test de Fisher. DMS: Diferencia Mínima Significativa. CV (%): Coeficiente de variación.

LITERATURA CITADA

- Valerio A., H.J.F. Steiner, L. Da Rosa, A. Zuffo and D.M. Bardivieso. 2022. Classificação de genotipos de soja quanto a eficiência e resposta ao uso de fósforo em solo arenoso do cerrado brasileiro. *Revista de Ciencias Agrarias* 45(3): 94–104. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.27469>
- Barbosa, J. y W. Maldonado. 2015. AgroEstat - Online statistical analyses of experimental designs. Disponible en: <https://www.ftp.com.py/libro/Experimenta%C3%A7ao-Agronomica--AgroEstat-104437> (Consultado el 24 de junio 2025).
- Batistella Filho, F. Ferreira, M.E. Daiton V., R. Pessôa, M.C Pessôa, M.A. Barros S., T. and Lopes R., J.G.C. 2013. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. *Revista Tecnología de Semiente* 48(7): 783-790
- CAPECO (Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas, Paraguay). 2023. Área de siembra, producción y rendimiento: Disponible en <https://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/> (Consultado el 24 de junio 2025).
- Carter, M. and E. Gregorich. 2001. Soil sampling and methods of analysis. 1390 p. Disponible en https://eclass.uea.gr/modules/document/file.php/GEOL105/%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%97%CE%A3%CE%97_%CE%95%CE%94%CE%91%CE%A6%CE%9F%CE%A3%20%CE%9B%CE%91%CE%A5%CE%A1%CE%99%CE%9F%CE%A5_2018%20%28%CE%A7%20%CE%A3%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B1%CF%8A%CF%84%CE%B7%29/Soil%20Sampling%20and%20analysis_Canadian%20Society%20of%20soil%20science.pdf (Consultado el 24 de junio 2025).
- Cevallos V., A.M., A. Torres G., E.F.H. Ardisana y J.L. Cue G. 2018. Fisiología Vegetal: nutrición hídrica y mineral de las plantas. Manabí, Ecuador, Universidad Técnica de Manabí. 247 p. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Hector-Ardisana/publication/324975554_Fisiologia_Vegetal_Volumen_I_Nutricion_hidrica_y_mineral_de_las_plantas/links/5aee76df458515f5998309eb/Fisiologia-Vegetal-Volumen-I-Nutricion-hidrica-y-mineral-de-las-plantas.pdf
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). 2020. Acompanhamento da safra 2019/2020 brasileira de grãos. 2020. Disponível em: <http://www.conab.org.br> (Consultado el 02 de julio 2025).
- Da Costa, L.R., J.S. Da Silva, G. Araújo, M.E. Casali y R. Ribeiro. 2017. Adubação fosfatada na soja durante três safras consecutivas na nova frontera agrícola brasileira. *Revista Scientia Agraria* 18(4): 28 – 35. <https://doi.org/10.5380/rsa.v18i4.50310>
- DINAC (Dirección de Meteorología e Hidrología de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil). 2023. Disponible en <https://www.meteorologia.gov.py> (Consultado el 02 de julio 2025).
- FAO (World Food and Agriculture - Statistical Pocketbook). 2018. Disponible en: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/CA1796EN> (Consultado el 04 de julio 2025).
- Fatecha F., D.A. Lana, M. Rasche A., J.W. Frandoloso, J. Quiñonez V., L.R. y Tiecher, T. 2018. Resposta da soja ao gesso agrícola em plantio direto no Paraguai. *Revista Solos e Nutrição de Plantas* 65(05): 85 - 91. DOI <https://doi.org/10.1590/0034-737X201865050010>
- Ferraris, G., P. Traficante y A. Tortoriello. 2015. Fertilización fosforo-azufrada en soja: estrategias basadas en dosis, localización y momentos de aplicación. Disponible en <https://fertilizar.org.ar/fertilizacion-fosforo-azufrada-en-soja-estrategias-basadas-en-dosis-localizacion-y-momentos-de-aplicacion/> (Consultado el 04 de julio 2025).
- García, F.O. y I.A. Ciampitti. 2016. Cálculo de requerimientos nutricionales: cultivos de cereales, oleaginosas, leguminosas, industriales, forrajeras y hortalizas. Disponible en requerimientos-de-cultivos-ipni.pdf (Consultado el 27 de junio 2025).
- Giret, B.V. 2021. Estrategias de nutrición foliar en soja bajo condiciones de estrés por granizada simulada. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, Paraguay, Universidad Nacional de Asunción. 25 (1): 64 <https://doi.org/10.18004/investig.agrар.2023.junio.2501743>
- INBIO (Instituto de Biotecnología Agrícola, Paraguay). 2023. Estimación de superficies, Soja-Arroz-Maíz, Campaña Agrícola 2022-2023 con Teledetección Satelital y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Asunción, Paraguay. Consultado 31 ago. 2023. Disponible en <https://inbio.org.py/informes/superficies-siembra/2022/Estimacion-superficie-zafra-2022-2023.pdf> (Consultado el 01 de julio 2025).

- Kaneko, F., R. Takeshi, O.B. Levino, P.J. Araujo, A.G. Bezerra, L.M. Maraschi y I.P. Freitas. 2020. Doses e fontes de fósforo na cultura da soja. *Cultura Agronómica* 29(n): 4 400-411. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2020v29n4p400-411>
- Lizcano, R., R. Olivera, D. Saavedra, L. Machado, E.R. Valencia, M.F. Moreno y M.F. Flórez. 2017. Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos. Huila, Colombia, SENA. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/323823646_Muestreo_de_Suelos_Técnicas_de_Laboratorio_e_Interpretación_de_Análisis_de_Suelos (Consultado el 01 de julio 2025).
- López, O. E., E. González, P.A. De Llamas, A.S. Molinas, E.D. Franco, E.S. García y E. Ríos. 1995. Reconocimiento de suelos y capacidad de uso de las tierras; Región Oriental. Paraguay. MAG/Dirección de Ordenamiento Ambiental. Proyecto de comercialización de Uso de la Tierra. Convenio 3445. P. Banco Mundial. 28 p.
- Marquez F., D.M., A. Ferreira, M.A. Meza, y J.Q. Paredes. 2020. Producción de soja (*Glycine max* L.) en función a diferentes dosis de superfosfato simple: parámetros de rendimiento y daños causados por chinches. *Revista Investigación Agraria* 25(1): 26-31 DOI: <https://doi.org/10.18004/investig.agrар.2023.junio.2501743>
- Reed, D.W. 1996. Water, media y nutrition. Ball Publishing, p. 311. Disponible: cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19960310821 (Consultado el 02 de julio 2025).
- Rosidelma S., F.M. Bahry, C.A. Nardino, M. and Dejalma Z, P. 2015. Efeito da adubação fosfatada na produção de sementes de soja. *Revista Ceres* 62(3): 265-274. DOI <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030006>
- Santini, J. M. K., S. Buzetti, A. Perin, C. De Souza, C.F. Furquim, D.N.C. Nunez y A.C. Cabral. 2019. Dinâmica do fósforo em solos de alta fertilidade: fontes e doses fosfatadas em cultivo da cultura de soja no Cerrado. *Científic@ - Revista multidisciplinar*. 6(2): 14 - 23 DOI:10.29247/2358-260X.2019v6i2.p14-23
- Segatelli, C.R., G.M. De Sousa, L. Sichmann, J. Saavedra, E.A. Bohac and S.M. De Stefano. 2022. Soybean yield under no-tillage system with an early *Eleusine coracana* fertilization. *Revista Caatinga* 35 (02): 308-319 <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n207rc>
- Sucunza, F.A., F.H. Gutierrez B., F.O. Garcia, M. Boxler and M. Rubio. 2018. Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *Eur. J. Agron.* 96:87-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.03.004>
- Tavares A., P.H. 2022. Doses de fósforo na cultura da soja em condições de cerrado. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. Disponible: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2843/1/TCC%20Paulo_Final.pdf (Consultado el 02 de julio 2025).
- Toledo, R.E. 2016. Etapas Fenológicas del Cultivo de Soja. Disponible en: <https://www.calister.com.uy/wp-content/uploads/2016/06/fenologia.pdf>. (Consultado el 04 de julio 2025).
- Torresel, S.A. 2016. Fertilización en soja: rendimiento y calidad en La Querencia, Pehuajó, provincia de Bs. As. Disponible en: <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/392/1/doc.pdf> (Consultado 02 de julio 2025).
- Trujillo G., J.M. J.D. Mahecha y M.A. Torres. 2018. El recurso suelo: un análisis de sus funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 9(02): 30-37 DOI: 10.22490/21456453.2095
- Werner, C.J. M., E.M. Peter, C. Balem, E.L. Bellé, T.P. Ceolin, T.Z. Zanatta y T. Pedó. 2020. Adubação fosfatada em soja: produtividade e qualidade fisiológica das sementes. *Brazilian Journal of Development* 6(6): 36157-36177. DOI <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-237>

