

EFICIENCIA DEL CULTIVO DE *Zea mays* L. EN FUNCIÓN A LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA COMPLEMENTADA CON BIOESTIMULANTE EN ALFISOL

EFFICIENCY OF *Zea mays* L. UNDER PHOSPHATE FERTILIZATION COMPLEMENTED WITH BIOSTIMULANTS IN A ALFISOL SOIL

Wilfrido Daniel Lugo Pereira^{1a*}, Derlys Fernando López Ávalos^{1b}, Fabio Lovera Espínola², Eulalio Morel López^{1c}, Modesto Osmar Da Silva Oviedo^{1d}, Milciades Ariel Melgarejo Arrúa³ y Guillermo Enciso Maldonado⁴

^{1a} Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Concepción. Dirección postal 010104. Concepción, Paraguay

<https://orcid.org/0000-0001-7217-1587>

^{1b} Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Concepción. Dirección postal 010109. Concepción, Paraguay

<https://orcid.org/0000-0002-4371-9723>

^{1c} Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Concepción. Dirección postal 010104. Concepción, Paraguay

<https://orcid.org/0000-0001-5316-2108>

^{1d} Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Concepción. Dirección postal 010110. Concepción, Paraguay

<https://orcid.org/0000-0003-2546-3936>

² Semillero de Investigación, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Concepción, Dirección postal 010121. Concepción, Paraguay

<https://orcid.org/0009-0006-1231-3313>

³ Facultad de Ciencias Ambientales y Agropecuarias, Universidad Nacional de Canindeyú. Dirección postal 7800. Canindeyú, Paraguay

<https://orcid.org/0000-0002-1031-6389>

⁴ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción" Unidad Pedagógica Hohenau, Hohenau, Dirección postal 6290. Itapúa, Paraguay

<https://orcid.org/0000-0002-9528-7627>

* Autor para correspondencia: wdlugo.26@hotmail.com

RESUMEN

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento del maíz, cuya disponibilidad suele ser limitada. En este sentido, el uso de bioestimulantes puede favorecer su absorción y eficiencia, contribuyendo al desarrollo y rendimiento del cultivo. El objetivo del trabajo fue evaluar la eficiencia del cultivo de maíz en función a diferentes dosis de fósforo complementadas con bioestimulante en un suelo Alfisol. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar, con ocho tratamientos y tres repeticiones, en arreglo bifactorial: factor A: fertilización foliar con bioestimulante, y factor B: dosis de P₂O₅ (0, 45, 90 y 135 kg ha⁻¹). Cada unidad experimental tuvo una dimensión de 5 × 4 m (20 m²). La siembra se realizó en septiembre de 2024, utilizando el híbrido DKB 390. Se evaluó la altura de planta, altura de inserción de la mazorca, longitud y diámetro de mazorca, peso de mil granos y rendimiento (kg ha⁻¹). Los datos fueron sometidos a análisis de varianza, comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 1 y 5%, y análisis de regresión. Los resultados no mostraron

diferencias significativas para el factor bioestimulante en la mayoría de las variables evaluadas. En cambio, las dosis de P_2O_5 presentaron diferencias significativas en variables de crecimiento y rendimiento. La mayor altura de planta y de inserción de la mazorca se registraron con 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; sin embargo, el mayor diámetro y longitud de mazorca, peso de mil granos y rendimiento se obtuvieron con 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 , alcanzando una producción de 2.336 kg ha^{-1} . Se concluye que la dosis de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 fue la más eficiente para las variables de longitud de mazorca, diámetro de mazorca, peso de mil granos y el rendimiento en las condiciones del estudio.

Palabras clave: dosis de fósforo, fertilización foliar, híbrido, crecimiento vegetal, rendimiento.

ABSTRACT

Phosphorus is an essential nutrient for maize growth, yet its availability in the soil is often limited. In this regard, the use of biostimulants may enhance phosphorus uptake and use efficiency, thereby contributing to improved crop development and yield. The objective of this study was to evaluate the efficiency of maize as a function of different phosphorus rates complemented with a biostimulant in an Alfisol soil. The experiment was established under a randomized complete block design with eight treatments and three replications, arranged in a bifactorial scheme: factor A, foliar fertilization with biostimulant; and factor B, P_2O_5 application rates (0, 45, 90, and 135 kg ha^{-1}). Each experimental unit measured $5 \times 4 \text{ m}$ (20 m^2). Sowing was carried out in September 2024, using the hybrid DKB 390. Plant height, ear insertion height, ear length and diameter, thousand-grain weight, and grain yield (kg ha^{-1}) were evaluated. Data were subjected to analysis of variance, mean comparison using Tukey's test at 1% and 5% significance levels, and regression analysis. Results showed no significant differences for the biostimulant factor in most of the evaluated variables. In contrast, P_2O_5 rates showed significant differences in growth and yield variables. The highest plant height and ear insertion height were recorded at 135 kg ha^{-1} of P_2O_5 ; however, the greatest ear diameter and length, thousand-grain weight, and grain yield were obtained at 90 kg ha^{-1} of P_2O_5 , reaching a production of $2,336 \text{ kg ha}^{-1}$. It is concluded that an application rate of 90 kg ha^{-1} of P_2O_5 was the most efficient for ear length, ear diameter, thousand-grain weight, and grain yield under the conditions of this study.

Keywords: phosphorus doses, foliar fertilization, hybrid, plant growth, yield.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), perteneciente a la familia Poaceae, constituye el principal producto básico en términos de producción mundial anual de grano seco, y desempeña un papel clave en los sistemas agroalimentarios globales; se utiliza para el consumo humano y animal, así como para diversos fines no alimentarios, como la producción de almidón, compuestos químicos y energía. La producción mundial de maíz ha aumentado considerablemente en las últimas décadas, impulsada por la creciente demanda y por una combinación de incrementos en el rendimiento y expansión del área cultivada (Erenstein et al., 2022).

La producción de los cultivos depende de varios factores, desde las condiciones climáticas, el manejo (suelo, plagas, enfermedades, malezas e irrigación), hasta las exigencias nutricionales que influyen en la capacidad de la planta para extraer nutrientes del medio de cultivo. Dichos nutrientes presentan funciones esenciales y, cuando no están presentes en cantidades

suficientes, causan limitaciones en las células, promoviendo alteraciones en el metabolismo de la planta y, en consecuencia, baja producción (McGrath et al., 2014).

El maíz es de alto requerimiento nutricional, y el suelo cumple una función esencial al proporcionar los elementos indispensables para su crecimiento y desarrollo óptimo (Dawar et al., 2022). Dichos nutrientes intervienen en procesos fisiológicos clave como el crecimiento vegetativo, la formación de clorofila, la síntesis proteica, el desarrollo del sistema radicular, la floración, la formación de granos, la regulación del balance hídrico, la activación enzimática y la fotosíntesis, contribuyendo en conjunto al mantenimiento de una planta vigorosa y productiva.

En particular, el cultivo de maíz requiere el aporte equilibrado de nutrientes presentes en el suelo, los cuales se clasifican en macronutrientes y micronutrientes, ambos esenciales para su adecuado desempeño fisiológico y productivo (Grabovskiy et al., 2023).

Uno de los macronutrientes esenciales para el cultivo de maíz es el fósforo (P), el cual se

encuentra en el suelo tanto en formas orgánicas como inorgánicas. Este elemento desempeña un papel fundamental en el desarrollo del sistema radicular, además de participar activamente en los procesos de floración, fecundación, formación y maduración del grano (Carmo et al., 2014). La falta de fósforo afecta el crecimiento de las plantas, reducción de la expansión del área foliar, número de hojas y del diámetro del tallo (Taiz et al., 2017).

Dada la limitada disponibilidad de fósforo en el suelo, el uso de bioestimulantes, ha sido una estrategia dentro del programa de fertilización como complemento a la fertilización aplicada al suelo (Zamudio et al., 2018). Los bioestimulantes son productos orgánicos o inorgánicos que contienen sustancias bioactivas y/o microorganismos, que, aplicados a las plantas, promueven su crecimiento, productividad y calidad; por tanto, han mostrado una alta efectividad para aumentar el uso eficiente de nutrientes e impulsar el desarrollo y productividad de los cultivos bajo condiciones de estrés (Franzoni, et al., 2022; Mandal et al., 2023 y Luiz et al., 2023).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia del cultivo de maíz en función a diferentes dosis de fósforo complementadas con bioestimulante en un suelo Alfisol.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en Santa Elena, distrito de Belén, Departamento de Concepción,

Paraguay, en el periodo de septiembre del 2024 a enero del 2025, circunscrita en las coordenadas a 23°24'37" Sur 57°24'45" Oeste; su elevación es de 144 m.s.n.m. Se caracteriza por presentar una temperatura promedio de 24 °C, con máximas que pueden alcanzar los 45 °C y mínimas que hasta 4 °C, con leves incidencias de heladas (DMH, 2025). En la Fig. 1 se presentan los datos de temperatura media y precipitación acumulada durante el desarrollo del experimento.

El tipo de suelo de la zona pertenece al gran grupo Alfisol y sub grupo Mollic (Molinas et al., 2024).

Para la investigación se extrajeron muestras de suelo del área experimental en el horizonte 0-20 cm, para su caracterización química y física, realizada en el Laboratorio de Suelos del Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay (CETAPAR, 2024). Los resultados fueron: pH agua= 5,80; M.O. dag kg⁻¹=1,20; CO. dag kg⁻¹=0,70; Al³⁺ cmol (+). kg⁻¹= 00; P mg kg⁻¹=12,0; K cmol (+). kg⁻¹= 0,19; Ca cmol (+). kg⁻¹= 3,74; Mg cmol (+). kg⁻¹= 0,65; S mg kg⁻¹=12,66; Fe mg kg⁻¹= 79,97; Cu mg kg⁻¹= 0,32; Zn mg kg⁻¹= 2,76; B mg kg⁻¹= 0,22; mg kg⁻¹= Mn mg kg⁻¹= 4,00; y textura al tacto= Franco Arenoso.

El diseño experimental utilizado fue en bloques completos al azar, con ocho tratamientos y tres repeticiones con esquema bifactorial; factor A: fertilización foliar (bioestimulante) y factor B: dosis de P₂O₅. Cada unidad experimental tuvo una dimensión de 5 x 4 m, totalizando 20 m² por cada parcela. El área total del experimento consistió en una superficie de 663 m², teniendo

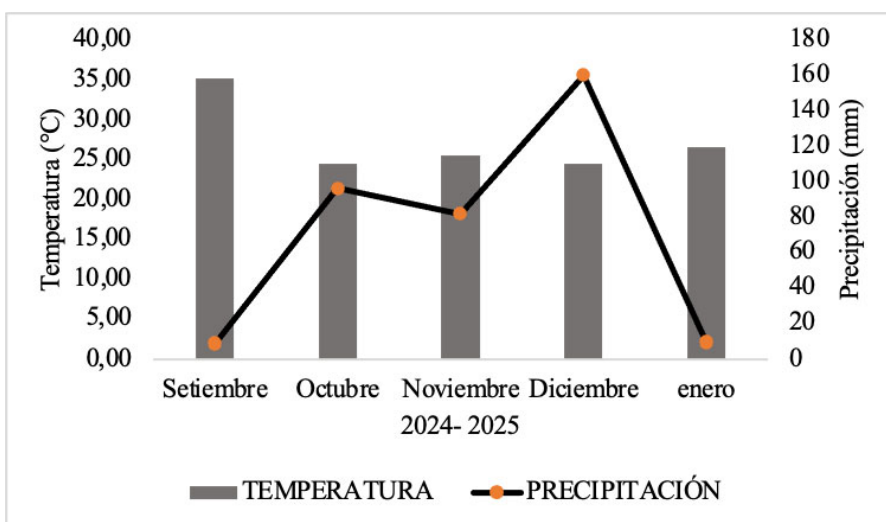


Fig. 1. Temperatura media y precipitación desde septiembre 2024 a enero de 2025.

Fig. 1. Average temperature and precipitation from September 2024 to January 2025.

en cuenta que el espacio entre bloques medía 1 m de ancho y el espacio entre cada UE medía 1 m. En la Tabla 1 se puede observar los tratamientos utilizados.

La preparación del suelo se realizó mediante el método de labranza convencional, ingresando un pase de rastra liviana; posteriormente se realizó la delimitación de las parcelas, utilizando estacas de madera e hilo.

Para la siembra se utilizó el maíz híbrido DEKALD 390, realizada de manera localizada, depositando dos semillas en un marco de siembra de 0,3 m entre planta y 0,7 m por hileras. En la fertilización se aplicó el fósforo, incorporado al momento de la siembra. Además, se realizó una fertilización básica con 70 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N) y 40 kg ha⁻¹ de potasio (K), de acuerdo con los requerimientos nutricionales del cultivo. Como fuente de nitrógeno se utilizó urea; para el fósforo se empleó superfosfato triple, y para el potasio se utilizó cloruro de potasio. Posteriormente, a los 20 días después de la siembra (DDS), se efectuó el raleo de plantas, dejando una planta por hoyo, proporcionando una densidad poblacional de 47.286 plantas por hectárea.

La aplicación del fertilizante foliar se realizó en tres etapas fenológicas del cultivo con dosis de 1,5 L ha⁻¹. La primera aplicación se efectuó en la etapa de emisión de la cuarta hoja, utilizando una dosis de 0,5 L ha⁻¹. La segunda aplicación se realizó durante la emisión de la sexta hoja, con una dosis de 0,5 L ha⁻¹. Finalmente, la tercera aplicación se efectuó en la fase de prefloración, aplicando 0,5 L ha⁻¹. La solución fue preparada en una pulverizadora dorsal de 20 L (de mochila) con boquilla tipo cono y aplicada a los tratamientos correspondientes, respetando las repeticiones

establecidas en el diseño experimental.

Para prevenir el ataque de plagas, se aplicaron de Cypermethrina a base de 200 mL ha⁻¹, para las orugas cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y acefato para las orugas de las hojas e insectos chupadores, con dosis de 500 g ha⁻¹, siendo la primera aplicación a los 30 días después de la emergencia y posteriormente cada 15 días hasta llegar a la floración del cultivo con la ayuda de una pulverizadora costal. El control de malezas se efectuó con glifosato (3 L ha⁻¹) distribuido en pre-siembra, pre-emergencia y post-emergencia temprana.

La cosecha de las mazorcas se llevó a cabo cuando el cultivo alcanzó su estado de madurez fisiológica, aproximadamente a los 120 días después de la emergencia. La parcela útil estuvo conformada por cuatro hileras centrales de 2 m de longitud, totalizando un área de evaluación de 4,1 m² con 28 plantas. En este momento se recolectaron las mazorcas comerciales y se registraron los datos correspondientes a las variables evaluadas. Seguidamente se dejaron 24 h al sol para el secado y su posterior trillado manual, para obtener los granos del maíz.

Enseguida, se efectuó la eliminación de impurezas y luego se realizó el pesaje de los granos con ayuda de una balanza de precisión para cada tratamiento.

Variables de respuestas

Crecimiento vegetativo

La altura de planta (cm) se registró a los 30, 60 y 90 DDS. En cada unidad experimental se seleccionaron diez plantas al azar dentro del área útil; la medición se realizó desde la base del tallo hasta el punto de inserción de la hoja

Tabla 1. Tratamientos utilizados en el experimento. Concepción, Paraguay. 2025.

Table 1. Treatments used in the experiment. Concepción, Paraguay. 2025.

Factor A	Factor B
Bioestimulante	Dosis de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)
Sin aplicación	0
	45
	90
	135
	135
Con aplicación 1,5 L ha ⁻¹	0
	45
	90
	90
	135

(*) La dosis recomendada de acuerdo con el análisis de suelo y a la etiqueta del bioestimulante.

El Bioestimulante comercial posee: N: 0,17%; P: 0,17%; K: 0,12%; Ca: 33,70%; Mg: 62,74%; C: 14,16%; MO: 24,99%, Cu: 0,00006%; Zn: 0,00297% y Mn: 11,28%.

bandera, utilizando una cinta métrica. La altura de inserción de la mazorca (m) se determinó previo a la cosecha en diez plantas seleccionadas aleatoriamente por parcela, midiendo desde el nivel del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca principal.

Rendimiento

La longitud y el diámetro de la mazorca (cm) se evaluaron en diez mazorcas seleccionadas al azar por unidad experimental. La longitud se midió con cinta métrica y el diámetro se determinó en la parte media de la mazorca mediante un calibrador vernier. El peso de 1.000 granos (g) se determinó con una balanza analítica de precisión 0,01 g, ajustando el contenido de humedad al 13% (base húmeda). El rendimiento de grano (kg ha⁻¹) se estimó mediante la cosecha del área útil de cada unidad experimental, seguido del pesaje del grano y una balanza digital.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con los resultados obtenidos de altura de la planta, altura de inserción de la mazorca, longitud y el diámetro de la mazorca, peso de 1.000 granos y rendimiento de granos, utilizando el software estadístico AgroStat® (Barbosa y Maldonado, 2015). Las medias que presentaron diferencias significativas fueron comparadas mediante la

prueba de Tukey al 1 y 5% de probabilidad. Además, se efectuó un análisis de regresión para identificar la dosis que proporciona la máxima eficiencia técnica. La dosis óptima de fertilizante se calculó utilizando la fórmula:

$$Y=aX^2+bX+c$$

donde:

Y = variable de respuesta (altura de inserción de la mazorca, longitud y diámetro de la mazorca, peso de mil granos)

X = dosis del fertilizante aplicado (kg ha⁻¹ de P₂O₅)

a = coeficiente cuadrático del modelo

b = pendiente inicial de la respuesta

c = valor estimado de Y cuando X = 0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de las plantas

Los resultados de las medias correspondientes a la altura de plantas se presentan en la (Tabla 2), donde se observan los valores obtenidos para los diferentes tratamientos evaluados. El análisis estadístico indicó que no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos para el factor A (aplicación de bioestimulantes) a los 30, 60 y 90 DDS. Sin embargo, para el factor B (dosis de fósforo), se registraron diferencias

Tabla 2. Comparación de medias de fertilizante fosfatado y fertilizante foliar sobre la altura de plantas del maíz. Concepción, 2025.

Table 2. Comparison of means for phosphate fertilizer and foliar fertilizer on maize plant height. Concepción, 2025.

Factores	Descripción	Altura	Altura	Altura
		a los 30 DDS (m)	a los 60 DDS (m)	a los 90 DDS (m)
		(ns)	(ns)	(ns)
Bioestimulante (A)	Con aplicación	0,34	0,79	1,54
	Sin aplicación	0,34	0,77	1,53
	kg ha ⁻¹	(**)	(ns)	(**)
Dosis de P ₂ O ₅ (B)	90	0,35 a	0,75	1,55 a
	135	0,35 a	0,81	1,55 a
	0	0,32 b	0,77	1,52 b
	45	0,32 b	0,79	1,53 b
Fc (A) :		1,00NS	0,83NS	1,00NS
Fc (B) :		11,88**	0,90NS	11,80**
Fc (AxB):		2,28NS	1,35NS	2,20NS
CV,% :		2,98	7,45	0,66%
MG :		0,34	0,78	1,54
DMS :		0,0089	0,0511	0,0088

(NS) no significativo (**) altamente significativo por el Test de Fischer: En las columnas, medias seguidas por la misma letra minúscula para dosis de fósforo, difieren entre sí en el nivel de significancia del 1 %.

altamente significativas a los 30 y 90 DDS.

A los 30 DDS, las dosis de 90 y 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ registraron la mayor altura (0,35 m), mientras que para 0 y 45 kg ha⁻¹ presentaron menores valores (0,32 m), sin diferencias dentro de cada nivel.

Para la altura a los 60 DDS, el factor B no presentó diferencias significativas. Sin embargo, a los 90 DDS las dosis de 90 y 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ alcanzaron las mayores alturas con (1,55 m), entre sí. En contraste, las dosis de 0 y 45 kg ha⁻¹ presentaron valores inferiores, con (1,52 y 1,53 m), respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellas. Esto confirma la influencia del fósforo en el crecimiento final del cultivo.

A partir de la dosis de 90 kg ha⁻¹ de fósforo, se observó un aumento en la altura del maíz a los 30 y 90 DDS, lo cual está asociado al efecto del fósforo en el crecimiento vegetativo. Según el estudio de Asim et al. (2017), las aplicaciones de fósforo incrementaron la altura de las plantas, alcanzando valores cercanos a 200 cm, superior a lo que se logró en este estudio, pero evidenciándose que este nutriente favorece el crecimiento estructural del cultivo.

Según Lucena et al. (2000), al evaluar un rango de dosis de P₂O₅ (0; 120; 180 y 240 kg ha⁻¹) con superfosfato triple como fuente fosfatada, en condiciones de campo sobre un Latosolo Rojo Amarillo distrófico, se registró una altura máxima de 1,51 m con la aplicación de 177,3 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Dicho valor resultó inferior al obtenido en el presente estudio con una menor dosis de fertilizante, lo que podría atribuirse a las diferencias en las condiciones edafoclimáticas.

En comparación con el tipo de suelo utilizado por los autores, en suelos Alfisoles se han demostrado que la fertilización fosfatada incrementa significativamente el crecimiento y rendimiento del maíz, debido a la limitada disponibilidad natural de este nutriente en este tipo de suelo. Investigaciones realizadas por Ojo et al. (2015) y Selassie et al. (2016) reportan respuestas positivas del cultivo a la aplicación de fósforo, destacando que dosis adecuadas de este nutriente mejoran el desarrollo vegetativo y el rendimiento del maíz en Alfisoles.

Un experimento de campo de siete años, conducido por Ji et al. (2021), demostró que la aplicación optimizada de fósforo (63–90 kg ha⁻¹ de P₂O₅) incrementó significativamente la absorción de este nutriente en el maíz, siguiendo una tendencia parabólica en la que la acumulación de P aumentaba con la dosis aplicada, pero disminuía al superar un umbral específico.

En contraste, en el presente estudio no se observó una reducción del crecimiento con el incremento de la fertilización fosfatada; por

el contrario, aun cuando se aplicaron dosis superiores a las reportadas por dichos autores, el cultivo mantuvo un adecuado desarrollo vegetativo. En este contexto, la dosis de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ mostró una respuesta favorable del cultivo, lo que sugiere que, bajo las condiciones evaluadas, dicha dosis podría representar una alternativa agronómica y económicamente viable para la producción de maíz.

Además, cuando el suelo presenta niveles suficientes de fósforo para satisfacer los requerimientos iniciales del cultivo, incrementos adicionales del nutriente no necesariamente se traducen en mayor crecimiento vegetativo, sino que tienden a reflejarse principalmente en procesos asociados al desarrollo reproductivo y a la formación del rendimiento del maíz.

Al respecto, la transición del crecimiento vegetativo hacia la fase reproductiva modifica gradualmente los patrones de absorción externa y removilización interna de fósforo, especialmente durante el período de llenado de granos en los cereales, considerado uno de los momentos más críticos para la formación del rendimiento (Yang y Zhang, 2006; Veneklaas et al., 2012).

Se obtuvieron coeficientes de variación (CV) de 2,98, 7,45 y 0,66% para las variables evaluadas, los cuales se consideran bajos, indicando alta precisión experimental y adecuada homogeneidad de los datos, lo que garantiza la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Según Pimentel Gomes (2009), en estadística experimental, los valores del coeficiente de variación experimental (CV) se interpretan de la siguiente manera: cuando el CV es menor a 10%, el experimento presenta alta precisión; entre 10 y 20%, la precisión es buena; entre 20 y 30%, la precisión es aceptable; y valores superiores a 30% indican baja precisión experimental.

Además, en un estudio de Zamudio et al. (2018) estos observaron coeficientes de variación muy contrastantes entre variables. Algunas presentaron valores altos, como el índice de mazorca (44,8%), indicando alta variabilidad, mientras que otras mostraron valores bajos, como el peso (2,53%), reflejando alta precisión. En el presente trabajo se observó un comportamiento similar del CV, evidenciando que algunas variables presentan mayor estabilidad, mientras que otras son más sensibles a las condiciones de campo.

La relación entre la dosis de fertilizante fosfatado y la altura de las plantas de maíz mostró una tendencia lineal positiva, como se observa en la Fig. 2, con las ecuaciones: $y = 0,0003x + 0,317$ e $y = 0,0002x + 1,521$, para el efecto del fertilizante fosfatado en la altura de plantas de maíz a los 30 y 90 DDS, respectivamente. Esta línea de tendencia

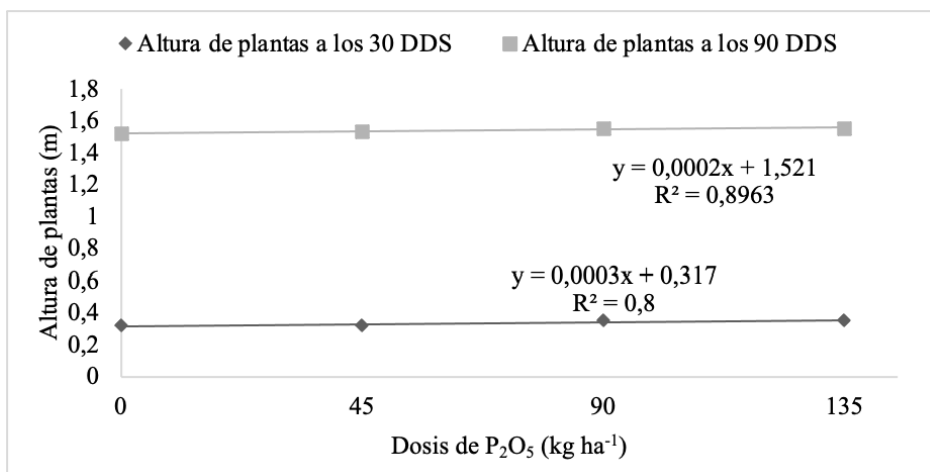


Fig. 2. Ecuación de regresión para la altura de las plantas de maíz afectado por diferentes dosis de fertilizante fosfatado, Concepción Paraguay, 2025.

Fig. 2. Regression equation for maize plant height as affected by different phosphate fertilizer rates. Concepción, Paraguay, 2025.

explica que a medida que se aumenta el nivel del fertilizante, en la altura de plantas de maíz se percibe un incremento proporcional. También se observa que el coeficiente de determinación (R^2) de 0,8 y 0,89, indicando que 80 y 89% de la variación de la altura está explicada por la variación de los niveles del fertilizante fosfatado y 0,2 y 0,11% está explicada por otros factores externos, que no se pueden controlar en el modelo.

Altura de inserción de mazorca

Los resultados de las medias de la variable altura de inserción de mazorca se muestran en la Tabla 3, donde se presentan los resultados estadísticos ($p > 0,05$) entre tratamientos.

El análisis de comparación de medias para la altura de inserción de la mazorca indicó que el Factor A no presentó diferencias estadísticas significativas. En contraste, el Factor B, que corresponde a la dosis de fósforo, sí mostró un efecto significativo a nivel estadístico.

De acuerdo con la comparación de medias, las dosis de 135, 45 y 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no difirieron entre sí estadísticamente, lo mismo que las dosis de 45, 90 y 0 kg ha⁻¹, evidenciando un comportamiento intermedio entre los tratamientos.

Desde el punto de vista numérico, existe una tendencia a producirse una mayor altura de inserción de mazorca con la dosis de 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅, mientras que el menor valor correspondió a la dosis 0 kg ha⁻¹, indicando una respuesta positiva del cultivo a la fertilización fosfatada.

En un estudio de Santos et al. (2021) evaluó

la altura de inserción de la mazorca en maíz DKB 390 con una tecnología VT PRO MAX, bajo la aplicación de distintas dosis de fósforo (P₂O₅), combinadas o no con un bioactivador. Los resultados del presente estudio evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos, destacándose la fertilización con 132 kg ha⁻¹ de P₂O₅ sin bioactivador, que registró los mayores valores de inserción, con un promedio de 1,54 m. En contraste, los tratamientos testigo (sin fertilización o con la aplicación exclusiva del bioactivador) mostraron las menores alturas. En este estudio, con dosis similares de P₂O₅, en combinación con bioestimulante, la inserción de mazorca alcanzó valores inferiores a los reportados por dichos autores, lo que sugiere la influencia de factores edafoclimáticos y de manejo en la respuesta observada.

Silva et al. (2022), señalan que la altura de inserción de la mazorca no presentó diferencias significativas entre las dosis de fósforo evaluadas; sin embargo, se observó una tendencia creciente con el incremento de las dosis, alcanzando el mayor valor con aproximadamente 600 kg ha⁻¹ de P (93,33 cm). Este valor resultó inferior al obtenido en el presente estudio, lo cual puede explicarse por las condiciones iniciales de fertilidad del suelo. En dicho trabajo, el contenido de fósforo disponible fue de 4,71 mg dm⁻³, considerado bajo, mientras que en el presente experimento se dispuso de un nivel superior de este nutriente. Esta mayor disponibilidad inicial de fósforo favoreció la eficiencia en la absorción y utilización del nutriente, permitiendo un mejor desarrollo estructural del cultivo y una mayor

Tabla 3. Comparación de medias para la determinación de altura de inserción de mazorca de maíz afectado por fertilizante fosfatado y fertilizante foliar. Concepción, 2025.**Table 3. Comparison of means for ear insertion height in maize as affected by phosphate fertilizer and foliar fertilizer. Concepción, 2025.**

Factores	Descripción	Altura de inserción de mazorca (m)
		(ns)
Bioestimulante (A)	Con	1,21
	Sin	1,18
	kg ha ⁻¹	(*)
Dosis de P ₂ O ₅ (B)	135	1,24 a
	45	1,18 ab
	90	1,21 ab
	0	1,14 b
Fc (A) :		2,14NS
Fc (B) :		4,03*
Fc (AxB):		4,28*
CV, % :		4,20
DMS :		0,0440

(NS) no significativo (*) significativo por el Test de Tukey En las columnas, medias seguidas por la misma letra minúscula dosis de fertilizante fosfatado, difieren entre sí en el nivel de significancia del 5 %.

altura de inserción de mazorca con menores dosis de fertilización fosfatada.

Los resultados del desdoblamiento del factor B dentro del factor A se presentan en la Fig. 3, donde se observa que, bajo condiciones de aplicación de bioestimulante, los valores observados para la altura de inserción de mazorca (1,21; 1,16; 1,19 y 1,27 m para 0, 45, 90 y 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente) no evidenciaron una disminución consistente con el incremento de las dosis, sino más bien una variabilidad dentro de un rango estrecho. En este sentido, el valor ligeramente superior en la dosis 0 kg ha⁻¹ respecto a 45 y 90 kg ha⁻¹ puede atribuirse a la variabilidad experimental propia de ensayos de campo, la cual se encuentra respaldada por el coeficiente de variación reportado y la ausencia de diferencias estadísticas significativas entre tratamientos; sin embargo, se ajustó a una ecuación lineal de tendencia positiva.

En la ecuación cuadrática se observó que, al no aplicar el bioestimulante, la mayor altura de inserción de la mazorca se alcanzó con una dosis de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, logrando 1,22 m. Este resultado sugiere que, al aumentar la dosis de P₂O₅ más allá de este punto, la altura de inserción de la mazorca tiende a disminuir, indicando que dosis más altas de fertilizante fosfatado pueden resultar excesivas y contraproducentes para el crecimiento del maíz. Además, se observa como resultado de la dosis de máxima eficiencia técnica (DMET) que se logró con la ecuación $y = -2E-05x^2$

+ 0,0035x + 1,0755 de la altura de inserción, con 87,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅, llegando a 1,22 m.

Longitud y diámetro de las mazorcas

Los resultados de las medias correspondientes a la longitud y diámetro de la mazorca se presentan en la Tabla 4, donde se observa que no se registró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados ($p > 0,05$) para el factor A de la longitud de mazorca, no siendo así para el factor B.

De acuerdo con la comparación de medias para longitud de mazorca, las dosis de 135, 45 y 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no difirieron entre sí estadísticamente, los cuales generaron los mejores valores de la variable. Asimismo, las dosis de 45, 90 y 0 kg ha⁻¹ también mostraron similitud estadística para dicha variable, evidenciando un comportamiento intermedio en los resultados.

Desde el punto de vista numérico, la mayor longitud de mazorca se registró con la dosis de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (18,00 cm), mientras que el menor valor correspondió a la dosis de 0 kg ha⁻¹ (16,66 cm), indicando una respuesta positiva del cultivo a la fertilización fosfatada.

Este comportamiento sugiere que la aplicación de fósforo favoreció el desarrollo de la mazorca en comparación con la dosis 0, debido a su papel en procesos fisiológicos como la transferencia de energía, el crecimiento radicular y la formación de estructuras reproductivas del cultivo.

Según López et al. (2025), al trabajar con fuentes

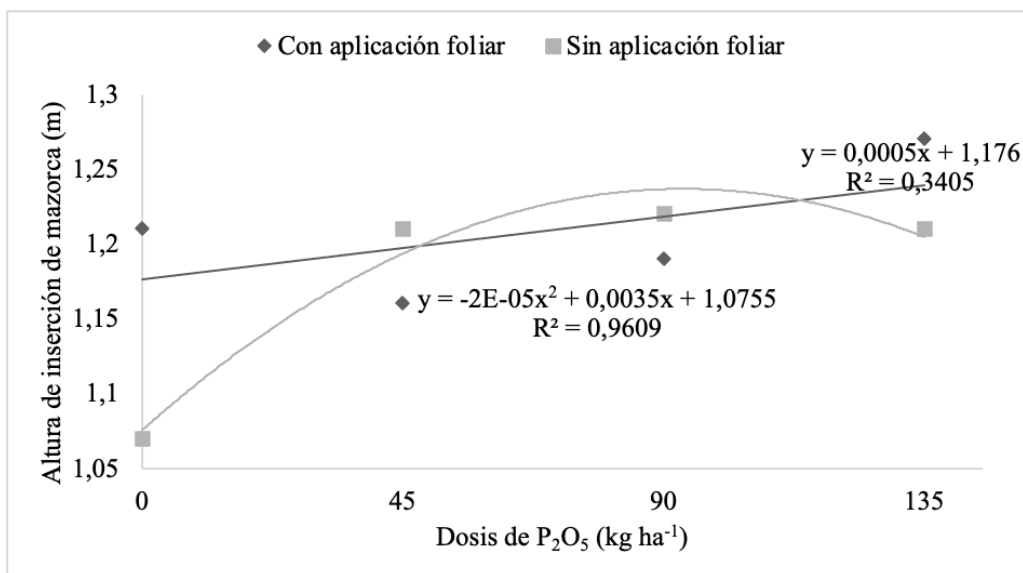


Fig. 3. Ecuación de regresión para la altura inserción de la mazorca de las plantas de maíz afectado por diferentes dosis de fertilizante fosfatado, Concepción Paraguay. 2025.

Fig. 3. Regression equation for ear insertion height in maize plants as affected by different phosphate fertilizer rates. Concepción, Paraguay. 2025.

Tabla 4. Comparación de medias de dosis de fertilizante fosfatado y fertilizante foliar sobre la longitud y diámetro del maíz. Concepción, 2025.

Table 4. Comparison of means for phosphate fertilizer rates and foliar fertilizer on ear length and diameter in maize. Concepción, 2025.

Factores	Descripción	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (cm)
		(ns)	(*)
Bioestimulante (A)	Con	17,25	4,01 A
	Sin	17,23	3,97 B
	kg ha ⁻¹	(*)	(**)
Dosis de P ₂ O ₅ (B)	90	18,00 a	4,06 a
	45	17,20 ab	4,01 ab
	135	17,10 ab	4,00 b
	0	16,66 b	3,90 c
Fc (A) :		0,00NS	7,00*
Fc (B) :		3,85*	19,69**
Fc (AxB):		0,17NS	1,03NS
CV, % :		4,02	0,96
DMS :		0,6077	0,0338

(NS) no significativo (*) significativo por el Test de Tukey: En las columnas, medias seguidas por la misma letra, mayúscula para bioestimulante y minúscula dosis de fósforo, difieren entre sí en el nivel de significancia del 5 %.

de fertilizantes fosfatados en maíz, se obtuvo una longitud de mazorca de 19,70 cm con la dosis de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando superfosfato triple como fuente de P, mientras que con la dosis 0 se registró 16,86 cm. Dichos valores superan a los alcanzados en el presente estudio, donde la longitud máxima fue de 18,00 cm con la misma

dosis de fertilizantes fosfatados. Esta diferencia podría atribuirse principalmente al manejo agronómico del cultivo y a las características edafológicas particulares de cada experimento.

De la misma manera, Díaz-Chuquizuta et al. (2022) reportaron que la fertilización NPK alcanzó el mayor valor en longitud de mazorca

(18,17 cm), evidenciando una mejora significativa en este componente del rendimiento, resultados que son consistentes con los obtenidos en el presente estudio.

Para el diámetro de la mazorca, se observaron diferencias significativas para ambos factores, aunque no se presentó interacción significativa entre ellos. En cuanto al bioestimulante, se obtuvo el mejor resultado con la aplicación.

Resultados similares fueron reportados por Calvo et al. (2014) y du Jardin (2015), quienes señalan que los bioestimulantes pueden estimular procesos fisiológicos y mejorar el crecimiento y desarrollo de los cultivos, reflejándose en mejores características productivas. Este comportamiento coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, evidenciando una mejora en el diámetro de la mazorca en comparación con los tratamientos donde no se aplicó bioestimulante.

En lo que respecta al factor B del diámetro de la mazorca, las dosis de 45 y 90 kg ha⁻¹ no difirieron estadísticamente entre sí. Asimismo, las dosis de 45 y 135 kg ha⁻¹ también presentaron similitud estadística, evidenciando un comportamiento intermedio entre los tratamientos. Por otro lado, la dosis de 0 kg ha⁻¹ registró el menor valor, diferenciándose de los demás. Sin embargo, desde el punto de vista numérico, se observa una tendencia a una mejor respuesta con la dosis de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Resultados similares fueron reportados por López et al. (2025), quienes evaluaron dosis de

0, 45, 90 y 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅, lograron mejor diámetro de mazorca (4,02 cm) con la dosis de 90 kg ha⁻¹ de P₂O, mientras que sin fertilización presentó 3,80 cm, evidenciando el efecto positivo de la fertilización fosfatada en el desarrollo de las estructuras reproductivas del maíz.

Asimismo, para el diámetro de mazorca, Díaz-Chuquizuta et al. (2022), señalan que el tratamiento con NPK presentó el mayor valor con 4,54 cm, superando los resultados obtenidos en el presente estudio; sin embargo, estos hallazgos confirman la importancia de la fertilización en la mejora de los componentes de rendimiento del cultivo.

El comportamiento de la longitud y el diámetro de mazorca en función de las dosis de fósforo utilizadas en el estudio se presenta en la Fig. 4, donde se observa la ecuación de regresión ajustada para estas variables.

El análisis de regresión aplicado a dichas variables reveló que la relación entre la dosis aplicada y estas variables se ajusta a un modelo cuadrático, lo que indica que el máximo valor se alcanzó con una dosis de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, logrando una longitud de mazorca de 18 cm y diámetro de 4,06 cm; además, se observa que la dosis de máxima eficiencia técnica (DMET) se logró con la ecuación $y = -0,0002x^2 + 0,0301x + 16,505$ de la longitud de mazorca de 17,6 cm con 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y para el diámetro de la mazorca con la ecuación de $y = -2E-05x^2 + 0,0036x + 3,8975$ se logró la DMET de 90 kg ha⁻¹

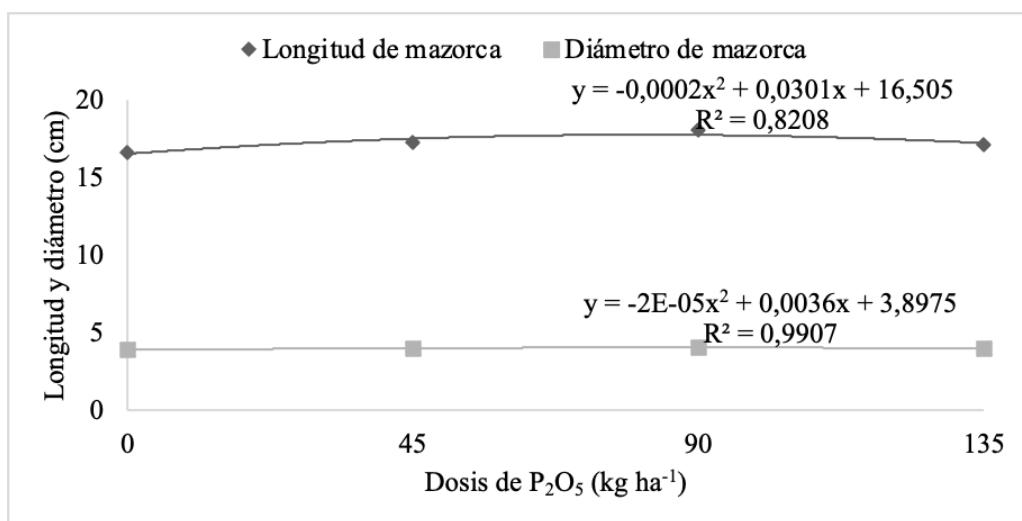


Fig. 4. Ecuación de regresión para la longitud y diámetro de mazorca afectado por diferentes dosis de fertilizante fosfatado, Concepción Paraguay, 2025.

Fig. 4. Regression equation for ear length and diameter as affected by different phosphate fertilizer rates. Concepción, Paraguay, 2025.

de P_2O_5 con 4,0 cm de diámetro; se nota que a partir de las dosis mencionadas decrecieron los resultados para ambas variables.

En el estudio de Santos et al. (2021), el mayor diámetro de mazorca se obtuvo con la dosis de 132 kg ha⁻¹ de P_2O_5 sin aplicación de bioactivador, alcanzando un promedio de 5,49 cm, valor superior al registrado en el presente trabajo. Sin embargo, la dosis que presentó el mejor diámetro en este estudio fue inferior a la reportada por dichos autores, lo que podría atribuirse a diferencias en las condiciones edafoclimáticas.

Peso de mil granos y rendimiento

Para el peso de mil granos (Tabla 5), no existieron diferencias estadísticas significativas para el factor A, correspondiente al bioestimulante. Sin embargo, el factor B, relacionado con la dosis de fósforo, sí mostró diferencias significativas en esta variable al comparar la dosis de 0 kg ha⁻¹ con el resto al registrar los valores más bajos.

En este sentido, los resultados obtenidos superan lo reportado por Asim et al. (2017), quienes observaron diferencias significativas en el peso de 1.000 granos, alcanzando el mayor valor con la aplicación de 180 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (231,7 g). Sin embargo, a diferencia de dicho estudio, donde fueron necesarias dosis

más elevadas de fósforo para maximizar esta variable, en el presente trabajo se lograron valores superiores (277,8 g) con dosis de 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Esta discrepancia podría atribuirse a diferencias en las condiciones edafoclimáticas, así como al material genético utilizado, factores que influyen directamente en la eficiencia de uso del fósforo y en la expresión del potencial productivo del cultivo.

Para el rendimiento de granos de maíz, el análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas para ambos factores en estudio. En el factor A, el mayor rendimiento se obtuvo con la aplicación de bioestimulante, alcanzando 2.108 kg ha⁻¹.

En cuanto al factor B (dosis de P_2O_5), el mayor rendimiento se registró con la dosis de 90 kg ha⁻¹ (2.336 kg ha⁻¹), diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos. En un nivel intermedio se ubicó la dosis de 135 kg ha⁻¹ (2.252 kg ha⁻¹), la cual también difirió del resto. Por su parte, las dosis de 45 y 0 kg ha⁻¹ (1.867 y 1.847 kg ha⁻¹, respectivamente) no presentaron diferencias entre sí, conformando el grupo de menor rendimiento.

Se observa una diferencia en rendimiento de 489 kg ha⁻¹ con la utilización de la dosis de 90 kg ha⁻¹ de fósforo, mostrando un efecto positivo del fertilizante en el suelo donde se realizó el experimento.

Tabla 5. Comparación de medias de dosis de fertilizante fosfatado y bioestimulante sobre el peso de mil granos y el rendimiento de granos. Concepción, 2025.

Table 5. Comparison of means of phosphate fertilizer rates and biostimulant on 1,000-grain weight and grain yield. Concepción, 2025.

Factores	Descripción	Rendimiento de granos	Peso de mil granos
		(g)	kg ha ⁻¹
		(ns)	(**)
Bioestimulante (A)	Con	274,8	2.108 A
	Sin	273,9	2.043 B
	kg ha ⁻¹	(**)	(**)
Dosis de P_2O_5 (B)	90	277,8 a	2.336 a
	135	276,3 a	2.252 b
	45	277,6 a	1.867 c
	0	265,6 b	1.847 c
Fc (A) :		0,86NS	13,79**
Fc (B) :		34,95**	215,35**
Fc (AxB):		0,82NS	2,83NS
CV, % :		0,88	2,04
DMS :		2,1202	37,2090

(NS) no significativo (**) Altamente significativo por el Test de Tukey: En las columnas, medias seguidas por la misma letra, mayúscula para bioestimulante y minúscula dosis de fósforo, difieren entre sí en el nivel de significancia del 1 %.

Asimismo, Hou et al. (2019) reportaron que un rango de 88–97 kg ha⁻¹ de P₂O₅ permite alcanzar altos rendimientos y mantener el equilibrio del fósforo en ensayos de campo a largo plazo, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde la dosis de 90 kg ha⁻¹ se encuentra dentro del rango óptimo señalado por dichos autores.

Lucena et al. (2000), utilizando dosis de 0; 120; 180 y 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅, con fuente de superfosfato triple, en condiciones de campo y en un Latosolo Rojo Amarillo distrófico, obtuvieron un rendimiento de grano de 2.258,2 kg ha⁻¹ cuando la dosis fue de 197,6 kg ha⁻¹ de P₂O₅, observándose una proximidad (77,8 kg ha⁻¹) con los intervalos de rendimiento obtenido del presente trabajo.

Por otra parte, Medina Méndez et al. (2018) concluyen que la fertilización recomendada tiene efecto positivo en la producción de granos de maíz, lo cual coincide con los resultados logrados en el presente experimento.

El comportamiento del rendimiento y del peso de mil granos se observa en la Fig. 5 A y B, donde se presenta la ecuación de regresión obtenida para las dosis de fósforo utilizadas en el trabajo.

La ecuación de regresión $y = -0,0128x^2 + 5,4756x + 1796,9$, correspondiente a la variable rendimiento de granos (Fig. 5A), se ajusta a un modelo cuadrático en función de las dosis de fósforo aplicadas en el cultivo de maíz, presentando un coeficiente de determinación $R^2 = 0,74$. Este ajuste indica que el rendimiento se incrementa a medida que aumentan las dosis de fósforo hasta alcanzar un punto máximo (óptimo), a partir del cual se observa una

disminución. Este comportamiento coincide con lo reportado por Gordon-Mendoza et al. (2016), quienes señalan que el rendimiento del maíz aumenta con la aplicación de fósforo hasta alcanzar un nivel óptimo, a partir del cual no se observan incrementos significativos e, incluso, puede disminuir la eficiencia del cultivo debido a efectos de saturación y manejo del nutriente.

El análisis del peso de mil granos de maíz también se ajustó a una ecuación cuadrática, lo que indica que la máxima productividad se alcanzó con una dosis de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, logrando un rendimiento de 277,8 g de granos. Se observa como resultado de la dosis de máxima eficiencia técnica DMET, lograda con la ecuación $y = -0,0017x^2 + 0,2968x + 266,11$ del peso de mil granos con 87 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Saldanha et al. (2017), al evaluar la fertilización fosfatada en maíz, obtuvieron un comportamiento cuadrático, con un coeficiente de determinación del 96%, identificándose un punto máximo de producción de 6.580 kg ha⁻¹ con la dosis de 179,87 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Dicho resultado fue superior al obtenido en el presente estudio, donde el rendimiento se ajustó mejor a una ecuación lineal positiva, lo que podría explicar los valores de producción alcanzados.

Por su parte, Prado et al. (2001) observaron un aumento lineal en la productividad de granos con el incremento de las dosis de fósforo (0, 45, 67,5, 90, 112,5 y 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅), aplicadas tanto en surco simple como en surco doble; de manera similar, en el presente trabajo se evidenció una tendencia comparable, donde el aumento de las dosis de fósforo se asoció con un incremento progresivo en el rendimiento del cultivo.

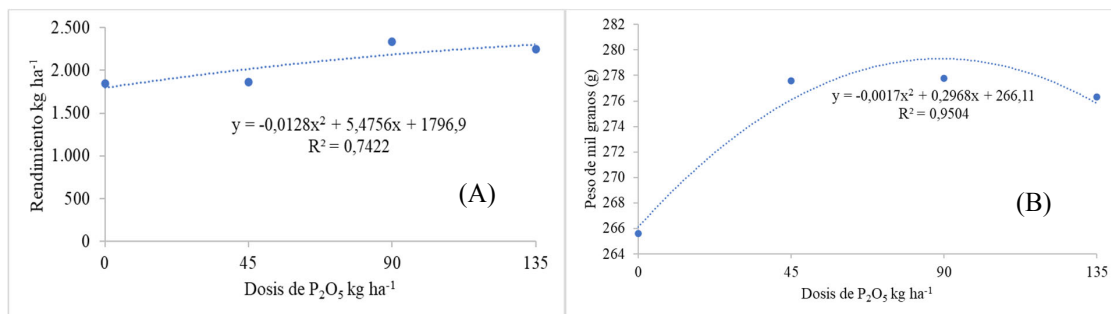


Fig. 5. Ecuación de regresión para el rendimiento (A) y peso de mil granos de maíz (B) afectado por diferentes dosis de fertilizante fosfatado, Concepción Paraguay, 2025.

Fig. 5. Regression equation for grain yield (A) and 1,000-grain weight (B) in maize as affected by different phosphate fertilizer rates. Concepción, Paraguay, 2025.

CONCLUSIONES

La fertilización fosfatada favoreció el crecimiento y la producción del maíz, mientras que el bioestimulante mostró efecto significativo únicamente en el diámetro de mazorca y el rendimiento. La dosis de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ permitió alcanzar el mayor rendimiento (2.336 kg ha⁻¹), en combinación con la aplicación de bioestimulante a razón de 1,5 L ha⁻¹ por ciclo, evidenciando que un adecuado suministro de fósforo, complementado con bioestimulación, mejora la eficiencia nutricional y el desempeño del cultivo.

Contribución de autores

Participación activa en la revisión bibliográfica: Wilfrido Lugo, Derlys López, Eulalio Morel. Participación activa en la elaboración de la metodología: Wilfrido Lugo, Derlys López, Eulalio Morel, Modesto Da Silva y Fabio Lovera. Participación activa en la discusión de los resultados: Wilfrido Lugo, Eulalio Morel, Fabio Lovera, Milciades Melgarejo y Guillermo Enciso. Revisión y aprobación de la versión final del artículo: Wilfrido Lugo, Eulalio Morel, Milciades Melgarejo y Guillermo Enciso.

LITERATURA CITADA

...

- Asim, M., Q. Hussain, A. Ali, S. Farooq, R. Khan, and S.A.A. Shah. 2017. Responses of maize to different levels and sources of phosphorus application. *Pure and Applied Biology* 6(3): 1030–1036. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2017.600109>
- Carmo, D.L., H.Y.U. Takahashi, C.A. Silva e P.T.G. Guimarães. 2014. Crescimento de mudas de cafeeiro recém-plantadas: efeito de fontes e doses de fósforo. *Coffee Science* 9(2):196–206. Disponible em: https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/616/pdf_85
- Calvo, P., L. Nelson, and J.W. Kloepper. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil* 383: 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- CETAPAR - Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay. 2024. Informe de resultados de laboratorio de suelos. Fundación Nikkei CETAPAR, Paraguay.
- Barbosa, J. C. e W.J. Maldonado. 2015. Experimentação agrônômica e AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Multipress.
- Dawar, K., A. Khan, I.A. Mian, B. Khan, S. Ali, S. Ahmad, P. Szulc, S. Fahad, R. Datta, A.A. Hatamleh, M.A. Al-Dosary and S. Danish. 2022. Maize productivity and soil nutrients variations by the application of vermicompost and biochar. *PLoS One* 17(5): e0267483. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267483>
- Díaz-Chuquizuta, P., E. Hidalgo-Meléndez, C. Cabrejo-Sánchez, and O. A. Valdés-Rodríguez. 2022. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación foliar de abonos orgánicos líquidos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 38(2): 144–153. <https://doi.org/10.29393/CHJAA38-14RMPO40014>
- DMH - Dirección de Meteorología e Hidrología. 2025. Datos de los parámetros meteorológicos, Paraguay. <https://www.meteorologia.gov.py/emas/>
- Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196: 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Erenstein, O., M. Jaleta, K. Sonder, K. Mottaleb and B. M. Prasanna. 2022. Global maize production, consumption and trade: Trends and R&D implications. *Food Security* 14: 1295–1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- Franzoni, G., G. Cocetta, B. Prinsi, A. Ferrante and L. Espen. 2022. Biostimulants on crops: their impact under abiotic stress conditions. *Horticulturae* 8:189. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189>
- Gordon-Mendoza, R., J. E. Franco-Barrera, J. E. Villarreal-Núñez, y T. J. Smith. 2016. Manejo de la fertilización fosforada en el cultivo de maíz, El Ejido, Panamá 2004 – 2013. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1): 95-108. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i1.21889> Disponible en: <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/21889/22579>
- Grabovskyi, M., P. Kucheruk, K. Pavlichenko and H. Roubí. 2023. Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production. *Environmental Science and Pollution Research*, 30: 70022–70038. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27235-3>
- Hou, Y.P., L.C. Wang, Q. Li, C.X. Yin, Y.B. Qin, M. Wang, Y.J. Wang and L.L. Kong. 2019. Research on optimum phosphorus fertilizer rate based on maize yield and phosphorus balance in soil under film mulched drip irrigation conditions. *Scientia Agricultura Sinica* 10.3864/j.issn.0578-1752.2019.20.008

- Ji, Q.K., D. Wang, W.B. Yang, Y.R. Han, W.Q. Ma and J. Wei. 2021. Effects of long-term phosphorus application on crop yield, phosphorus absorption, and soil phosphorus accumulation in maize-wheat rotation system. *Chinese Journal of Applied Ecology* 10.13287/j.1001-9332.202107.026 Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34313065/>
- López, D.F.A., W.D.P Lugo, O.B. Salinas, E.L. Morel, M.O. Da Silva, C.A.B Mongelos y R. Sánchez. 2025. Efectividad agronómica de fuentes de fertilizantes fosfatadas en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Alfa* 9(26):465–482. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.359>
- Lucena, L.F.C., F.A. Oliveira, I.F. Silva, e A.P. Andrade. 2000. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 4(3):334–337. Disponible em: <https://pdfs.semanticscholar.org/46e-e/0780b95a13466c3810dcbd8f8b8b1dcc1e98.pdf>
- Luiz, G., S. Ferreira, R. Lustosa, O.F. Dos Santos, E. Vendruscolo, J. Jacinto de Oliveira, T. Do Nascimento de Araújo, K. Mubarak, T. Finatto and H. AbdElgawad. 2023. Biostimulants in corn cultivation as a means to alleviate the impacts of irregular water regimes induced by climate change. *Plants* 12(13):2569. <https://doi.org/10.3390/plants12132569>
- Mandal, S., U. Anand, J. López-Bucio, R. Manoj Kumar, M. Kumar Lal, R. Kumar Tiwari and A. Dey. 2023. Biostimulants and environmental stress mitigation in crops: a novel and emerging approach for agricultural sustainability under climate change. *Environmental Research* 233:116357. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116357>
- McGrath, J.M., J. Spargo and C.J. Penn. 2014. Soil fertility and plant nutrition. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* 5:166–184. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52512-3.00249-7>
- Medina M, J., G. Alejo S, J.M. Soto R y M. Hernández P. 2018. Rendimiento de maíz grano con y sin fertilización en el estado de Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 21(Esp.):4306–4316. INIFAP. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1532> Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342018000904306&script=sci_arttext
- Molinas, J., R. González y M. Duarte. 2024. Caracterización y clasificación de los suelos agrícolas del norte de Paraguay. *Revista Paraguaya de Ciencias Agrarias* 10(1):45–58. Disponible en: <https://ing-alfredo-molinas.blogspot.com/2025/07/tipos-de-suelos-en-la-region-oriental.html>
- Ojo, A. O., M. T Adetunji, K. A. Okeleye and C. O. Adejuyigbe. 2015. Soil fertility, phosphorus fractions, and maize yield as affected by poultry manure and single superphosphate. *International Scholarly Research Notices*, Article ID 616213, 8p. <https://doi.org/10.1155/2015/616213>
- Pimentel-Gomes, F. 2009. *Curso de estatística experimental* (15ª ed.). Piracicaba: Editora FEALQ. Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz. 240 p. ISBN: 9788571330559.
- Prado, R. M., F. M. Fernandes, e C. G. Roque. 2001. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25: 83–90. Disponible em: <https://scispace.com/pdf/resposta-da-cultura-do-milho-a-modos-de-aplicacao-e-doses-de-2epkts2yx.pdf>
- Saldanha, E.C.M., M.E.L. Rocha, J.L.S. Araújo, J.D.N. Alves, D.C. Mariano and R.S. Okumura. 2017. Phosphorus fertilization in maize in northeastern of Pará state. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 16(4):441–448. <https://doi.org/10.5965/223811711642017441>
- Santos, C.F., R.S. Oliveira e S.I.C. Pinto. 2021. Uso de bioativador associado à dosagens de fertilizante fosfatado na cultura do milho. *Nativa* 9(1):16–22. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.10659>
- Selassie, Y. G. 2016. Response and economic feasibility of maize (*Zea mays* L.) to P fertilization in acidic Alfisols of North-western Ethiopia. *Environmental Systems Research* 5:3. <https://doi.org/10.1186/s40068-016-0056-3>
- Silva, A. L. D., M. R. Ramos, D. M. A. Santos, M. M. Soares, M. C. S. Lopes e E. C. Silva. 2022. Cultivo do milho sob doses de fósforo em Plintossolos Pétricos concrecionários. *Revista Agri-Environmental Sciences* 8 (Ed. Especial), e022006. <https://doi.org/10.36725/agries.v8i2.7749>
- Taiz, L., E. Zeiger, I.M. Moller e A. Murphy. 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal* (6ª ed.). 858 p.

- Veneklaas E. J., H. Lambers, J. Bragg, P. M. Finnegan, C. E. Lovelock and W. C. Plaxton. 2012. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. *New Phytol.* 195: 306–320. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04190.x>
- Yang J. C. and J. H. Zhang. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytol.* 169: 223–236. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01597.x>
- Zamudio, G.B., R.A. Félix, G.A. Martínez, C.J.C. Galvão, C.A. Espinosa y R.M. Tadeo. 2018. Producción de híbridos de maíz con urea estabilizada y nutrición foliar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(9):1231–1244. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_

