

Nota técnica

PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ (DIAMANTES 8843) BAJO DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA Y DOSIS DE POTASIO¹

*Cesar Urbina-Briceño², Jorge Claudio Vargas-Rojas³, Edgar V. Vega-Villalobos⁴, Alfredo Alvarado-Hernández⁵, Gilberto Cabalceta-Aguilar⁶, Gabriel Garbanzo-León⁷/**

Palabras clave: Factores de eficiencia; fertilización; componentes de rendimiento; absorción de nutrientes.

Keywords: Efficiency factors; fertilization; yield components; nutrient uptake.

Recibido: 01/08/22

Aceptado: 19/10/22

RESUMEN

Introducción. Es necesario investigar prácticas agronómicas, como la fertilización potásica y la densidad de siembra, para aumentar la productividad del cultivo del maíz. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la densidad de siembra y dosis crecientes de K₂O sobre componentes de rendimiento y eficiencia agronómica en el cultivo de maíz variedad Los Diamantes 8843. **Materiales y métodos.** El experimento se realizó en

la Finca Experimental Santa Cruz (FESC), de la Universidad de Costa Rica durante septiembre y diciembre de 2018. Las densidades evaluadas fueron 50 000, 57 143, y 66 666 plantas.ha⁻¹, mientras las dosis de K₂O fueron 0, 70, 140, 210 kg.ha⁻¹. Se evaluó el rendimiento del grano, altura de la planta, grosor de tallo, peso seco, absorción de nutrientes y se ajustó un análisis de varianza para cada variable. Asimismo, se calculó la eficiencia fisiológica, eficiencia agronómica, factor parcial de productividad, eficiencia aparente de recuperación y eficiencia

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: juan.garbanzo@ucr.ac.cr

1 Este trabajo formó parte del proyecto de investigación B7290 (Evaluación de la fertilización sobre mazorca expuesta en dos variedades de libre polinización de maíz (Diamantes 8843, JSAÉNZ) y maíz criollo en el trópico estacionalmente seco de Costa Rica) en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

2 Ministerio de Educación Pública, Dirección Regional de Educación Santa Cruz, Costa Rica.
 0000-0001-9305-5059.

3 Universidad de Costa Rica, Sede Regional de Guanacaste, Liberia, Costa Rica.

 0000-0002-1139-2148.

4 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Departamento de Cultivos, San José, Costa Rica.

 0000-0002-5678-1710.

5 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.

 0000-0002-6930-6660.

6 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.

 0000-0002-3757-8207.

7 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica

 0000-0003-2848-6199.

interna de utilización. **Resultados.** La absorción de los nutrimentos incrementaron con dosis altas de K_2O . Mientras que la calidad de mazorca y los componentes de rendimiento no presentaron diferencia significativa según la dosis. La densidad de siembra más baja presentó valores mayores en las variables agronómicas, sin embargo, este factor no afectó la calidad de mazorca, la absorción de nutrientes, ni los componentes de rendimiento. Los mayores índices de eficiencia se obtuvieron para la densidad de 66 666 plantas. ha^{-1} y $70 kg \cdot ha^{-1}$ de K_2O . **Conclusión.** En suelos con altos contenidos de K, dosis de $70 kg \cdot ha^{-1}$ de K_2O logran satisfacer las necesidades del cultivo, sin embargo, se recomienda suplir la necesidad de la planta ($131,7 kg \cdot ha^{-1}$ K) sin disminuir las concentraciones de K en el suelo.

ABSTRACT

Maize productivity (Diamantes 8843) under different planting densities and potassium doses. Introduction. Agronomical practices such as plant density and fertilizer doses are necessary to increase corn yield production in rural zones in Costa Rica. **Objective.** Evaluation of three plant densities and three K_2O rate on the yield production in maize variety Los Diamantes

8843 in Guanacaste, Costa Rica. **Materials and methods.** This study was carried out at the Finca Experimental Santa Cruz (FESC) of the University of Costa Rica, between September – December 2018. 50 000, 57 143, 66 666 plants by a hectare (ha) were evaluated with 0, 70, 140, 210 $kg \cdot ha^{-1}$ of K_2O in a factorial experimental design. There were quantified the plant height, stem thickness, dry biomass, nutrients uptake and grain yield. Also, the physiological efficiency, agronomic efficiency, partial factor productivity, apparent recovery efficiency and internal utilization efficiency were calculated. **Results.** The highest K_2O rates increased the nutrient uptake, while cob quality and yield components did not show statistical differences with the three K_2O rate. The lowest plant density exhibited the best agronomic parameter values. However, nutrient uptake, cob quality, and yield component were not affected by plant density. 66 666 plant. ha^{-1} with $70 kg \cdot ha^{-1}$ of K_2O had the highest agronomic efficiency index in this experiment. **Conclusion.** Soils with high K concentration revealed that low rate such as $70 kg \cdot ha^{-1}$ of K_2O can satisfy the K requirements in Los Diamantes 8843. But, in order to conserve the K concentration in the soil, it is essential to supply $131.7 kg \cdot ha^{-1}$ of K to provide a good plant uptake requirement without decrease the K concentration in the FESC soil.

INTRODUCCIÓN

El maíz, junto al trigo y el arroz, es uno de los cereales más importantes a nivel mundial, existen aproximadamente 200 millones de hectáreas sembradas con este grano (García-Lara y Serna-Saldivar 2019). Es un cultivo de mucha adaptabilidad, consumido en todo el mundo; para América Latina y África, que son regiones en desarrollo, su importancia está por encima del trigo y el arroz (Paliwal *et al.* 2001, Mejía 2003, Aguilar *et al.* 2015). La Región Chorotega mantiene el consumo más elevado del país, sea blanco, amarillo o morado donde presenta un

amplio consumo tradicional y preparación artesanal comparado (Valerín 2020).

Existe variabilidad en el manejo del cultivo para las diferentes variedades de maíz, lo que resulta en poca información agronómica para las nuevas. Adicionalmente, las políticas gubernamentales han contribuido a la importación de maíz blanco en un 79,5% y amarillo en un 91,7%. Las situaciones anteriores han provocado una reducción en el área de siembra de este cultivo (Chacón 2017, Morales-Abarca 2017) desde la década de los noventa cuando la siembra de maíz blanco era de 18 000 ha hasta

el período 2018-2019 cercana a las 4000 ha del cultivo (Valerín 2020).

A pesar de la disminución de su siembra, se debe dotar al agricultor de prácticas de manejo agronómico que le permita optimizar el rendimiento a partir de la apropiada densidad del cultivo a valores óptimos, es decir plantar la menor densidad que maximiza el rendimiento en grano (Paliwal *et al.* 2001, CIMMYT 2021, LG 2022). La densidad de siembra óptima asegura mayor cobertura foliar e intercepción de luz durante la floración y evita problemas como la mala distribución de asimilados hacia las espigas y alta esterilidad ocasionadas por densidades altas que afectan el número de granos por mazorca (Valloine *et al.* 2010, Aguilar *et al.* 2015).

La densidad de siembra es un factor controlable que incide directamente en el aumento del rendimiento, diámetro de la planta, anthesis femenina y la longitud de la mazorca (Cruz Ramírez 2017); a medida que este se acerque al rango óptimo poblacional, niveles por debajo o por encima presentan problemas de competencia (luz, nutrientes, agua) y malezas (Fallas *et al.* 2011, Velázquez Quirino 2013). En Costa Rica se han realizado investigaciones sobre el efecto de diferentes densidades de siembra en la producción del grano, donde se encontró que a densidades de 57 143 plantas.ha⁻¹ mostró el mayor rendimiento en la variedad de maíz J-Sáenz (Garbanzo *et al.* 2021).

Además de la densidad de siembra, la productividad del maíz depende de los requerimientos nutricionales pues tiene un alto potencial de producción con la aplicación de fertilizantes potásicos en comparación con otros cereales (Amanullah *et al.* 2016, Patil y Basavaraja 2017). El K tiene funciones como: regulador estomático, turgencia celular, transportador de carbohidratos, almidones, azúcares, aceites, producción de enzimas, activación fotosintética y respiratoria, resistencia a enfermedades, además ayuda al crecimiento del grano (León Alcántara 2016, Natareno Escalante 2017). Es un catión osmóticamente activo, tiene un rol vital en la respuesta del cultivo de maíz a condiciones adversas de clima

y suelo como la salinidad y sequía por su mejora en el uso eficiente del agua dentro de la planta (Mam-Rasul 2010, Radulov *et al.* 2012).

Es de importancia tomar en cuenta el comportamiento del K en el suelo, principalmente en suelos con presencia de arcillas expansivas (2:1). La montmorillonita y vermiculitas ejercen un efecto en la retención de nutrientes cuando las arcillas se contraen al disminuir la humedad, esto causa un efecto de antagonismo con otros cationes en el suelo y aumentan los desbalances nutricionales en las plantas (Alvarado *et al.* 2014, Bertsch 1995). Dados los escasos estudios con dosis adecuadas de monocaciones en alfisoles con características vérticas del trópico estacionalmente seco en Costa Rica, el objetivo de esta investigación fue analizar el efecto de dosis crecientes de K y 3 densidades de siembra sobre componentes de producción en la variedad de maíz Los Diamantes 8843.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área experimental.

El trabajo se realizó en la Finca Experimental de Santa Cruz (FESC) de la Universidad de Costa Rica, Santa Cruz, Guanacaste, la cual se encuentra a una altitud de 54 msnm en las coordenadas geográficas 10°17'6.24" latitud N y 85°35'42.95" longitud O. El experimento se desarrolló durante el período de septiembre – diciembre de 2018 correspondiente a la estación lluviosa. La FESC posee un suelo clasificado como Vertic Haplustalfs (Alfisol) asociado a otros reconocidos como Typic Ustorthents (Entisoles) y Typic Haplusterts (Vertisoles) (Vega y Salas 2012). Las principales características químicas de los suelos se encuentran en la Tabla 1. Las características climáticas generales en la FESC son una temperatura media de 27,90°C, humedad relativa 74%, vientos con velocidades promedio de 20 a 50 km.h⁻¹, radiación solar promedio de 18,7 MJ y una precipitación anual media de 1834 mm (Vegas y Salas 2012, Cerdas 2015, Garbanzo *et al.* 2021).

Tabla 1. Concentración química de suelos para el suelo evaluado con diferentes dosis de K_2O y densidades en la variedad de maíz Los Diamantes 8843 en la Finca Experimental de Santa Cruz, Guanacaste, durante 2018.

KCl Olsen	pH H_2O	cmol(+).L ⁻¹					CICE	% SA	Mg.L ⁻¹					mS.cm ⁻¹ CE
		acidez	Ca	Mg	K				P	Zn	Cu	Fe	Mn	
NC	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5	1,5	
Suelo	6,20	0,13	15,50	5,70	0,50	21,90	0,70	3	2,40	13	68	17	0,10	

Laboratorio Suelos y Foliars del Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

Solución extractora KCl-Olsen modificado, NC = nivel crítico para suelos en general según parámetros del laboratorio.

CICE = Capacidad de intercambio de cationes efectiva = Acidez + Ca + Mg + K.

El contenido de bases presentado en el sitio fue alto (CICE >21 cmol(+).L⁻¹), lo que es indicador de niveles adecuados de fertilidad natural (Tabla 1). Las concentraciones de las bases se encontraron por arriba del nivel crítico calibrado para la solución Olsen modificada en suelos generales (Bertsch 2003). El Ca, Mg y K estuvieron 4, 6 y 2,5 respectivamente, niveles más altos que el límite crítico en Olsen modificado, una acidez baja (de 0,13 cmol(+).L⁻¹). Los contenidos de P, Zn mostraron concentraciones de 3 y 2,4 mg.L⁻¹ respectivamente. Las concentraciones de Fe, Mn fueron por arriba del nivel crítico y no mostró problemas de salinidad de acuerdo con la conductividad eléctrica en el suelo (CE < 1,5 mS.cm⁻¹).

Establecimiento y manejo agronómico del experimento. A los 20 días antes de la siembra se preparó el suelo con un arado de vertedera y 2 pases de rastra. Posteriormente, se procedió a realizar un control pre-emergente de arvenses para esto se utilizó la aplicación de pendimetalina en una dosis de 2 L.ha⁻¹ y atrazina en una dosis de 1,4 L.ha⁻¹. La actividad se realizó en agosto de 2018, se utilizó la variedad de maíz Los Diamantes 8843. La semilla se trató días previos con carboxim + captan con una dosis de 100 g⁻¹ 100 kg⁻¹ de semilla. Las semillas se colocaron de forma manual donde se usó un espeque calibrado para 4-6 cm de profundidad, luego fueron cubiertas con suelo.

Se usó un sistema de riego por goteo con una distancia entre goteros de 15 cm. Los cálculos de la lámina de reposición (LR) neta se hicieron con base en los datos reportados por Rojas (1985).

La LR neta calculada para el sitio experimental fue de 16,9 mm con una frecuencia de riego de 9 días en promedio. Para este cálculo se modeló un porcentaje de agotamiento de 50% con un 90% de eficiencia a una profundidad efectiva de raíces de 20 cm.

Se utilizó una base de fertilización con 300 kg.ha⁻¹ de N, 60 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 40 kg.ha⁻¹ de Mg, 54 kg.ha⁻¹ de SO₄, 10 kg.ha⁻¹ de Zn y 5 kg.ha⁻¹ de B, fraccionadas a los 8, 20 y 40 días después de siembra (dds) con un 10%, 40%, 50% de la dosis aplicada respectivamente.

Tratamientos y diseño del experimento.

Se evaluaron 2 factores: densidad y fertilización potásica. La densidad de siembra tuvo 3 niveles: 50 000, 57 143, 66 666 plantas.ha⁻¹; mientras fertilización potásica tuvo 4 niveles: 0, 70, 140, 210 kg.ha⁻¹ de K₂O. Estas aplicaciones fueron calculadas en unidades de incremento equitativo (70 kg.ha⁻¹) con el fin de cuantificar la más apropiada en sistemas con contenidos de K altos en el suelo y presencia de arcillas 2:1 (problemas de retención de K). De esta manera con la combinación ortogonal de los niveles de los factores surgió una estructura factorial de 12 tratamientos.

La unidad experimental fue de 7 × 3 m, donde 0,5 m alrededor de todo el perímetro se consideró como borde, por lo que la unidad observacional fue de 6 × 2 m (Vargas y Navarro 2017). El diseño experimental fue bloques completos con 5 repeticiones por tratamiento. Así, el experimento tuvo un área experimental de 1008 m², dividida en 48 unidades experimentales de

21 m², cada una se numeró para tener trazabilidad y control con los muestreos.

Variabes experimentales evaluadas. En estado fenológico R5-R6 (próximo a madurez fisiológica), se cosecharon 5 plantas por unidad experimental para un total de 60 plantas. En cada planta se midió la altura con una cinta métrica desde la base del tallo inferior hasta la lígula superior visible. Asimismo, se midió el grosor del tallo a 10 cm de la base inferior con calíper. Las plantas fueron divididas en raíz, panícula, tallos, hojas, granos, mazorca y tuza; cada parte se pesó y se preparó para ser secada a 65°C durante 72 h. Luego las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Foliare del Centro de Investigaciones Agronómicas para la determinación de los contenidos de N, P, K, Mg, S, Zn, y B presentes en los tejidos. Para el cálculo de absorción se siguió la metodología desarrollada por Bertsch (2003) para la cuantificación nutricional por tejido y después proyectadas por planta.

Cuando las mazorcas mostraron el grano duro en madurez fisiológica se procedió a la recolección de las mazorcas en las 48 unidades observacionales del experimento. Las mazorcas fueron procesadas según lo establecido por CIMMYT (2012). Se cuantificó: número de mazorcas por parcela útil (NMPU), peso fresco (PM), número filas de grano por mazorca (FGM), número de granos por fila de mazorca (GFM). También se desgranaron las mazorcas y se cuantificó el peso de los granos sin elote, posteriormente se recolectó una submuestra de 200 g de granos, se cuantificó su peso en húmedo y se dejaron en un horno por 48 horas a 75°C para determinar el peso seco de los granos.

Para cada tratamiento, se calculó la eficiencia aparente de recuperación (ER), eficiencia fisiológica (EF), eficiencia agronómica (EA), eficiencia interna de recuperación (EI) y factor parcial de productividad (FPP) según la metodología definida por Steward (2007). El rendimiento de cultivo utilizado para estos cálculos fue estandarizada a una humedad de 14% en grano.

A todas las variables medidas, con excepción de los índices de eficiencia, se les realizó un

análisis de varianza (ANDEVA) para un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial de tratamientos con un nivel de significancia (α) de 0,05. En los términos donde hubo diferencia estadística significativa se realizó la comparación de medias mediante la diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher. Todos los procedimientos se realizaron con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2020).

RESULTADOS

Para todas las variables agronómicas el efecto de la interacción no fue significativo (Tabla 2). Al analizar el efecto de los factores principales los factores separadamente se encontró un efecto significativo de dosis de K₂O para las variables peso fresco, altura y grosor de tallo donde se utilizó 140 kg.ha⁻¹ de K₂O que presentó los promedios más altos. Estas mismas variables presentaron promedios superiores en la densidad de 50 000 plantas.ha⁻¹. No hubo efecto significativo ($p>0,05$) ni de la densidad de siembra, ni de la aplicación de K₂O para las demás variables; no obstante, en las variables asociadas a la calidad mazorca, se evidenció una tendencia en su valor medio para la medida de 70 kg.ha⁻¹ de K₂O y densidades de 57 143 y 66 666 plantas.ha⁻¹.

La absorción de nutrientes no presentó interacción significativa; de igual forma no hubo efecto de la densidad de siembra sobre la absorción de nutrientes (Tabla 3). Por el contrario, sí hubo efecto significativo de la dosis de K₂O, la absorción promedio de todos los elementos analizados mostraron un aumento significativo cuando se aplicaron sobre 140 kg.ha⁻¹ de K₂O en comparación con las dosis más bajas.

En lo que respecta a las variables relacionadas con los componentes de rendimiento de maíz, no hubo efecto ni de la interacción, ni de los factores principales (Tabla 4). No obstante, se encontró una tendencia de incremento en las variables número de granos y el rendimiento de grano a 14% para la dosis de 0 y 140 kg.ha⁻¹, este mismo efecto en el incremento se encontró para la densidad de 66 666 plantas.ha⁻¹.

Tabla 2. Efecto de dosis de potasio y densidades sobre el peso fresco, peso seco, altura, grosor de tallo y calidad de mazorcas en maíz variedad Los Diamantes 8843 evaluada en Santa Cruz, Guanacaste 2018.

Factores	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Altura (cm)	Grosor tallo (mm)	PM (cm)	FGM (n)	GFM (n)	NMPU (n)
Dosis K20 (kg.ha ⁻¹)								
210	705,20 ^A	235,60 ^A	179,90 ^B	17,70 ^{AB}	3229,60 ^A	12,30 ^A	34,50 ^A	24,40 ^A
140	752,40 ^{AB}	264,10 ^A	198,20 ^A	18,50 ^A	3332,30 ^A	11,80 ^A	33,90 ^A	25,50 ^A
70	599,60 ^{BC}	204,90 ^A	174,80 ^B	16,20 ^B	3882,90 ^A	12,70 ^A	35,50 ^A	29,50 ^A
0	538,00 ^C	196,40 ^A	176,80 ^B	16,00 ^B	3576,50 ^A	12,10 ^A	36,60 ^A	26,50 ^A
P-valor	0,020	0,105	0,014	0,045	0,4310	0,3170	0,1050	0,4220
F	3,65	2,17	3,96	2,92	0,94	1,21	2,17	0,96
Densidad (plantas.ha ⁻¹)								
66 666	541,00 ^B	187,40 ^B	176,70 ^A	15,40 ^B	3565,10 ^A	12,60 ^A	36,60 ^A	26,90 ^A
57 143	662,60 ^{AB}	238,40 ^A	179,60 ^A	17,80 ^A	3632,80 ^A	12,10 ^A	33,30 ^A	29,30 ^A
50 000	742,70 ^A	250,10 ^A	190,90 ^A	18,10 ^A	3318,20 ^A	12,00 ^A	35,60 ^A	23,40 ^A
P-valor	0,009	0,035	0,086	0,008	0,6692	0,414	0,137	0,104
F	5,26	3,62	2,60	5,40	0,41	0,90	2,08	2,38
Dosis × Densidad								
P-valor	0,368	0,998	0,332	0,903	0,789	0,067	0,094	0,442
F	1,12	0,09	1,18	0,36	0,52	2,14	1,95	0,99

Medias seguidas por una misma letra no representan diferencia estadística ($p > 0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher.

n = número, PM = peso de mazorca, FGM = número filas de grano por mazorca, GFM = número de granos por fila de mazorca, NMPU = número de mazorcas por parcela útil.

Tabla 3. Absorción de nutrimentos en maíz variedad Los Diamantes 8843 bajo el efecto de diferentes densidades de siembra y dosis de potasio en Santa Cruz, Guanacaste 2018.

Factores	N	P	K	Mg	S	Zn	B
	kg.ha ⁻¹				g.ha ⁻¹		
Densidad (plantas.ha ⁻¹)							
66 666	185,80 ^A	26,10 ^A	104,80 ^A	28,10 ^A	11,40 ^A	487,80 ^A	123,10 ^A
57 143	189,60 ^A	30,30 ^A	117,80 ^A	32,00 ^A	13,00 ^A	538,40 ^A	133,10 ^A
50 000	158,80 ^A	24,60 ^A	106,50 ^A	26,80 ^A	11,10 ^A	467,30 ^A	121,80 ^A
P-valor	0,297	0,301	0,473	0,227	0,331	0,427	0,671
F	1,25	1,24	0,76	1,53	1,13	0,87	0,40
Dosis K ₂ O (kg.ha ⁻¹)							
210	185,60 ^{AB}	28,50 ^{AB}	126,10 ^A	28,80 ^{AB}	12,60 ^A	550,80 ^{AB}	142,20 ^A
140	220,40 ^A	35,60 ^A	131,70 ^A	35,00 ^A	14,20 ^{AB}	600,60 ^A	140,60 ^A
70	154,80 ^B	22,30 ^B	98,00 ^B	24,30 ^B	10,30 ^B	435,50 ^{BC}	117,60 ^{AB}
0	151,60 ^B	21,60 ^B	83,00 ^B	27,10 ^B	10,30 ^B	404,40 ^C	103,70 ^B
P-valor	0,025	0,007	0,001	0,019	0,038	0,011	0,044
F	3,43	4,58	6,78	3,66	3,06	4,21	2,93
Dosis × Densidad							
P-valor	0,9922	0,9686	0,5232	0,9953	0,9986	0,9997	0,9729
F	0,13	0,22	0,87	0,11	0,07	0,04	0,21

Medias seguidas por una misma letra no representan diferencia estadística ($p > 0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher.

Tabla 4. Efecto de la densidad de siembra y dosis crecientes de potasio sobre los componentes de rendimiento de la variedad de maíz Los Diamantes 8843 Santa Cruz, Guanacaste 2018.

Factores	Peso Seco 1000 granos (g)	Número granos por m ²	Rendimiento en grano a 14% de humedad (kg)
Dosis K ₂ O (kg.ha ⁻¹)			
210	264,00 ^A	1219,90 ^A	3705,50 ^A
140	259,60 ^A	1343,40 ^A	4041,40 ^A
70	258,40 ^A	1182,50 ^A	3552,50 ^A
0	265,70 ^A	1319,80 ^A	4079,30 ^A
P-valor	0,768	0,658	0,590
F	0,38	0,54	0,65
Densidad (plantas.ha ⁻¹)			
66 666	256,40 ^A	1432,50 ^A	4270,80 ^A
57 143	263,10 ^A	1208,60 ^A	3710,50 ^A
50 000	266,30 ^A	1158,20 ^A	3552,70 ^A
P-valor	0,349	0,089	0,169
F	1,08	2,56	1,85
Dosis × Densidad			
P-valor	0,897	0,984	0,986
F	0,37	0,17	0,16

Medias seguidas por una misma letra no representan diferencia estadística ($p > 0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher.

Al analizar los factores de eficiencia (Tabla 5), se encontró que el factor parcial de productividad (FPP) tuvo un valor superior con 70 kg.ha⁻¹, en comparación a las demás. La eficiencia de fertilización (EF), mostró un comportamiento diferente al obtener los mayores índices para las aplicaciones de 70 y 210 kg.ha⁻¹ en la densidad de 57 143 plantas.ha⁻¹. Mientras que en la eficiencia interna de utilización (EI), las

tendencias fueron distintas al presentar valores superiores en las dosis de 70 y 140 kg.ha⁻¹ para la densidad de 66 666 plantas.ha⁻¹. La eficiencia de recuperación (ER) y eficiencia agronómica (EA) para este experimento presentaron valores inferiores a 0,54 y 4,26 respectivamente, lo que indicó eficiencias muy bajas en estos 2 últimos índices para el uso de K en este suelo.

Tabla 5. Efecto de la densidad de siembra y dosis crecientes de potasio en índices de eficiencias en el uso de potasio en maíz variedad Los Diamantes 8843 Santa Cruz, Guanacaste 2018.

Dosis K ₂ O (kg.ha ⁻¹)	Densidad (plantas.ha ⁻¹)	ER	EF	EI	EA	FPP
70	50 000	0,50	0,20	29,60	0,20	42,70
	57 143	0,10	27,30	35,40	1,90	51,90
	66 666	0,40	12,30	54,20	4,30	57,70
140	50 000	0,50	2,20	27,50	1,60	26,90
	57 143	0,30	17,80	32,60	4,50	28,00
	66 666	0,20	25,70	45,30	2,80	31,70
210	50 000	0,20	15,80	33,30	1,70	16,50
	57 143	0,20	27,30	28,70	1,90	15,90
	66 666	0,20	6,60	37,10	1,20	20,50

ER = eficiencia aparente de recuperación, EF = eficiencia fisiológica, EI = eficiencia interna de utilización, EA = eficiencia agronómica, FPP = factor parcial de productividad.

DISCUSIÓN

Las dosis de 140 kg.ha⁻¹ y 210 kg.ha⁻¹ de K₂O incrementaron la biomasa fresca, seca, altura de planta y grosor de tallo, posiblemente, en estas, se presentó un efecto sinérgico con otros nutrimentos catiónicos en el suelo, lo cual se refleja en un aumento la absorción de otros nutrimentos (Tabla 3). Por otro lado, otros trabajos han apuntado a un problema de antagonismo, donde el efecto del incremento de dosis de K₂O demostraron un efecto antagonismo con Mg principalmente (Henríquez *et al.* 1990), sin que este represente una disminución significativa en el rendimiento del cultivo.

Propiamente para la variable altura, se excluye que sea un efecto de etiolación, debido a que, al analizar el efecto de las densidades, estas no tuvieron efecto sobre esta variable. Sin embargo, en algunos trabajos se ha encontrado que la densidad de siembra siempre muestra un efecto en el crecimiento de las plantas, por la competencia lumínica, agua y nutrimentos asociadas con otras características de menor macollamiento y mayor rendimiento de grano (Cruz Ramírez 2017, Raya *et al.* 2012, Amanullah *et al.* 2016). En lo que respecta a la producción Bonilla (2019) indicó que el híbrido Los Diamantes 8843

obtiene rendimientos altos a densidades entre 50 000 y 55 000 plantas.ha⁻¹, no obstante, en este trabajo, si bien no hubo diferencia estadística, con la densidad de 66 666 plantas.ha⁻¹ se obtuvo una producción 20,2% mayor con respecto a la densidad de 66 666 plantas.ha⁻¹.

En las condiciones de este experimento, el rendimiento potencial alcanzado para las diferentes dosis de K₂O no difirieron al tratamiento sin fertilización. La concentración de K encontrada en el sitio del experimento fue de 0,5 cmol.L⁻¹, lo que representa 2,5 veces más que el nivel crítico de este elemento (0,2 cmol.L⁻¹). En este sentido, Riveros y Causarano (2003) reportaron que para encontrar una respuesta a la fertilización potásica los valores deben de presentarse por debajo de 0,18 cmol.kg⁻¹. Esto explicaría el por qué no se encontró un efecto significativo con respecto a las dosis usadas en este experimento. También lo encontraron Garbanzo *et al.* (2021) quienes demostraron que, si la solubilidad de K en el suelo es alta, no hay efecto de la aplicación de K₂O sobre la producción de maíz variedad J-Sáenz. No obstante, este efecto no es sostenible en el tiempo, ya que es posible que después de varios ciclos de cultivo la concentración de K en el suelo tienda a decrecer y ocasione problemas agronómicos en el cultivo cuando los rangos de

este elemento estén por debajo de nivel crítico (Cabalceta y Molina 2006)

La variedad Los Diamantes 8843 mostró el uso más eficiente de K con la dosis de 70 kg.ha⁻¹ de K₂O, a una densidad de 66 666 planta.ha⁻¹, esta combinación obtuvo un índice de eficiencia interna (EI) de 54 y un factor parcial de producción (FPP) de 57,7; es decir que por cada kg de K₂O aplicado se produjo 57,7 kg de grano 14% humedad. El FPP de este trabajo es superior al reportado (46,5) por Garbanzo *et al.* (2021) para una dosis de 100 kg.ha⁻¹ K a una densidad de 57 143 plantas.ha⁻¹ en la variedad J-Sáenz. Sin embargo, fue más bajo que los valores obtenidos (>60) por Stewart (2007) en sistemas con bajo nivel de K en el suelo. Esta investigación, al tener altos niveles de K en el suelo, conlleva a que el FPP tienda a ser más bajo con el incremento de las dosis de K₂O (140-210 kg.ha⁻¹) debido a los altos rendimientos obtenidos por el tratamiento testigo. En general, para manejar efectivamente las dosis de nutrimentos en los sistemas agrícolas, se recomienda obtener siempre índices altos, en este caso, el K en el suelo K no es fue factor limitante en el crecimiento y/o producción, por lo que el efecto de este elemento pudo ser suprimido al usar fórmulas completas con otros nutrimentos (N, P, Mg, Zn y B).

CONCLUSIONES

La variedad de maíz Los Diamantes 8843 no mostró una interacción estadísticamente significativa con respecto a dosis crecientes de K₂O y densidades de siembra. Sin embargo, se observó una respuesta positiva en el rendimiento con el aumento de la densidad de siembra. Para este experimento se logró una producción potencial por arriba de 4 000 kg.ha⁻¹ grano (14% humedad) al utilizar dosis de 140 kg.ha⁻¹ de K₂O y las densidades por arriba de 57 143 plantas.ha⁻¹. Esta misma dosis de K₂O mostró un efecto significativo en la altura de la planta y una tendencia en el crecimiento. De acuerdo con la eficiencia del uso de potasio, los suelos con altos niveles de K (dosis de 70 kg.ha⁻¹ de K₂O)

son suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo por un período determinado, sin embargo, la absorción potencial de la planta fue de 131,7 kg.ha⁻¹ de K, por lo que se recomienda usar dosis de fertilizantes suficientes para suplir la necesidad de la planta sin degradar o disminuir las concentraciones de K en el suelo.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, C; Salvador, JA; Aguilar, I. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 33(1):51-62.
- Alvarado, A; Mata, R; Chinchilla, M. 2014. Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931-2014: ii. Mineralogía de arcillas en suelos con características vérticas y oxidico caoliniticas. *Agronomía Costarricense* 38(1):107-131.
- Amanullah, I; Irfanullah, A; Hidayat, Z. 2016. Potassium management for improving growth and grain yield of maize (*Zea mays* L.) under Moisture Stress Condition. *Scientific Reports* 6(9):1-12. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep34627>
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1 ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 307 p.
- Bonilla, N. 2019. Variedades e híbridos de maíz: Características y recomendaciones para su manejo agronómico. San Jose, Costa Rica, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. 2 p.
- Cabalceta, G; Molina, E. 2006. Niveles críticos de nutrimentos en suelos de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich 3. *Agronomía Costarricense* 30(2):31-44.
- Cerdas, R. 2015. Comportamiento productivo del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *Intersedes* 33(1):125-145.
- Chacón, M. 2017. Evolución del cultivo de maíz en Costa Rica. Oficina Nacional de Semillas de Costa Rica (en línea). Oficina Nacional de Semillas, San José, Costa Rica; 27 sep. Consultado 02 ene. 2022. Disponible en <http://ofinase.go.cr/certificacion-de-semillas/certificacion-de-semillas-de-maiz/evolucion-cultivo-maiz/>
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México). 2012. Manual de determinación de rendimiento (en línea). Texcoco, México. 63 p. Consultado 15 ene.

2019. Disponible en <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/18249/48867.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México). 2021. La importancia de una densidad de siembra óptima (en línea). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Texcoco, México; 19 julio. Consultado 17 ene. 2022. Disponible en <https://idp.cimmyt.org/la-importancia-de-una-densidad-de-siembra-optima/>
- Cruz Ramírez, M. 2017. Efecto de cuatro densidades de siembra y cuatro dosis de fertilizante N-P-K en el desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays L.*) (en línea). Tesis Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 21 p. Consultado 20 nov. 2021. Disponible en; <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/756160fe-9171-4813-8c0d-15e6986e0a42/content>
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2020. Infostat (Nº. 2020). Centro de Transferencia InfoStat (en línea, programa informático). Consultado 02 ene. 2022. Disponible en <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=15>
- Fallas, R; Bertsch, F; Echandi, C; Henríquez, C. 2011. Caracterización del desarrollo y absorción de nutrimentos del híbrido de maíz HC-57. *Agronomía Costarricense* 35(2):33-47. DOI: <https://doi.org/10.15517/rac.v35i2.6677>
- Garbanzo-León, G; Alvarado-Hernández, A; Vargas-Rojas, J. C; Cabalceta-Aguilar, G; Vega-Villalobos, EV. 2021. Fertilización con nitrógeno y potasio en maíz en un Alfisol de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 32(1):137-148. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v32i1.39822>
- García-Lara, S; Serna-Saldivar, SO. 2019. Corn history and culture. In Serna-Saldivar, S (ed.). Sawston, United Kingdom, WoodHead Publishing. p. 1-18 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2>
- Henríquez, C; Bertsch, F; Cabalceta, G. 1990. Efecto de la variación del K disponible en ocho suelos de Costa Rica sobre la absorción y las interacciones foliares entre bases. *Agronomía Costarricense* 14(2):223-230.
- León Alcántara, WD. 2016. Manejo de la fertilización de maíz (*Zea mays L.*) en el Valle Santa Catalina (en línea). Tesis Ing. Agr. Trujillo, Perú, UPAO. 55 p. Consultado 20 nov. 2021. Disponible en https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/2423/1/REP_ING.AGRON_WILSON.LEÓN_MANEJO.FERTILIZACION.MAÍZ.ZEA.MAYS.L.VALLE.SANTA.CATALINA.pdf
- LG (Limagrain, Argentina). 2022. Apuntes técnicos maíz grano: densidad de siembra óptima (en línea). Limagrain, Argentina; 05 ene. Consultado 12 feb. 2022. Disponible en <https://www.lgseeds.es/blog/apuntes-tecnicos-maiz-grano-densidad-de-siembra-optima/>
- Mam-Rasul, G. 2010. Effect of potassium fertilizer on growth and yield of corn plants in some soils at sulaimani governorate. *Mesopotamia Journal of Agriculture* 38(1):35-44. DOI: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33899/magrj.2010.27738>
- Mejía, D. 2003. Post-harvest operations (en línea). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 99 p. Consultado 20 nov. 2021. Disponible en https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compendium_-_MAIZE.pdf
- Morales-Abarca, LF. 2017. Producción y productividad de los cultivos de frijol y maíz en Costa Rica de 1984 al 2014. *E-Agronegocios* 4(1):1-12.
- Natareno Escalante, F. 2017. Evaluación de tres fuentes de potasio en tres híbridos de maíz dulce (*Zea mays*, Poaceae) en la concentración de sólidos solubles, Joyabaj, Quiché (en línea). Tesis Ing. Agr. San Carlos, Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 96 p. Consultado 21 nov. 2021. Disponible en <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2017/06/14/Natareno-Francisco.pdf>
- Paliwal, R; Granados, G; Lafitte, H; Violic, A. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción (en línea). Roma, Italia. s. p. Consultado 17 nov. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm>
- Patil, S; Basavaraja, PK. 2017. Effect of different sources and levels of K on maize (*Zea mays L.*) yield, nutrient content and uptake by maize crop in low K soils of eastern dry zone of Karnataka, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(6):193-199.
- Radulov, I; Berbecea, A; Crista, F; Lato, A; Sala, F. 2012. Mineral fertilization effect on soil potassium and corn quality and yield. *Research Journal of Agricultural Science* 44(3):108-114.
- Raya, J; Aguirre, C; Medina, G; Ramírez, J; Andrio, E; Castellanos, A; Covarrubias, J. 2012. Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(4):633-641.
- Riveros, G; Causarano, H. 2003. Efecto de la fertilización potásica sobre el tenor de potasio intercambiable de cinco suelos del paraguay y el crecimiento de maíz (*Zea mays L.*). *Investigación Agraria* 5(2):5-11.
- Rojas, O. 1985. Estudio Agroclimático de Costa Rica. 2 ed. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 226 p.
- Stewart, WM. 2007. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes (en línea). *Boletín Informaciones Agronomicas* Nº. 67:1-6. Consultado 06 ene. 2021. Disponible en <http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/issue/IA-LAHP-2007-4>

- Valerín, JE. 2020. Informe situacional granos básicos 2012-2019: frijol-maíz (en línea). San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 116 p. Consultado 16 nov. 2020. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E16-11088.pdf>
- Vallone, P; Gudelj, V; Galarza, C; Masiero, B; Vranicich, C; Nebreda, J. 2010. Ensayo de densidad y distancia de siembra de maíz (en línea). Consultado 14 dic. 2021. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-10_1.pdf
- Vargas, JC; Navarro, JR. 2017. Determinación del tamaño y la forma de unidad experimental, con el método de curvatura máxima, para ensayos de rendimiento de maíz (*Zea mays*), Guanacaste, Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED 9(1):35-144. DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1689>
- Vega, EV; Salas, RE. 2012. Curvas de absorción de nutrientes bajo dos métodos de fertilización en sandía, en Guanacaste, Costa Rica. InterSedes 13(26):21-42.
- Velázquez Quirino, FJ. 2013. Evaluación de densidad de siembra en maíz (*Zea mays* L) para la producción de grano en la Comarca Lagunera. Tesis Ing. Agr. Coahuila, México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 52 p.



Agronomía Costarricense. Universidad de Costa Rica. Se encuentra licenciada con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr