

Omisión de nutrientes: eficiencias de absorción, rendimiento y calidad de semilla en la formación de un híbrido de maíz

Omission of nutrients: absorption efficiencies, yield and seed quality in the formation of a corn hybrid

Edwin Stalin Hasang Morán^{1,*}, Manuel Danilo Carrillo Zenteno^{2,†},
Wuellins Dennis Durango Cabanilla^{3,‡}, Fátima Lourdes Morales Intriago^{4,#},

¹Maestrante de la Universidad Tecnológica Equinoccial; ²Universidad Tecnológica Equinoccial
³Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ⁴Universidad Técnica de Babahoyo, Extensión Quevedo.

ehasang78@hotmail.com¹; mcarrillo@ute.edu.ec²
wuellins.durango@iniap.gob.ec³; fatimadecarrillo@yahoo.com⁴

Fecha de recepción: 10 de enero de 2018 — Fecha de aceptación: 18 de mayo de 2018

Resumen—El maíz es uno de los cereales más cultivados a nivel mundial y de gran importancia para la alimentación humana y animal. En este trabajo evaluó la incidencia de la omisión de nutrientes, sobre la absorción de nutrientes, rendimiento y calidad de semilla, en la formación de un híbrido de maíz, empleando siete tratamientos de omisión de N, P, K, Mg, S, Zn y B, uno de fertilización completa, uno bajo recomendación técnica y un testigo absoluto. Los datos fueron analizados estadísticamente, evaluando variables agronómicas, de rendimiento, vigor y eficiencias de fertilización. Como resultado se encontró que el mayor rendimiento fue de 2134 kg ha⁻¹ de semilla obtenido con la omisión de S, las omisiones no afectaron el vigor de la semilla y las EA fueron 6,31 kg kg⁻¹ de N; 19,05 kg kg⁻¹ de P; 12,64 kg kg⁻¹ de K; 9,31 kg kg⁻¹ de S; 15,30 kg kg⁻¹ de Mg; 25,56 g kg⁻¹ de Zn y 144,44 g kg⁻¹ de B; las EAR fueron 0,29/N; 0,76/P, 0,65/K, 0,67/S, 0,42/Mg, 1,73/Zn y 7,79/B. También se determinó que la longitud y diámetro de mazorcas son limitadas por la omisión de K, siendo que las prioridades de nutrición de los parentales del híbrido de maíz, en la zona de Quevedo, tuvieron la secuencia $P > N = Mg = K \gg Zn > B \gg S$.

Palabras Clave—Absorción, eficiencia agronómica, eficiencia interna, híbrido, vigor.

Abstract—Corn is one of the most cultivated cereals worldwide and of great importance for human and animal food. In this work, we evaluated the incidence of the omission of nutrients, on the absorption of nutrients, yield and quality of seed, in the formation of a corn hybrid, using seven treatments of omission of N, P, K, Mg, S, Zn and B, one of complete fertilization, one under technical recommendation and an absolute witness. The data were analyzed statistically, evaluating agronomic variables, yield, vigor and fertilization efficiencies. As a result, it was found that the highest yield was 2134 kg ha⁻¹ of seed obtained with the omission of S, the omissions did not affect the vigor of the seed and the EA were 6,31 kg kg⁻¹ de N; 19,05 kg kg⁻¹ de P; 12,64 kg kg⁻¹ de K; 9,31 kg kg⁻¹ de S; 15,30 kg kg⁻¹ de Mg; 25,56 g kg⁻¹ de Zn y 144,44 g kg⁻¹ of B; the EARs were 0.29/N; 0.76/P, 0.65/K, 0.67/S, 0.42/Mg, 1.73/Zn and 7.79/B. It was also determined that the length and diameter of ears are limited by the omission of K, being that the nutrition priorities of the parents of the corn hybrid, in the area of Quevedo, had the sequence $P > N = Mg = K \gg Zn > B \gg S$.

Keywords—absorption, agronomic efficiency, internal efficiency, hybrid, vigor.

INTRODUCCIÓN

El maíz es un cereal, considerado un bien de producción primaria de importancia mundial por la diversidad de usos en su cadena de valor, comprendiendo la alimentación humana, animal, piscícola o para su transformación, cuyo producto terminal puede ser usado como alimento, combustible o materia prima para elaboración de biomateriales (MAGAP, 2013)

En Ecuador, la producción de este cereal en los últimos años no es de las mejores, así en el año 2016 se estimó una super-

ficie de siembra de 341 254 ha, con rendimientos promedio de 3,68 t (ESPAC, 2016). Sin embargo el área de siembra difiere cada año, por ser un cultivo susceptible a variaciones climáticas, plagas, tecnología utilizada, disponibilidad de obra de mano y la rentabilidad por temporada.

La provincia de Los Ríos, concentra la mayor área de siembra, con 41,13 % de la superficie total y una productividad promedio de 3,56 t ha⁻¹); le siguen Manabí y Guayas, con 25,91 % y 14,10 %, respectivamente; y en nivel menor Loja con el 9,48 % (ESPAC, 2016). Gran parte del área de siembra, está en manos de pequeños productores que dependen de los cambios en el régimen de lluvias para obtener una buena producción, siendo las condiciones climáticas factores importantes para el correcto desarrollo del cultivo (González and Díaz, 2008) .

La fertilización es fundamental para la producción agrícola

*MSc. Nutrición Vegetal

†PhD. Suelos y Nutrición Vegetal

‡Magister Scientiae en Agricultura Ecológica

#Magister Scientiae -Extensao Rural

y una condición necesaria para lograr producciones óptimas cuantitativa y cualitativamente (Domínguez et al., 2001); por otro lado, la pérdida de fertilidad de suelos y el manejo de materiales de bajo potencial de rendimiento, también limitan la productividad y la obtención de semillas de calidad, indispensables para el correcto establecimiento del cultivo (Espinosa and García, 2009); para determinar ésta necesidad se han desarrollado modelos agronómicos, como las parcelas de omisión que permiten ajustar las recomendaciones nutricionales según las necesidades en cada sector o región, incrementando sus rendimientos a niveles competitivos (Dobermann and Fairhurst, 2000).

La continua búsqueda de materiales que se adapten a las condiciones locales y que posean alto potencial de rendimiento, hace necesario evaluar técnicas que mejoren los rendimientos y la eficiencia de los fertilizantes aplicados, una de estas estrategias sería el uso de semillas de alta calidad, cuyas reservas nutricionales ayuden al establecimiento inicial del cultivo.

Al existir, poca información sobre el efecto de la omisión de nutrientes en la fertilización de los progenitores al momento de la formación del híbrido y sus efectos sobre el vigor y características de rendimiento de su progenie (F1), ésta investigación se planteó el objetivo de evaluar el grado de incidencia de la omisión de nutrientes sobre las eficiencia del cultivo, calidad de semilla, desarrollo y rendimiento del maíz.

METODOLOGÍA

La investigación, se realizó en la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicada en el km 5 de la vía Quevedo - El Empalme, cantón Mocache, Provincia de Los Ríos. Se localiza a 79°28' longitud W y 01°06' latitud S, a 120 msnm, con temperatura promedio de 26,05°C, humedad realiva de 83,2% y precipitación anual promedio de 1861,1 mm (de Meteorología e Hidrología

, INAMHI).

El trabajo se desarrolló durante la época lluviosa del 2014, estableciendo parcelas de maíz sembradas con una densidad de 62550 plantas ha^{-1} , con semillas de los parentales masculino (L.P.2.A) y femenino (L.I.4), facilitados por el Programa de maíz de la Estación Experimental Portoviejo (EEP) del INIAP. El factor en estudio fue la omisión de nutrientes a los progenitores, para ello se establecieron siete tratamientos omitiendo N, P, K, Mg, S, Zn y B, un tratamiento de fertilización completa (aplicación de todos los nutrientes), uno basado en la recomendación técnica (macronutrientes) y un testigo absoluto (ver Tabla 1).

Las variables evaluadas fueron: días a la floración, considerando el tiempo transcurrido desde la siembra hasta cuando mínimo el 50% de las plantas emitieron su panícula. A los 110 días después de la siembra (dds), se registró la altura de inserción de la mazorca (m) desde el suelo al punto de inserción de mazorca principal; diámetro de tallo (mm) en el primer entrenudo, acame (%) de raíz (plantas más del 30%

de inclinación) y tallo (talos con más del 45% de inclinación). A los 120 dds, se registró el porcentaje de mazorcas mal polinizadas y podridas, diámetro de mazorca (mm) y longitud (cm). Peso de mil semillas (g).

El rendimiento ($kg\ ha^{-1}$), se determinó empleando la ecuación 1, con datos del peso fresco de grano cosechado (PHG) en las dos hileras centrales de cada tratamiento (área de cosecha AC), el porcentaje de humedad del grano (HG) y el resultado fue ajustado al 14% de humedad.

$$\text{Rendimiento } (kg\ ha^{-1}) = (PHG * \frac{(100-HG)}{86}) * (\frac{10000}{AC})$$

(ecuación 1)

El índice de cosecha (IC), eficiencia fisiológica (EF), agronómica (EA), interna (EI), aparente de recuperación (EAR) y el factor parcial de productividad (FPP), se determinaron mediante las ecuaciones descritas por (Dobermann and Fairhurst, 2000).

Los datos fueron analizados utilizando el Diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones y las comparaciones entre medias con la prueba de Tukey ($p < 0,05$), empleando el programa estadístico InfoStat v2011 (Di Rienzo et al., 2011).

El manejo del cultivo consistió en aplicación de insecticida en el tratamiento de semilla y en mezcla con el herbicida pre emergente, para prevenir daños de insectos tierreros al inicio del establecimiento del cultivo; posteriormente controles a los quince y veinticinco dds y aplicación de cebo envenenado a los 30 dds. Se controló las malezas en pre (químico a la siembra) y post emergencia (con machete a los 30 dds). La fertilización se realizó de acuerdo a los tratamientos de omisión, en chorro continuo, en tres aplicaciones: a la siembra, quince y treinta días después de la siembra, utilizando fertilizantes comerciales Urea, Sulfato de Amonio, Magnesio y Zinc, Nitrato de Magnesio, MAP, MOP, DAP, Fertiboro, Micro Mix II. La polinización fue asistida al momento de la emisión de la panoja y realizada por el personal del Programa de maíz de la EETP. A la emisión de la flor femenina, se colocó una funda para evitar fecundación con otro polen; así cada mazorca fue polinizada con polen de plantas sometidas al mismo tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables, diámetro de mazorca, días a la floración, acame de raíz y tallo, índice de cosecha, peso de mil semillas y vigor de semillas, no presentaron diferencias estadísticas significativas.

En altura de inserción de mazorca, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre la fertilización completa y las omisiones de nutrientes (0,90 y 1,01 m), correspondiendo la menor a la omisión de N (ver Tabla 2), elemento indispensable en la formación y desarrollo de yemas florales y fructíferas (Malavolta et al., 1997) y desarrollo de la planta (INPOFOS, 1997). El tratamiento testigo, alcanzó una altura de inserción de mazorca de 0,64 m, valor estadísticamente diferente a los restantes tratamientos.

El diámetro de tallo del tratamiento -N con 14,82 mm, resultó estadísticamente igual al tratamiento testigo (12,33 mm) y

Tabla 1. Tratamientos para determinar el efecto de la omisión de nutrientes sobre la calidad de semilla y rendimiento, en la formación de un híbrido de maíz

Código	Tratamiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO	Zn	B
kg ha ⁻¹								
1	PKSMgZnB(-N)	0	46	60	44	55	15	1,5
2	NKSMgZnB(-P)	140	0	60	44	55	15	1,5
3	NPSMgZnB(-K)	140	46	0	44	55	15	1,5
4	NPKMgZnB(-S)	140	46	60	0	55	15	1,5
5	NFKSZnB(-Mg)	140	46	60	44	0	15	1,5
6	NPKMgSB(-Zn)	140	46	60	44	55	0	1,5
7	NPKgSZn(-B)	140	46	60	44	55	15	0
8	NPSKMgSZnB(FC)	140	46	60	44	55	15	1,5
height9	*PFI	140	46	60	44	55	0	0
10	Testigo absoluto	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboracion propia.

diferente al tratamiento -Zn que alcanzó 17,93 mm, con los restantes tratamientos no hubieron diferencias significativas (ver Tabla 2).

Para la longitud de mazorca, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento testigo (5,53 cm) con los de fertilización completa y -B que mostraron 11,7 y 11,0 cm, respectivamente. Las longitudes observadas con las omisiones de S y B, hacen suponer que la cantidad de elemento nativo del suelo, fue suficiente para el normal desarrollo de las mazorcas.

Para el porcentaje de mazorcas mal polinizadas, se determinó diferencias estadísticas significativas, siendo el tratamiento testigo con 58,73 %, el que tuvo el mayor porcentaje; mientras que el tratamiento de omisión de Zn con 12,20 %, resultó con menos problemas de polinización (ver Tabla 2). Analizando los tratamientos fertilizados, se observó que la omisión de P, provocó el mayor valor de mazorcas mal polinizadas (29,62 %), posiblemente debido a que este elemento una vez absorbido, distribuido y concentrado mayoritariamente en las partes reproductivas, siendo fundamental en el almacenamiento de energía para la formación de semillas (Agarwuala y Sharma, 1963; citados por Pineda-Mares et al. (2001)).

El rendimiento, obtenido presentó diferencias estadísticas significativas (Figura 1) entre el tratamiento testigo con 921 kg ha⁻¹ de semilla que resultó el más bajo con el de omisión de S (2134 kg ha⁻¹ de semilla); este último valor de rendimiento está acorde con lo conseguido Hernández et al. (2010), quienes al evaluar 17 líneas parentales de maíz en Venezuela, obtuvieron entre 1707 y 3199 kg ha⁻¹ de semilla.

El menor rendimiento por omisión de nutrientes fue con -P (1077 kg ha⁻¹ semilla), debido posiblemente al efecto de la mala polinización registrada, el cual también se observó con la omisión de N, K y Mg cuyos rendimientos no llegaron a superar los 1200 kg ha⁻¹ de semilla, esto podría deberse a que el N interviene en la formación y desarrollo de las yemas florales; el P y Mg en el crecimiento radicular e incremento de la fructificación y el K en el llenado de grano y almacenamiento de azúcares y almidón (Malavolta et al., 1997).

La eficiencia fisiológica (EF) de N fue mayormente afectada por la omisión de Zn (-39,94 kg de grano por kg de N absorbido), lo que significó una disminución de 63,7 kg de grano que corresponde al 268,09 %; por otro lado, con el

tratamiento -K, se superó la EF del N en 296,16 kg ha⁻¹, en ambos casos comparado con el tratamiento de FC (ver Tabla 3). Este efecto hace suponer que la fertilización con K disminuyó la EF del N, pudiendo inferir que los contenidos de K en el suelo fueron suficientes.

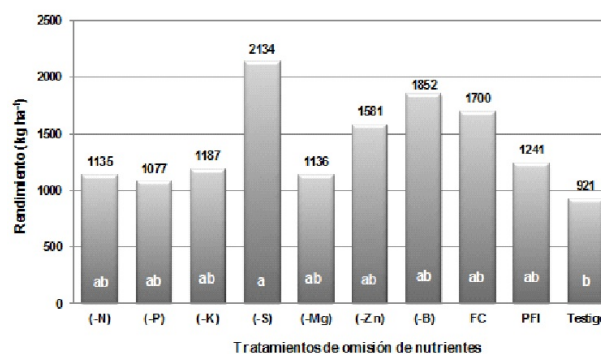


Figura 1. Rendimiento de grano (kg ha⁻¹), afectados por la omisión de nutrientes en la formación de un híbrido de maíz.

Fuente: Elaboración propia

Estas eficiencias resultan menores a los 35 kg de maíz por kg de N absorbido, reportado por Celaya (2009) citado por Tasistro (2013) en maíz comercial y estuvieron acordes a las encontradas por Andrade (2009) en líneas de maíz donde varió de 20 a 24 kg de maíz por kg de N absorbido.

La EF del P se vio afectada en mayor grado en el tratamiento FC con valores menores en 614,24 kg kg⁻¹ en relación al de omisión de P, esto posiblemente se debe a la adición de B, en razón de que en el tratamiento donde se omitió este elemento, se incrementó la EF, respecto al de omisión de P en 1250,36 kg kg⁻¹. Contrariamente a lo encontrado en esta investigación, para Temascalcingo-México, Zamudio-González et al. (015a), reportaron una EF de 232,4 kg kg⁻¹ de P y 181,1 kg kg⁻¹ de P, en los híbridos H-47 y H-59, en su orden.

La EF del K, de 54,07 kg kg⁻¹ en el tratamiento de FC, resultó similar a los 51,7 kg kg⁻¹ de K, encontrados en el híbrido H-47 Zamudio-González et al. (015a). La EF del K por omisión de S (-129,62 kg kg⁻¹) significa una disminución de eficiencia en 183,69 kg kg⁻¹, mayor que el provocado por la omisión de N, que resultó en 123,48 kg kg⁻¹.

Por otro lado, la EF del S, se vio limitada principalmente

Tabla 2. Promedios para altura de mazorca, diámetro de tallo y mazorca, longitud de mazorca, acame raíz y tallo, mazorcas mal polinizadas, floración e índice de cosecha afectado por la omisión de nutrientes en la formación de un híbrido de maíz

Tratamiento de omisión	Altura de carga	Diámetro de tallo	Diámetro Mazorca	Longitud mazorca	Acame	Mal Polinizadas	Floración	IC
	m	mm		cm	%		días	
PKSMg (-N)	0,90 B	14,89 A B	35,53 A	8,53 A B	13,33 A	19,42 A B	62 A	0,18 A
NKSMg (-P)	0,92 B	15,46 B C	35,97 A	9,57 A B	30,67 A	29,62 A B	62 A	0,18 A
NPSMg (-K)	0,98 B	17,47 B	29,13 A	9,83 A B	27,67 A	20,92 A B	61 A	0,20 A
NPKMg (-S)	0,96 B	16,83 B C	39,10 A	11,10 B	34,00 A	24,77 A B	60 A	0,23 A
NPKS (-Mg)	0,97 B	17,53 B	34,67 A	9,60 A B	38,00 A	21,19 A B	61 A	0,16 A
NPKSMg (-Zn)	1,00 B	17,93 C	35,57 A	9,50 A B	18,67 A	12,20 A	61 A	0,22 A
NPKSMg (-B)	1,00 B	17,26 B C	33,97 A	11,00 B	28,33 A	22,63 A B	59 A	0,23 A
NPKSMgBZn (FC)	1,01 B	17,67 B C	33,97 A	11,70 A B	25,33 A	23,51 A B	60 A	0,19 A
PFA	1,00 B	17,49 B C	31,80 A	9,37 A B	27,67 A	20,07 A B	60 A	0,19 A
TESTIGO	0,64 B	12,33 A	24,33 A	5,53 A B	25,33 A	58,73 B	62 A	0,14 A
Promedio	0,94	16,48	33,40	9,57	26,90	25,31	61	0,19
CV (%)	6,13	5,91	21,21	18,93	33,46	58,16	2,44	17,26
Tukey	0,17*	2,85	20,74 ns	5,30*	26,35ns	43,08*	4,33ns	0,09ns

Fuente: Elaboracion propia.

por la omisión de Mg, donde se reduce 1144,45 kg kg⁻¹, que corresponde a 160,96 % respecto a la eficiencia obtenida con el tratamiento FC (711,03 kg kg⁻¹), contrario a esto se encontró con la omisión de P, que elevó la eficiencia en 3999,60 kg de grano por kg de S absorbido.

Excepto por la omisión de S, los restantes elementos disminuyeron la EF del Mg. Sin aplicar S, se obtuvo una EF de 398,80 kg kg⁻¹, mayor a los 365,28 kg kg⁻¹ observada para el tratamiento FC, pudiendo considerar que la aplicación de S, disminuyó la eficiencia en 33,52 kg kg⁻¹ (9,18 %). Esta EF, es menor a la reportada por Zamudio-González et al. (015a), en los híbridos H-47 (553,4 kg kg⁻¹ de Mg) y H-59 (421,8 kg kg⁻¹ de Mg).

La EF del Zn y B, se redujo por la omisión de todos los elementos, siendo para el primer caso que la omisión de K, disminuyó en 13,93 kg kg⁻¹ y para el B, la omisión de S, redujo en 3,2 kg kg⁻¹, que corresponde al 58,71 %; en los dos casos comparados con el tratamiento FC.

Los resultados mostraron que la mayor eficiencia agronómica (EA) en el N (6,31 kg de grano kg⁻¹ de elemento aplicado) se consiguió con el tratamiento de FC (ver Tabla 4), siendo afectado negativamente por la omisión de todos los nutrientes, principalmente del P, donde ésta se reduce a 0,05 kg kg⁻¹ (99,2 %). Estos valores EA del N, son comparables a los encontrados por Motato et al. (2016) con el híbrido INIAP-H 603, en Jipijapa (6,9 kg de maíz kg⁻¹ de N a 7,8 kg de maíz kg⁻¹ de N) y por Aguilar et al. (2016), en Montecillo-México con los genotipos HS-2 (3,78 kg de maíz kg⁻¹ de N) y Michoacán-21 (4,98 kg de maíz kg⁻¹ de N), pero están muy por debajo de los reportados por Snyder and Bruulsema (2007), que indicaron EA de 10 a 30 unidades de grano por unidad de N aplicado. También Zamudio-González et al. (015b), obtuvieron EA de 20,9 kg de grano de maíz kg⁻¹ de N aplicado al suelo; sin embargo, hay que considerar que en ésta investigación fueron utilizadas líneas homocigotas.

Para el P al igual que el N, las omisión de los elementos redujeron su EA, teniendo que el tratamiento FC mostró el mayor valor (19,05 kg kg⁻¹), el cual disminuyó en 19,2 kg kg⁻¹ (100,78 %) con la omisión de N, indicando un alto grado de sinergismo entre estos dos elementos. Similar

eficiencia fue encontrada por Espinosa and García (2009) en el fraccionamiento de N y P en el híbrido de maíz FNC3056, cuyas eficiencias variaron de 5,4 a 20,8 kg de grano kg⁻¹ de P aplicado; así también Zamudio-González et al. (015b), reportaron una eficiencia de 10,4 kg de grano kg⁻¹ de P. Sin embargo, Tasistro (2013) indicó EA de 30 - 50 kg kg⁻¹, mayores a las encontradas en esta investigación.

La máxima EA del K, se encontró en el tratamiento de FC con 12,64 kg kg⁻¹ y la omisión de nutrientes provocó reducción, principalmente en -N, donde se redujo 14,72 kg kg⁻¹, que corresponde al 116,45 %. Las eficiencias encontradas están acordes a los niveles que varían de 10 kg kg⁻¹ a 20 kg kg⁻¹ (Tasistro, 2013); 2,0 kg kg⁻¹ a 15,0 kg kg⁻¹ (García and Salvaggiotti, 2009) y 8,41 kg de grano kg⁻¹ de K indicado por Zamudio-González et al. (015a). La FC, mostró una EA del S de 9,31 kg kg⁻¹, que resultó la más alta y que por efecto de la omisión de nutrientes tendió a disminuir, principalmente cuando se omitió N y P, mostrando eficiencias menores en 20,07 kg kg⁻¹ y 19,91 kg kg⁻¹, equivalente a 215,57 % y 213,86 %, respectivamente. Los valores conseguidos resultaron menores a los 45 kg kg⁻¹ indicado por Steinbach and Alvarez (2014) para la región Pampeana de Argentina.

La mayor EA del Mg, se encontró con el tratamiento FC que presentó 15,30 kg kg⁻¹, siendo afectada en mayor grado por la omisión de N y P, que redujeron en 16,06 kg kg⁻¹ y 15,93 kg kg⁻¹, correspondiendo a 105,00 % y 104,12 %, respectivamente. EA de Mg, en el orden de 21 kg kg⁻¹ y 27 kg kg⁻¹ fue conseguida por Carrillo et al. (2010) trabajando con el híbrido de maíz INIAP H-553, que resultaron mayores a las de este trabajo, pero encontraron que las mayores reducciones, también fueron con la omisión de N y P.

En el Zn y el B, las mayores EA se observaron con el tratamiento de FC con valores de 25,56 kg g⁻¹ y 144,44 kg g⁻¹, viéndose reducida su eficiencia con la omisión de N y P, en porcentajes mayores de 228 % y 404 %, en su orden. Para la eficiencia interna (EI), a excepción del Mg, los demás elementos presentaron diferencias estadísticas significativas (ver Tabla 5). Las mayores EI de N (¿17 kg de grano kg⁻¹ de N absorbido) se observó en los tratamientos -S y -Zn; mientras que la menor fue 11,41 kg Kg⁻¹ en el testigo. En relación al

Tabla 3. Eficiencia agronómica de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en la formación de un híbrido de maíz

Tratamiento	N (Kg)	P aumento	K en	S producción	Mg cción	Zn de/	B alimetos
PKSMgZnB (-N)	0,00	-0,15	-2,08 A	-10,76	-0,76	-33,33	-444,44
NKSMgZnB (-P)	0,05	0,00	-1,97	-10,60	-0,63	-32,87	-439,81
NPSMgZnB(-K)	0,89	2,57,24	0,00	-7,92	1,52	-25,00	-361,11
NPKMgZnB (-S)	3,38	10,14	5,81	0,00	7,85	-1,77	-128,77
NPKSZnB (-Mg)	0,30	0,75	-1,39	-9,81	0,00	-30,56	-416,67
NPKSMgB (-Zn)	3,57	10,72	6,25	0,60	8,33	0,00	-111,11
NPKSMgZn (-B)	4,76	14,34	9,03	4,39	11,36	11,11	0,00
NPKSMgZnB (FC)	6,31	19,05	12,64	9,31	15,30	25,56	144,44
PFI	0,99 B	2,87	0,23	-7,61	1,77	0,00	0,00
TESTIGO	0,00 B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	2,25	6,70	3,17	-3,60	4,97	-9,65	-195,27
Mínimo	0,00	-0,15	-2,08	-10,76	-0,76	-33,33	-444,44
Máximo	6,31	19,05	12,64	9,31	15,30	25,56	144,44

Fuente: Elaboracion propia.

Tabla 4. Eficiencia fisiológica de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en la formación de un híbrido de maíz

Tratamiento	N (Kg)	P aumento	K en	S producción	Mg cción	Zn de/	B alimetos
PKSMgZnB (-N)	0,00	43,37	-69,41 A	1562,55	80,66	0,77	3,61
NKSMgZnB (-P)	9,28	0,00	125,59	3999,69	34,97	0,81	3,07
NPSMgZnB(-K)	319,92	146,24	0,00	-89,48	51,72	0,60	2,61
NPKMgZnB (-S)	16,27	434,83	3-129,62	0,00	398,80	3,08	2,25
NPKSZnB (-Mg)	10,27	10,87	4,72	-433,42	0,00	1,04	4,08
NPKSMgB (-Zn)	-39,94	-191,58	46,29	23,40	272,04	0,00	2,63
NPKSMgZn (-B)	23,66	1250,36	75,50	146,72	335,61	0,99	0,00
NPKSMgZnB (FC)	23,76	-614,24	54,07	711,03	365,28	14,53	5,45
PFI	18,51 B	612,56	22,66	811,58	242,74	-0,60	0,75
TESTIGO	16,81 B	54,37	22,90	970,74	101,72	1,11	2,83
Promedio	44,28	194,09	16,97	855,87	209,28	2,48	3,03
Mínimo	-39,94	-614,24	-129,62	-433,42	0,00	-0,60	0,00
Máximo	319,92	1250,36	125,59	3999,69	398,80	14,53	5,45

Fuente: Elaboracion propia.

tratamiento FC, la omisión de Mg y P disminuyeron en mayor grado la EI del N (25 %). Estos valores resultaron menores a los encontrados por Carrillo et al. (2010), cuyo promedio fue de 52,02 kg Kg⁻¹ en el híbrido de maíz INIAP H-553.

En la EI de P, la omisión de B incrementó en 15,3 % la eficiencia al comparar con los 73,50 kg Kg⁻¹ del tratamiento de FC; por el contrario, la omisión de Mg (43,91 kg Kg⁻¹) que resultó similar al testigo (42,65 kg Kg⁻¹), provocaron reducción de más del 40 %, igual a lo encontrado por Carrillo et al. (2010), en Patricia Pilar-Ecuador.

Analizando la EI del K, el tratamiento -Mg, redujo la eficiencia en más del 32 %, casi igual que el testigo. Por el contrario, la omisión de B incrementó en 2,74 kg Kg⁻¹, lo que equivale al 15,7 %. Para la EI de S se observó que el N fue el elemento afecta mayormente la eficiencia, ya que su omisión presentó una EI de 297,57 kg Kg⁻¹, menor a los 377,42 kg Kg⁻¹ obtenido con la FC y con la omisión de B, se consiguió incremento de la EI en 5,80 kg Kg⁻¹.

Resalta el resultado con el tratamiento de omisión de S, donde se obtuvo la mayor eficiencia (474,52 kg Kg⁻¹), indicativo que los valores naturales de este elemento en el suelo fueron suficientes y eficientes para la transformación en grano. Respecto a la EI del Mg, se observó una mínima disminución por efecto de la omisión de N, P, Mg y Zn. Por el contrario, la omisión de K y B, provocaron los mayores incrementos de EI del elemento.

Para la EI del Zn, el tratamiento donde se omitió este elemento

(1,18 kg Kg⁻¹), fue superado por los demás omisiones excepto -K, lo que indica la interacción o dependencia que tiene este elemento con los otros nutrientes. La mayor EI se consiguió al omitir K (1,90 kg Kg⁻¹), que representó un incremento de 61,0 % en su eficiencia.

En el caso del B, se encontró que la omisión de éste elemento provocó incremento de EI (2,48 kg Kg⁻¹), mientras que la omisión de Mg (2,00 kg Kg⁻¹) indujo una disminución de 0,15 kg Kg⁻¹ que corresponde a 7,5 %.

El factor parcial de productividad (FPP) presentado en la (tabla 6), indica que en el tratamiento FC, a excepción de B, se encontraron los mayores valores de FPP para los elementos evaluados, existiendo respuesta negativa a las omisiones de nutrientes. Cuando fue omitido el N, P y Mg provocaron las mayores reducciones; es decir, menos kg de maíz producido por kg de fertilizante aplicado. Los valores encontrados en la investigación son contrastantes con los 87 kg de grano Kg⁻¹ de N y 296 kg de grano Kg⁻¹ de P aplicado reportados por Garcia and Salvagiotti (2009); contrario a esto Snyder and Bruulsema (2007) indicaron valores de FPP que van de 40 a 80 unidades de grano por unidad de N aplicado.

En cuanto a la eficiencia aparente de recuperación (EAR), los valores en general fueron bastante bajos para todos los elementos evaluados (ver tabla 7), lo cual fue consecuencia de la baja producción de materia seca en la parte vegetativa y reproductiva de estos progenitores de maíz; así como también, por las elevadas cantidades de nutrientes aplicadas.

Tabla 5. Eficiencia fisiológica de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en la formación de un híbrido de maíz

Tratamiento	N (Kg)	P aumento	K en	S produ	Mg cción	Zn de/	B alimentos
PKSMgZnB (-N)	13,45	57,10 AB C	14,14 AB	297,57 AB	104,97 A	1,67 B C D	2,14 AB
NKSMgZnB (-P)	12,43 AB	48,87 AB	13,28 AB	344,97 AB	106,45 A	1,50 AB	2,06 AB
NPSMgZnB(-K)	15,58 AB	58,78 AB C	16,18 AB	337,84 AB	137,75 A	1,90 C D	2,45 A B
NPKMgZnB (-S)	17,87 B	66,46 AB C	17,97 AB	474,52 B	126,38 A	1,20 A	2,41 A B
NPKSZnB (-Mg)	11,15 A	43,91 AB	11,82 A	312,28	101,51 A	1,26 A	2,0 A B
NPKSMgB (-Zn)	17,37 B	73,31 B C	17,45 AB	377,28 AB	122,51 A	1,18 A	2,14 A B
NPKSMgZn (-B)	16,56 AB	84,59 C	20,19 B	383,22 AB	135,99 A	1,35 AB	2,48 B
NPKSMgZnB (FC)	12,98 AB	73,50 B C	14,95 AB	377,42 AB	119,04 A	1,35 AB	2,15 A B
PFI	13,14 AB	57,39 AB C	17,18 AB	347,72 AB	122,28 A	1,44 AB	1,96 A B
TESTIGO	11,41 A	42,65 A	17,18 AB	347,72 AB	122,28 A	1,44 AB	1,96 A B
Promedio	14,19	60,66	14,54	346,92	118	1,43	2,16
Mínimo	11,15	11,15	11,82	216,42	99,65	11,15	11,15
Máximo	17,87	17,87	20,19	474,52	137,75	17,87	17,87

Fuente: Elaboracion propia.

Tabla 6. Factor parcial de productividad de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en la formación de un híbrido de maíz

Tratamiento	N (Kg)	P aumento	K en	S produ	Mg cción	Zn de/	B alimentos
PKSMgZnB (-N)	0,00 D	18,42 C	14,12 C	19,26 C	15,40 C	56,48 B	564,81 D
NKSMgZnB (-P)	6,10 C	0,00 D	14,24 BC	19,41 C	15,35 C	56,95 B	569 B
NPSMgZnB(-K)	6,94 BC	21,14 B C	0,00 D	22,10 B C	17,68 B C	64,82 B C	648,15 B C D
NPKMgZnB (-S)	9,43 ABC	28,71 A B C	22,01 A B C	0,00 D	24,02 A B	88,05 A B	880,49 A B C
NPKSZnB (-Mg)	6,35 C	19,32 C	14,81 C	20,20 C	0,00 C	59,26 A	592,59 C D
NPKSMgB (-Zn)	9,62 A B C	29,28 A B C	22,45 A B C	30,62 A B C	24,50 D	0,00 A	1153,7 A
NPKSMgZn (-B)	10,81 A B C	32,91 B C	25,23 A B	34,40 A B	27,53 A	100,93 C	898,15 A B
NPKSMgZnB (FC)	12,36 A	37,62 A	28,84 A	39,33 A	31,47 A	115,37 B C	0,00 E
PFI	7,04 B C	21,44 B C	16,43 BC	22,41 B C	17,93 D	0,00 A	0,00 E
TESTIGO	0,00 D	0,00 D	0,00 A D	0,00 D	0,00 D	0,00 A	0,00 E
Promedio	6,87	20,88	15,81	20,77	17,39	54,19	530,73
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	12,36	37,62	28,84	39,33	31,47	12,36	1153,70

Fuente: Elaboracion propia.

Con el tratamiento FC, se consiguió una EAR en N de 0,29 kg de N absorbido Kg^{-1} del elemento aplicado; este valor tiene concordancia con lo reportado por Remache et al. (2017), quien evaluando un híbrido promisorio de maíz, en Patricia Pilar, determinaron EAR entre 0,2 y 0,5 $kg\ Kg^{-1}$. Por su parte Snyder and Bruulsema (2007), indicaron que valores de 0,3 a 0,5 $kg\ Kg^{-1}$ generalmente se obtienen en cultivos de maíz con manejo tradicional y refieren valores de 0,5 a 0,8 $kg\ Kg^{-1}$ en cultivos comerciales bien manejados.

Con el tratamiento FC se consiguieron las mayores EAR en los elementos (0,76 con P; 0,65 en K; 0,67 para S; 0,42 con Mg; 1,73 para Zn y 7,79 para B). En el caso del Zn y B, se observaron recuperaciones mayores a las cantidades aplicadas, esto posiblemente debido al efecto de la fertilización completa que podría provocar sinergias en la absorción de nutrientes, permitiendo al cultivo extraer más elementos nativos del suelo. Sin embargo, con la omisión de elementos se redujo la EAR y van en el orden de $N > K > P$.

CONCLUSIONES

Basados en los resultados obtenidos se puede concluir que el potencial de rendimiento de producción de semilla de este híbrido de maíz, fue de 2134 $kg\ ha^{-1}$, conseguido con el tratamiento de omisión de S y la omisión de P provocó reducción del 49,5 % del rendimiento, siendo que las prioridades de fertilización de los parentales del híbrido de maíz, tuvieron la

secuencia de $P > N = Mg = K \gg B \gg S$.

El vigor de la semilla no fue afectado por las omisiones de nutrientes, siendo un efecto directo de la genética de las plantas.

Todas las eficiencias estudiadas fueron afectadas por las omisiones de nutrientes, siendo en general bajos debido a la poca producción de materia seca de las líneas progenitoras del híbrido.

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento hacen referencia los autores a la Universidad Tecnológica Equinoccial, Sede Santo Domingo y la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, por las facilidades y apoyo brindado para la realización de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, C., Escalante, J., Agilar, I., Mejía, J., Conde, V., and Trinidad, A. (2016). Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 34(4):419–429.
- Andrade, F. (2009). Eficiencia de uso de los nutrientes y rol de la nutrición en la producción de los cultivos. In *García, F. y Campenti, I. (Eds), Mejores prácticas de manejo para*

Tabla 7. Eficiencia aparente de recuperación de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en la formación de un híbrido de maíz

Tratamiento	N (Kg)	P aumento	K en	S producción	Mg cción	Zn de/	B alímetros
PKSMgZnB (-N)	0,00	-0,12	-0,02	-0,025	-0,32	-0,97	-19,19
NKSMgZnB (-P)	0,04	0,00	0,07	-0,13	-0,22	-0,60	-15,53
NPSMgZnB(-K)	0,01	-0,09	0,00	-0,23	-0,30	-0,89	-18,37
NPKMgZnB (-S)	0,08	0,12	0,17	0,00	-0,11	-0,23	-11,74
NPKSZnB (-Mg)	0,12	0,26	0,27	0,14	0,00	0,19	-7,53
NPKSMgB (-Zn)	0,10	0,20	0,22	0,08	-0,05	0,00	-9,48
NPKSMgZn (-B)	0,21	0,51	0,46	0,40	0,21	0,95	0,00
NPKSMgZnB (FC)	0,29	0,76	0,65	0,67	0,42	1,73	7,79
PFI	0,08 B	0,13	0,17	0,01	-0,11	0,00	0,00
TESTIGO	0,00 B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	0,10	0,20	0,22	0,08	-0,05	0,02	-8,23
Mínimo	0,00	-0,12	-0,02	-0,25	-0,32	-0,97	-19,19
Máximo	0,292	0,76	0,65	0,67	0,42	1,73	7,79

Fuente: Elaboracion propia.

una mejor eficiencia en la nutrición de cultivosD. *Simpósio de Fertilidad. IPNI*, pages 124–130, Argentina.

Carrillo, M., Cedenño, J., Aldean, Á., and Dávila, S. (2010). Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maíz, en santo domingo de los colorados y patricia pilar. In *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Universidad Tecnológica Equinoccial*, pages 1–16, Santo Domingo, Ecuador.

de Meteorología e Hidrología (INAMHI), I. N. (2016). Datos registrados en la estación experimental tropical pichilingue.

Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., and Robledo, C. (2011). *Infostat v2011. InfoStat Group, College of Agricultural Sciences, National University of Córdoba: Argentina.*

Dobermann, A. and Fairhurst, T. (2000). Arroz: desórdenes nutricionales y manejo de nutrientes. *International Rice Research Institute-Instituto de la potasa y fósforo.*

Domínguez, G. F., Studdert, G. A., Echeverría, H. E., and Andrade, F. H. (2001). Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del suelo*, 19(1):47–56.

ESPAC (2016). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua.

Espinosa, J. and García, J. P. (2009). Herramientas para mejorar la eficiencia de uso de nutrientes en maíz. *International Plan Nutrition Institute*, pages 10–16.

García, F. and Salvaggiotti, F. (2009). Eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agrícolas del cono sur de latinoamérica. In *Actas del XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica*, volume 16.

González, B. and Díaz, G. (2008). Análisis económico y producción del maíz (zea mays l.) asociado con mucuna stizolobium aterrimum en siembra directa y dos sistemas de fertilización nitrogenada. *Ciencia y Tecnología*, 1(1):37–41.

Hernández, A., San Vicente, F., and Figueroa-Ruiz, R. (2010). Evaluación y caracterización de líneas parentales de híbridos de maíz (zea mays l) en tres ambientes de venezuela. *Interciencia*, 35(4).

INPOFOS (1997). Manual internacional de fertilidad de suelos. apotash and phosphate institute, usa. querétaro, méxico.

MAGAP (2013). Maíz duro seco, boletín situacional 2013.

Malavolta, E., Vitti, G., and de Oliveira, S. (1997). Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações/eurípedes.2da. ed. *Piracicaba: Potafos.*

Motato, N., Pinca, J., Avellán, M., Velez, Falcone, M., and Aveiga, E. (2016). Fertilización del híbrido experimental de maíz iniap h-603, con base en la eficiencia agronómica del nitrógeno. *Revista Espamciencia*, 7(2).

Pineda-Mares, P., Martínez-Montoya, J., Amante-Orozco, A., and Ruíz-Vera, V. (2001). Respuesta del maíz al fósforo y un mejorador de suelos en áreas yesosas de la zona media de san luís potosí. *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas*, 2:106–113.

Remache, M., Carrillo, M., Mora, R., Durango, W., and Morales, F. (2017). Absorción de macronutrientes y eficiencia del n, en híbrido promisorio de maíz. patricia pilar, ecuador. *Agronomía Costarricense*, 41(2).

Snyder, C. and Bruulsema, T. (2007). Nutrient use efficiency and effectiveness in north america. *Indices of agronomic and environmental benefits.*

Steinbach, H. and Alvarez, R. (2014). Eficiencia de respuesta de trigo, maíz y soja a la fertilización azufrada en la región pampeana argentina.

Tasistro, A. (2013). Eficiencia de uso de nutrientes.

Zamudio-González, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Martíne, J., Nelson, Celis, D., Valdivia, R., and Zaragoza, J. (2015b). Eficiencia agronómica de fertilización al suelo de macro nutrimentos en híbridos de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(7):1557–1569.

Zamudio-González, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Martínez-Rodríguez, J., Celis, D., Turrent, A., and Valdivia, R. (2015a). Eficiencia fisiológica de n, p, k y mg en maíces h-47 y h-59. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(8):1807–1818.