

EFICIENCIA AGRONÓMICA DE NITRÓGENO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ AMARILLO CON FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y MINERAL EN ÉPOCA SECA

AGRONOMIC EFFICIENCY OF NITROGEN AND YIELD OF YELLOW CORN WITH ORGANIC AND MINERAL FERTILIZATION IN DRY SEASON

Jonathan López Bósquez^{1,2}, Gregorio Vásconez Montufar³, Manuel Carrillo Zenteno⁴, Christian Durán Mera⁵

¹Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, El Pital #2 km 3,5 Av. Valencia, Quevedo Los Ríos Ecuador

²Universidad Técnica Estatal de Cotopaxi, extensión La Maná Facultad de Ciencias Agropecuarias, Av. Almendros y Pujilí La Maná, Cotopaxi, Ecuador.

³Universidad Técnica Estatal de Quevedo Facultad de Ciencias Agrarias, Campus Manuel Haz Álvarez, Av. Quito km. 11/2 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - Estación Experimental Tropical Pichilingue. Km 5 vía Quevedo - El Empalme, cantón Mocache, Los Ríos, Ecuador

⁵Universidad de Guayaquil - Facultad de Ciencias Agrarias, Guayas, Guayaquil, Ecuador.

Email: jonh.lopez@gmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
06/06/2022

Aceptado:
28/12/2022

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista
ESPAMCIENCIA
13(2):40-47

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i2.276

Resumen

El maíz (*Zea mays*) es un cereal de gran importancia para la seguridad alimentaria humana y animal. Los rendimientos están condicionados por factores genéticos y nutricionales, en especial de nitrógeno (N), la aplicación incorrecta puede afectar el rendimiento del grano o causar daños ambientales. En esta investigación se estudió el efecto de dos híbridos comerciales de maíz duro amarillo por dosis de nitrógeno y el rendimiento del grano. Este trabajo fue realizado durante los meses de junio a noviembre del año 2019, en los predios de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), perteneciente al cantón Mocache de la provincia de Los Ríos. Se evaluaron dosis de 0, 69, 138, 207 y 276 kg.ha⁻¹ de nitrógeno. Para el desarrollo de la investigación se utilizó un lote de 1440 m², diseñado en bloques completos al azar en parcelas divididas, con tres repeticiones y doce tratamientos. Las variables fueron sometidas al análisis estadístico y se utilizó el análisis de varianza para determinar la interacción híbridos por nitrógeno, las medias de cada tratamiento se compararon mediante la prueba de Tukey (p>0.05). El híbrido de alto rendimiento H2, expresó su potencial productivo con las dosis evaluadas de N; sin embargo, dosis superiores a 69 kg.ha⁻¹ de N no son necesarias para este híbrido al tener un mismo comportamiento en su rendimiento de grano.

Palabras clave: maíz, nitrógeno, dosis, eficiencia, rendimiento

Abstract

Maize (*Zea mays*) is a cereal of great importance for human and animal food security. Yields are conditioned by genetic and nutritional factors, especially Nitrogen (N), incorrect application can affect grain yield or cause environmental damage. In this research, the effect of two commercial hybrids of hard yellow maize by nitrogen dose and grain yield was studied. This work was carried out during the months of June to November of the year 2019, in the premises of the Pichilingue Tropical Experimental Station at the National Institute of Agricultural Research (INIAP), belonging to Mocache canton, Los Ríos province. Doses of 0, 69, 138, 207 y 276 kg.ha⁻¹ of nitrogen were evaluated. For the development of the research, a plot of 1440 m² was used, designed in complete blocks at random in divided plots, with three repetitions and twelve treatments. The variables were subjected to statistical analysis and the analysis of variance was used to determine the interaction between hybrids and nitrogen, the means of each treatment were compared using Tukey's test (p>0.05). The high-yield hybrid H2 expressed its productive potential with the evaluated doses of N; however, doses higher than 69 kg.ha⁻¹ of N are not necessary for this hybrid as it has the same behavior in its grain yield.

Keywords: maize, nitrogen, dose, efficiency, yield

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays*) es el cultivo de mayor importancia en el mundo desde el punto de vista social y económico, junto con el arroz y trigo abastecen alrededor del 50% de la alimentación global. Es cultivado casi en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo, Estados Unidos junto con China producen más del 50% de la superficie sembrada, este último representa la mayor superficie sembrada en el mundo con 42 millones de hectáreas según datos de (FAO, 2018). Estados Unidos lidera los rendimientos con promedios de 11 t.ha⁻¹, lo cual indica que obtienen rendimientos sobre las 20 t.ha⁻¹ de grano (Cervantes, 2018).

En Ecuador, el maíz duro amarillo se encuentra dentro de los rubros agrícolas de importancia económica, debido a su participación principalmente en la elaboración de balanceados para el consumo animal. De acuerdo con las estadísticas, en el litoral ecuatoriano se encuentra concentrada la mayor producción de maíz amarillo duro, se estima una superficie sembrada de 334.670 ha de maíz con un rendimiento promedio de 4 a 5 t.ha⁻¹ y una producción anual de 1,6 millones de toneladas métricas, siendo las provincias de Los Ríos, Manabí y Guayas las que destinan mayor área para el cultivo de maíz. Destacándose Los Ríos con la mayor participación en superficie sembrada con el 38% a nivel nacional equivalente a 129.101 ha, así mismo su producción es superior contribuyendo con el 44%, es decir 648.000 t de producción total de grano seco (INEC, 2020).

García (2014), menciona que en maíz los altos rendimientos están determinados por el número final de granos conseguidos por hectárea. Por lo que, para alcanzar este potencial el cultivo debe lograr un excelente estado fisiológico en floración el cual está en función a la tasa de crecimiento; por lo que la planta debe alcanzar una cobertura total del suelo y alta eficiencia de conversión de biomasa por la radiación interceptada.

La fertilización es el componente de mayor influencia en la producción de maíz y el nitrógeno es el nutriente de mayor demanda y el más limitante para este cultivo. La correcta recomendación de la dosis de fertilización mejora la eficiencia de los fertilizantes y reduce los riesgos de contaminación de aguas superficiales y subterráneas (González *et al.*, 2016). Por otra parte, los suelos donde se cultiva el maíz, no tienen la capacidad para proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento eficiente de las plantas o rendimiento adecuado, por ello se debe recurrir al empleo de fertilizantes. El maíz tiene gran capacidad de absorción de nutrientes y requiere de alta fertilización, especialmente de nitrógeno para obtener buena producción (García *et al.*, 2009).

Las evidencias científicas demuestran la importancia del nitrógeno como un elemento nutritivo que controla la producción primaria en un sistema agrícola y que a su vez es el más limitante para la producción de cultivos. Su uso inadecuado ha afectado severamente su ciclo causando pérdidas de N a través de las vías de nitrificación, lixiviación y volatilización (Fagodiya *et al.*, 2020).

Dentro de los nutrientes que necesita el maíz, el nitrógeno (N) es el más acumulado, su aplicación en dosis adecuadas posibilita aumentos significativos del rendimiento (cuando otros factores limitantes de la producción son controlados), sin generar impactos ambientales por la aplicación excesiva de dicho nutriente (Sadeghi *et al.*, 2018).

Torres *et al.*, (2018), destacan al nitrógeno como el elemento mineral esencial que las plantas requieren en mayor cantidad, en dependencia de la especie, fase de desarrollo y órgano. En el proceso de asimilación mineral, el nitrógeno se incorpora como constituyente de muchos componentes celulares, entre los que se incluyen los aminoácidos, las proteínas y los ácidos nucleicos, por lo que juega un rol vital en el crecimiento de las plantas y su deficiencia rápidamente inhibe el crecimiento vegetal. Al ser constituyente de la síntesis de clorofilas, el síntoma característico de la deficiencia nitrogenada en las plantas es la clorosis de las hojas especialmente las más viejas, cercanas a la base de las plantas al ser movilizadas hacia las hojas jóvenes.

Varios estudios destacan al uso de fertilizantes orgánicos entre ellos al vermicompost como una alternativa excelente para mejorar la estructura del suelo, siendo ideal para un mejor crecimiento y rendimiento de las plantas y un agente de control biológico que lo convierte en amigable y ecológico, mejorando sus características agronómicas, independientemente del contenido de nutriente (Rakesh *et al.*, 2014). Por lo que la búsqueda de alternativas orgánicas que sustituyan a la fertilización química es una tendencia mundial ante la necesidad de obtener productos agrícolas con un menor costo ambiental (Torres *et al.*, 2019).

La nutrición en maíz en el litoral ecuatoriano está basada con el uso de fertilizantes sintéticos para alcanzar los rendimientos promedios (5 t.ha⁻¹) en la zona, la problemática se da por la aplicación indiscriminada de fertilizantes minerales, sin realizar un programa de nutrición acorde a la zona, lo que en algunos podría causar la posibilidad de contaminación ambiental a largo plazo, afectando directamente la salud del suelo, al reducir el pH del suelo, disminuir el proceso microbiano, afectar negativamente las propiedades físicas y químicas del suelo, finalmente resulta en bajos rendimientos. Lo que nos lleva a realizar este proyecto de investigación.

El uso adecuado de fertilizantes es beneficioso tanto para la producción de cultivos como para el medio ambiente, los investigadores y productores de fertilizantes han tratado de encontrar formas de lograr el objetivo recientemente definido del uso de fertilizantes, es decir, mejorando la eficiencia del uso de nutrientes fertilizantes y minimizando los impactos ambientales (Kumar *et al.*, 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo durante la época seca del año 2019, en el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP), del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP); ubicado en el km 5 vía Quevedo-El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos. La estación se encuentra localizada a una altitud de 75 msnm y posesionada geográficamente en las coordenadas 01°05'24" Latitud Sur y 79°28'06" Longitud Occidental. La temperatura media anual es de 26°C, 2.224 mm de precipitación, 86% de humedad relativa, 898 horas luz, la clase textural corresponde a un suelo franco, con un nivel de fertilidad descrita en el cuadro 2.

Se evaluó el comportamiento productivo del híbrido de maíz tradicional INIAP-551 (H₁) y el híbrido Emblema (H₂) bajo diferentes dosis de nitrógeno.

Las dosis de nitrógeno mineral fueron 0, 69, 138, 207 y 276 kg.ha⁻¹ aplicados a los 15 y 35 días después de la siembra (DDS), en fracciones de 25 y 75% respectivamente. Para el nitrógeno orgánico (Biocompost) se basó en 69 kg.ha⁻¹ lo que se logra adicionando 3000 kg.ha⁻¹ del fertilizante orgánico comercial, esta dosis fue aplicada en su totalidad 8 días antes de la siembra. La distribución del nitrógeno fue igual en los dos híbridos, aplicado manualmente. A todas las parcelas experimentales se trató con una fertilización general a base de 46 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg.ha⁻¹ de K₂O, 54 kg.ha⁻¹ de MgSO₄ y 44 kg.ha⁻¹ de S, como fuentes de súper fosfato triple 46%, muriato de potasio 60% y sulfato de magnesio 26% - 21%.

Se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar distribuidos en parcelas divididas. En las parcelas grandes se evaluaron los híbridos de maíz y en las parcelas pequeñas los niveles de la fertilización nitrogenada, cuyas combinaciones conformaron los 12 tratamientos estudiados con tres repeticiones para un total de 36 unidades experimentales. Las variables fueron sometidas al análisis de varianza y para determinar si existe diferencias estadísticas los promedios de cada tratamiento fueron comparados mediante la prueba de Tukey (p<0,05).

Cuadro 1. Detalle de los tratamientos

Tratamientos	Híbridos	Dosis N kg.ha ⁻¹
1	H ₁	0
2	H ₁	69(O)
3	H ₁	69
4	H ₁	138
5	H ₁	207
6	H ₁	276
7	H ₂	0
8	H ₂	69(O)
9	H ₂	69
10	H ₂	138
11	H ₂	207
12	H ₂	276

H₁: INIAP-551 O: Orgánico
H₂: Emblema

Variables evaluadas

Longitud de mazorca: A la cosecha en diez mazorcas tomadas al azar de cada unidad experimental con una regla graduada en centímetros, se determinó la longitud desde la base hasta la punta de la misma.

Diámetro de mazorca: En las mismas diez mazorcas se registró esta variable en la parte central de la mazorca, con un calibrador tipo vernier, y los datos se expresaron en centímetros.

Peso de cien granos: Se contaron cien semillas y con la ayuda de una balanza electrónica digital con presión de lectura 0.1 g, se determinó el peso y los datos se expresaron en gramos. Previamente se estandarizó la humedad al 13%, por lo que las semillas fueron ubicadas en la estufa a 70°C durante 24 horas.

Rendimiento: Se determinó con su componente peso húmedo de grano cosechado (PHG), en 6 hileras centrales de 3 metros de longitud equivalente a 14,40 m² de cada unidad experimental, lo cual se consideró como área de cosecha (AC), se midió el porcentaje de humedad de grano a la cosecha (HG) ajustando el resultado al 13% de humedad el resultado fue expresado en kilogramo por hectárea.

Se calculó utilizando la siguiente fórmula.

$$Rendimiento \left(\frac{kg}{ha} \right) = \frac{PHG \times (100 - HG)}{87} * \frac{10000}{AC} \quad (1)$$

Índice de cosecha. Esta variable fue registrada mediante el cálculo de la relación entre la producción en kilogramo por hectárea de peso seco de grano cosechado, respecto a la biomasa seca total expresada en kilogramo.

$$IC = \frac{Peso \ del \ grano \left(\frac{kg \ MS}{ha} \right)}{Biomasa \ total \left(\frac{kg \ MS}{ha} \right)} * 100 \quad (2)$$

Eficiencia agronómica

Este parámetro estuvo basado en kilogramos de aumento en la producción (peso seco de grano en tratamiento con nitrógeno menos peso de grano en tratamiento sin nitrógeno) y la cantidad de nutriente aplicado en kilogramo por hectárea (IPNI, 2012).

Donde:

EA = Eficiencia agronómica

R = Rendimiento de la porción cosechada con aplicación de N

R0 = Rendimiento de la porción cosechada sin aplicación de N

CDA = Cantidad del N aplicado.

$$EA = \frac{(R-R0)}{CNA} (3)$$

Cuadro 2. Análisis químico del lote experimental

Criterio	Unidad	Resultado	Valor
pH		5,60	medianamente ácido
Materia orgánica	%	3,60	Medio
NH ₄	ppm	13,00	Bajo
P	ppm	47,00	Alto
K	meq/100ml	0,82	Alto
Ca	meq/100ml	8,00	Medio
Mg	meq/100ml	1,2 M	Medio
S	ppm	8,00	Bajo
Zn	ppm	5,80	Medio
Cu	ppm	10,20	Alto
Fe	ppm	135,00	Alto
Mn	ppm	17,10	Alto
B	ppm	1,02	Alto

Fuente: INIAP (2019)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 3, se presenta el análisis estadístico realizado en el factor híbridos de maíz, en la longitud y diámetro de mazorca no hubo variación estadística entre los híbridos H₁ y H₂, estos resultados parecen confirmar que los híbridos evaluados en este estudio son genéticamente similares, para estas variables. Del mismo modo que Álvarez *et al.* (2014) describen que no todos los caracteres morfológicos al ser evaluados tienen una respuesta similar, debido a que son dependientes del genotipo que proviene un híbrido de maíz.

El factor dosis de nitrógeno fue significativo para longitud de mazorca, se evidencia el efecto del nitrógeno sobre esta variable ganando en longitud en los tratamientos en que se

adicionó este mineral, la diferencia entre tratamientos fue entre la dosis de nitrógeno 276 kg.ha⁻¹ con promedio de longitud 14,58 cm mientras que el tratamiento sin nitrógeno y fertilización nitrogenada orgánica obtuvieron los promedios más bajos, este último se atribuye por su estado orgánico, es una fuente de nitrógeno a largo plazo y por lo tanto la disponibilidad no coincide con la velocidad de demanda del cultivo (tasa de absorción), lo que explicaría parcialmente los resultados observados.

El diámetro de la mazorca sobre el factor dosis de nitrógeno presentó diferencias significativas, registrándose los mayores valores promedios con las dosis aplicadas de 207 y 276 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, resultado que fue influenciado por la importancia de este nutriente en la nutrición mineral en las plantas, lo que le permitió tener una mayor transformación de biomasa, dentro de su metabolismo fisiológico. El efecto fue significativo para el factor híbridos en el peso 100 granos, índice de cosecha y rendimiento de grano.

El híbrido H₂ presenta una mejor respuesta en estas variables excluyendo al peso de 100 granos que fue mayor para H₁, lo cual indica la diferencia entre híbridos de maíz respecto a los componentes de rendimiento (Cuadro 3).

En el mismo cuadro se muestra que el factor dosis de nitrógeno fue significativo para el peso de 100 granos. La aplicación de 207 kg.ha⁻¹ de nitrógeno fue suficiente para alcanzar el máximo peso del grano, lo que permitió diferenciarlo con un incremento aproximado de 5,0 gramos con los tratamientos que no se aplicó nitrógeno, así mismo con el tratamiento de nitrógeno orgánico y la dosis más baja de nitrógeno inorgánico adicionado.

El rendimiento del grano fue influenciado por las dosis de nitrógeno, a diferencia del testigo y la fertilización orgánica de nitrógeno, estos resultados posiblemente se deben a la fuente orgánica, que no está disponible para la absorción de las plantas de manera inmediata. Estos resultados son comparados con los que obtuvo Remache *et al.* (2017) sugiriendo que la omisión de nitrógeno o la adición mínima no es suficiente para obtener el potencial genético de rendimiento de un híbrido de maíz, por el efecto directo del nitrógeno sobre estos componentes permitiéndole a la planta la transformación y la acumulación de grano.

El índice de cosecha muestra las mismas tendencias, siendo estadísticamente diferente para cada uno de las dosis de nitrógeno adicionado. El mayor porcentaje de índice cosecha se obtuvo con la dosis de nitrógeno 138 kg.ha⁻¹ destacando esta significancia estadística con el tratamiento que no se adicionó, nitrógeno y fertilización orgánica, que obtuvieron los promedios más bajos entre todos los evaluados.

Cuadro 3. Efecto simple de la fertilización nitrogenada orgánica y mineral en dos híbridos sobre los componentes de rendimiento, Mocache, Ecuador, 2019.

Tratamientos	Longitud mazorca	Diámetro mazorca	Peso 100 granos	Rendimiento grano	Índice cosecha
	cm		g	kg.ha ⁻¹	%
Híbridos					
H ₁	13,54	4,31	26,46 a	3853,11 b	36,52 b
H ₂	13,63	4,37	24,23 b	5699,67 a	42,49 a
p - valor ADEVA	0,7655	0,2095	0,0059	<0,0001	0,0013
Nitrógeno kg ha⁻¹					
0	12,71 b	4,18 b	23,8 b	3125,3 b	35,1 bc
69 (O)	12,78 b	4,22 b	23,02 b	3062,03 b	33 c
69	13,12 ab	4,27 b	24,42 b	5164,89 a	43,07 ab
138	14,08 ab	4,35 ab	25,85 ab	5419,45 a	43,96 a
207	14,26 ab	4,51 a	29,05 a	5893,73 a	39,94 abc
276	14,58 a	4,53 a	25,93 ab	5992,91 a	41,97 ab
p - valor ADEVA	0,0047	0,0002	0,0016	<0,0001	0,0031
C.V %	6,69	2,84	8,53	14,43	12,15

Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente, de acuerdo a la prueba de Tukey (P>0.05)

(O): Fuente nitrogenada orgánica

H₁: INIAP-551; H₂: Emblema

La longitud de mazorca respecto a la interacción entre los factores híbridos (A) por dosis de nitrógeno (B) fue estadísticamente influenciada por las aplicaciones de nitrógeno en los dos híbridos de maíz, los tratamientos que se omitieron nitrógeno y materia orgánica muestran los valores promedios más bajos, al compararlos con los tratamientos en los que se adicionó nitrógeno, esta interacción positiva se ve similar entre los dos híbridos hasta los 138 kg.ha⁻¹ de nitrógeno las adiciones posteriores de este elemento en el híbrido H₁ no serían necesarias, manifiesta una tendencia a reducir la longitud de la mazorca, contrario a H₂ que aprovecha el máximo nivel de nitrógeno aportado 276 kg.ha⁻¹ para alcanzar la mayor longitud (Gráfico 1).

El efecto de la interacción en los factores híbridos por dosis nitrógeno responde positivamente en el diámetro de la mazorca favoreciendo en el aumento en cada uno de las dosis de nitrógeno adicionado en los dos híbridos respecto al tratamiento testigo, para H₁ la fuente orgánica se muestra ligeramente mejor que las dosis de nitrógeno mineral de 69 kg.ha⁻¹ y 138 kg.ha⁻¹, por otra parte se observa al nivel adicionado 207 kg.ha⁻¹ como el mejor mientras que a dosis de nitrógeno superiores no tiene un efecto favorable en el diámetro de mazorca.

Para el caso de H₂ todas las dosis de nitrógeno mejoran significativamente el diámetro de mazorca, siendo el nivel

más alto adicionado con 276 kg.ha⁻¹ el mejor para esta variable, estos resultados indican el efecto del nitrógeno sobre las características de la mazorca. Cabe mencionar que las diferencias entre los híbridos posiblemente se deban a que el H₂ está desarrollado para responder a dosis de nitrógeno superiores a los 120 kg.ha⁻¹, los híbridos de alto rendimiento necesitan de niveles mayores de nutrición mineral para alcanzar los potenciales genéticos de rendimiento.

Indudablemente, el rendimiento del grano en la interacción de los híbridos por nitrógeno se mejoró por la adición de este último alcanzando niveles estadísticos significativos. Los tratamientos con nitrógeno orgánico y testigo obtuvieron rendimientos muy por debajo de los 3500 kg.ha⁻¹ en los dos híbridos evaluados, por otra parte en todas las dosis de nitrógeno inorgánico H₂ supera a H₁, lo que se evidencia el potencial productivo de este híbrido, así mismo se aprecia que todas las dosis de N inorgánico 69, 138, 207 y 276 kg.ha⁻¹ comparten un nivel de significancia similar en H₂; sin embargo, parecería ser que 207 kg.ha⁻¹ de N es suficiente para generar el rendimiento óptimo del híbrido bajo las condiciones en las que fue cultivado, este tratamiento tuvo una producción adicional de 605 kg de grano en comparación a la dosis de N 138 kg.ha⁻¹, mientras que se reduce el rendimiento de grano con la dosis de 276 kg.ha⁻¹ de N.

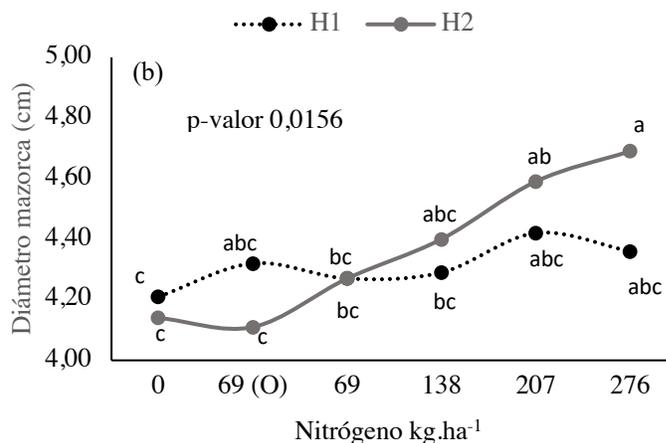
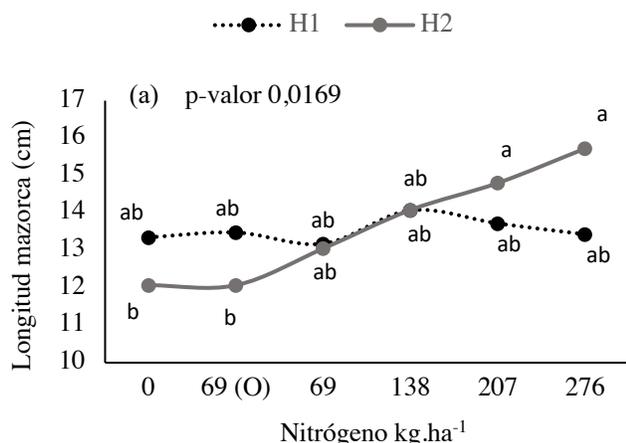


Gráfico 1. Efecto de la fertilización nitrogenada orgánica y mineral sobre en las características morfológicas de la mazorca de dos híbridos de maíz. Mocache, Ecuador, 2019.

Para el caso de H₁ los rendimientos no superaron los 5000 kg.ha⁻¹, equivalente a 110 quintales por hectárea de maíz, todos los tratamientos de N en este híbrido tuvieron un comportamiento similar. Estos resultados son contrarios a los publicados por Vasco *et al.* (2017) en este mismo híbrido durante la época seca, ya que los rendimientos fueron superiores a los 5000 kg.ha⁻¹ en tres localidades de la provincia de Los Ríos. Mientras tanto, Amores *et al.* (1997) sugieren que los niveles óptimos de fertilización nitrogenada en este híbrido es 135 kg.ha⁻¹, para alcanzar rendimientos promedios de 6000 kg.ha⁻¹ de grano, mientras que con aplicaciones superiores se promueve crecimiento excesivo aumentando el riesgo de acame y reducción del rendimiento, así mismo los contenidos de nitrógeno en la hoja alcanzan su máxima concentración con esta dosis, siendo este hecho generalizado en todas las zonas maiceras del litoral central ecuatoriano. Esto sugiere que este híbrido fue desarrollado para suelos con deficiencias nutricionales, con más de 30 años de haber sido liberado por INIAP, en la actualidad algunos agricultores lo siembran por su baja demanda nutricional, que para la época en que fue liberado, alcanzar los 3000 kg.ha⁻¹ estaba dentro de los niveles altos de rendimiento (Gráfico 2).

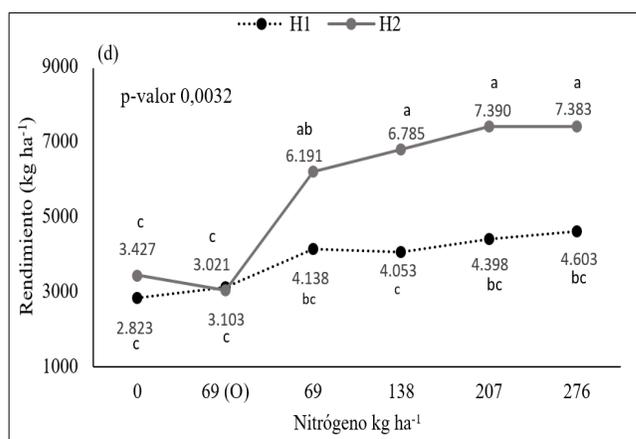


Gráfico 2. Rendimiento por efecto de la fertilización nitrogenada orgánica y mineral. Mocache, Ecuador, 2019

En la interacción correspondiente al peso de 100 granos, no hubo variación entre ninguno de los tratamientos evaluados por lo que no se presenta el gráfico. Similar respuesta se obtuvo en el índice de cosecha posiblemente debido a que una parte de la biomasa transformada fue tallo, hojas, brácteas y no grano que finalmente es el interés comercial de esta gramínea.

En la gráfico 3 se muestra la eficiencia agronómica basada en kilogramo de incremento en el rendimiento por kilogramo de nitrógeno aplicado. El análisis de regresión lineal indica una tendencia negativa, en los dos híbridos de maíz, observándose que a medida que se aumenta la cantidad de nitrógeno la eficiencia se reduce. En este sentido el modelo de regresión lineal simple muestra que el híbrido de maíz H₂ tuvo una mayor eficiencia agronómica respecto a H₁. Sin embargo los dos híbridos muestran una eficiencia inversamente proporcional al rendimiento alcanzado, encontrándose que a partir de los 69 kg de N.ha⁻¹ el híbrido H₂ por cada kg de N que se adiciona la eficiencia agronómica se reduce 0,055 kg. De este análisis fue excluido el tratamiento con N orgánico debido a que reportó eficiencias inferiores a uno.

Por otra parte con 69 kg de N se alcanzó la mayor eficiencia agronómica, en los híbridos H₂ y H₁ que en promedio fue 18,43 y 8,76 kg de grano por kg⁻¹ de N aplicado, en relación con la parcela testigo. Resultados de esta investigación se asemejan a los encontrados por Aguilar *et al.* (2016) quienes reportaron que, en Montecillo Estado de México, el rendimiento de maíz se incrementó significativamente cuando adicionó nitrógeno hasta 80 kg de N.ha⁻¹, mientras que con dosis superiores el rendimiento de grano se redujo. Además, los autores encontraron que a medida que se incrementan las dosis de N, la eficiencia agronómica disminuyó.

En cacao una respuesta similar encontró Cuenca *et al.* (2019) en su estudio de uso eficiente de nutrientes, los tratamientos más altos de macronutrientes presentaron los valores más bajos de eficiencia agronómica, estos autores sostienen que la disminución de la eficiencia se debe a que las dosis altas modifican el equilibrio de nutrientes en la solución del suelo, creando un bloqueo entre los nutrientes que reduce la adsorción de nutrientes. Este aporte concuerda con lo publicado por Liu *et al.* (2019) quienes mencionan que las aplicaciones de fertilizantes con alto contenido de N en los sistemas agrícola han resultado en una menor eficiencia en el uso del N, las pérdidas por volatilización y desnitrificación son mayores, la planta absorbe la cantidad que necesita de cada nutrimento y el resto queda libre, teniendo efectos adversos como la contaminación del agua, a través de la escorrentía superficial, la lixiviación de nitratos.

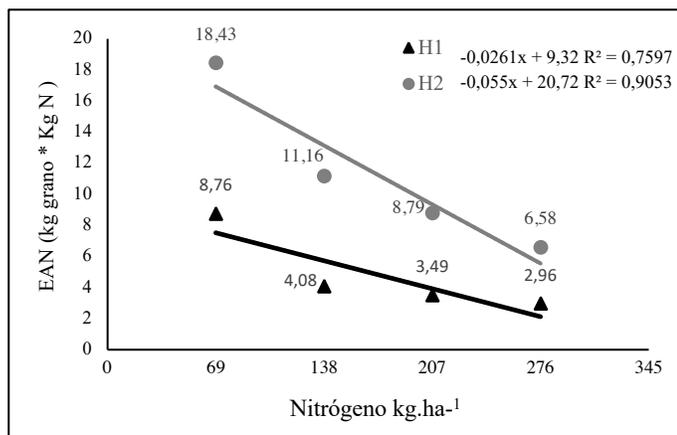


Gráfico 3. Eficiencia agronómica en dos híbridos de maíz por efecto de la fertilización nitrogenada orgánica y mineral. Mocache, Ecuador, 2019.

CONCLUSIONES

Los dos híbridos de maíz mostraron la mayor eficiencia agronómica con 69 kg.ha⁻¹ de N, bajo las condiciones edafoclimáticas de Mocache. El híbrido H₂ (Emblema) tiene una mayor capacidad de eficiencia agronómica de N, por lo que obtuvo los rendimientos más altos, lo que

sugiere una fuerte influencia del híbrido. Sin embargo, la fertilización nitrogenada mineral puede ser suficiente con 69 kg.ha⁻¹ de N mineral para el híbrido de maíz H₂ (Emblema), el rendimiento a partir de esta cantidad de N es estadísticamente igual que las dosis superiores, mientras que la aplicación de nitrógeno orgánico no fue estadísticamente superior que los tratamientos testigos, debido a que su mineralización y efecto sobre las condiciones químicas y físicas del suelo transcurren de forma progresiva. Por lo que su aplicación debería ser antes de la instalación del cultivo, dando tiempo a que el fertilizante orgánico se mineralice y la planta lo pueda absorber.

LITERATURA CITADA

- Álvarez, S., Sadras, V. O., & Borrás, L. 2014. Independent genetic control of maize (*Zea mays* L.) kernel weight determination and its phenotypic plasticity. 65(15): 4479-4487. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru215>
- Aguilar, C., Estrada, E., Salvador, J., Aguilar, M., Mejía, J., Conde, V., y Trinidad, A. 2016. Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno. Terra Latinoamericana, 34:419-429.
- Amores, F., Mite, F., y Carrillo, M. 1997. Manejo de la fertilización en maíz duro. Manual Técnico Numero 28 Estación Experimental Tropical Pichilingue.
- Cervantes. 2018. Manejo Agronómico para la Producción de Maíz de Alto Rendimiento. 14-17.
- Cuenca, E., Puentes, Y. & Menjivar, J. 2019. Efficient use of nutrients in fine aroma cacao in the province of Los Ríos-Ecuador. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 72(3): 8963-8970. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.74862>
- Fagodiya, R., Kumar, A., Kumari, S., Medhi, K. & Shabnam, A. 2020. El papel del nitrógeno y su gestión agrícola en un entorno cambiante. En: Naeem M., Ansari A., Gill S. (eds) Contaminantes en la agricultura. Springer, Cham. En M. Naeem, A. Ansari, & S. Gill (Eds.), Contaminants in Agriculture (pp. 247-264).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. Dirección de estadística FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- García. 2014. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Jornada Maíz, June, 21. <http://www.fertilizando.com/articulos/criterios-manejo-fertilizacion-cultivo-maiz.pdf>

- García, J. y Espinoza, J. 2009. Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad y en su eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. Recuperado: https://www.researchgate.net/publication/237235815_Efecto_del_fraccionamiento_de_nitrogeno_en_la_productividad_y_en_la_eficiencia_agronomica_de_macronutrientes_en_maiz
- González, A., Figueroa, U., Preciado, P., Núñez, G., Luna, G. y Antuna, O. 2016. Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2020. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2019 Contenidos.
- IPNI (International Plant Names Index). 2012. 4R Plant Nutrition Manual: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition. T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.P. Sulewski. (eds.) International Plant Nutrition Institute, Norcross, Georgia, USA.
- Liu, S., Chi, Q., Cheng, Y., Zhu, B., Li, W., Zhang, X., Huang, Y., Müller, C., Cai, Z., & Zhang, J. 2019. Science of the Total Environment Importance of matching soil N transformations, crop N form preference, and climate to enhance crop yield and reducing N loss. *Science of the Total Environment*, 657: 1265-1273. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.100>
- Rakesh, J. Jaswinder, S. y Adarsh, V. 2014. Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9347-1>
- Kumar, K., Hanumanthappa, M., Marimuthu, S., & Meenambigai, C. 2018. A review on enhancing the fertilizers use efficiency to minimize environmental impacts. ~ 2167 ~ *International Journal of Chemical Studies*, 6(3).
- Remache, M., Carrillo, M., Mora, R., Durango, W., & Morales, F. 2017. Absorción de macronutrientes y eficiencia del N, en híbrido promisorio de maíz. Patricia Pilar, Ecuador. 41(2): 103-115. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4678>
- Sadeghi, S. M., Noorhosseini, S. A., & Damalas, C. A. 2018. Environmental sustainability of corn (*Zea mays* L.) production on the basis of nitrogen fertilizer application: The case of Lahijan, Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 95: 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.005>
- Torres, A., Héctor, E., Cué, J., & Cevallos, M. 2018. *Fisiología Vegetal. Vol: nutrición hídrica y mineral de las plantas (UTM-UNIVE)*.
- Torres, A., Ardisana, E., Fosado, O., Cue, J., Mero, J., León, R., y Peñarrieta, S. 2019. Respuesta del pimiento (*Capsicum annuum* L.) ante aplicaciones foliares de diferentes dosis y fuentes de lixiviados de vermicompost. 31(3): 213-220.
- Vasco, A., Morales, C., Vasco, S., & Vasco, D. 2017. Agronomic performance and economic evaluation of crystalline Ecuadorian Littoral. 4(1): 66-75