

Investigación Original

Comportamiento agronómico de variedades criollas y mejoradas de maíz en un suelo de baja fertilidad

Fritzner Pierre 

fritzner.pierre@est.zamorano.edu

Estudiante de posgrado

Maestría en Agricultura Tropical Sostenible

Escuela Agrícola Panamericana Zamorano

Iveth Yassmin Rodriguez 

irodriguez@zamorano.edu

Asistente de Investigación

Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

Escuela Agrícola Panamericana Zamorano

Raphael Wesly Colbert 

rcolbert@zamorano.edu

Profesor Asociado

Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

Escuela Agrícola Panamericana Zamorano

Juan Carlos Rosas 

jrosas@zamorano.edu

Profesor Emérito Genética y Fitomejoramiento

Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

Escuela Agrícola Panamericana Zamorano

Historial del artículo:

Recibido febrero 22, 2023. Aceptado mayo 9, 2023. Publicado junio 30, 2023.

Cómo citar: Pierre, F., Rodriguez, I.Y., Colbert, R.W., Rosas, J.C. 2023. Comportamiento agronómico de variedades criollas y mejoradas de maíz en un suelo de baja fertilidad. Ceiba, 56(1), p 16-30. doi: 10.5377/ceiba.v56i1.16352

Resumen. El maíz (*Zea mays L.*) es uno de los granos básicos más importantes para la seguridad alimentaria y nutricional en Centro América; sin embargo, es producido mayormente por pequeños agricultores en suelos de baja fertilidad, principalmente nitrógeno y fósforo, y limitaciones en el uso de insumos y enmiendas. De enero a mayo de 2022, se evaluaron características agronómicas y rendimiento de grano de 16 variedades criollas y mejoradas de maíz, en un suelo de bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, y otros nutrientes, en Zamorano, Honduras. Se utilizó un arreglo de parcelas divididas de un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, los tratamientos con y sin fertilización estuvieron distribuidos en las parcelas principales y las variedades en las subparcelas. Se observaron diferencias significativas de efectos simples de fertilización y variedad, y de la interacción fertilización \times variedad, para la mayoría de las variables fisiológicas, el rendimiento de grano y sus componentes. Las variedades CENTA Pasaquina, Indio Cholulteca, Olotillo y Capulín, presentaron los rendimientos más altos en ambos tratamientos de fertilización ($p < 0.0001$). La altura de planta ($r = 0.5195$) y a la primera mazorca ($r = 0.4277$), el aspecto de mazorca ($r = -0.6979$), índice de desgrane ($r = 0.4428$) y peso de 100 semillas ($r = 0.4489$) se correlacionaron

significativamente con el rendimiento de grano. Las variedades con mayor rendimiento presentaron un potencial agronómico y calidad de grano deseables para seguir con una etapa de validación en finca en las regiones maiceras de Honduras.

Palabras Clave: componentes de rendimiento, efecto de la fertilización, caracteres agronómicos, tolerancia a baja fertilidad, *Zea mays* L.

Agronomic performance of landrace and improved maize varieties in a typical ustifluent soil of low fertility

Abstract. Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important staple grains for food and nutritional security in Central America; however, it is produced mostly by small farmers on soils with low fertility, mainly nitrogen and phosphorus, and with limitations in the use of inputs and amendments. From January to May 2022, agronomic and grain yield traits of 16 landraces and improved maize varieties were evaluated in soil low in organic matter, total nitrogen, phosphorus, and other nutrients, in Zamorano, Honduras. A split-plot arrangement of a randomized complete block design with four replications was utilized, with and without fertilization treatments were distributed in the main plots and varieties in the subplots. Significant differences were observed for simple effects of fertilization and variety, and the fertilization \times variety interaction, for most physiological variables, grain yield, and components. The varieties CENTA Pasaquina, Indio Choluteca, Olotillo and Capulín presented the highest yields in both fertilization treatments ($p < 0.0001$). Plant height ($r = 0.5195$) and to first ear ($r = 0.4277$), cob appearance ($r = -0.6979$), shelling index ($r = 0.4428$) and 100-seed weight ($r = 0.4489$) were significantly correlated with grain yield. The higher-yielding varieties exhibited desirable agronomic potential and grain quality to follow up an on-farm validation stage on maize production regions of Honduras.

Keywords: yield components, fertilization effect, agronomic traits, tolerance to low fertility, *Zea mays* L.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de granos básicos más importantes en la dieta diaria y la base de la seguridad alimentaria y nutricional de la mayoría de la población de Centro América (Llanes-Torres et al. 2015; Rodríguez-López et al. 2015; Esquivel-Quispe 2020). El maíz se utiliza principalmente como alimento para humanos y animales en los países en desarrollo, debido a que las semillas contienen un 60 a 68% de almidón y un 7 a 15% de proteína. Las variedades de maíz con granos de color amarillo son consideradas como una fuente rica de vitamina A (Fahad 2018). Su cultivo es una importante fuente de ingresos para los pequeños

agricultores en Centro América, y su producción es clave en la cultura e identidad de la agricultura centroamericana (Chain-Guadarrama et al. 2018). En la región centroamericana, el cultivo del maíz registró una producción de 31,644,210 ton con un rendimiento promedio de 3,500 kg.ha⁻¹ en el 2021; sin embargo, Honduras solo produjo 673,592 ton con un rendimiento promedio de 1,867 kg.ha⁻¹ (FAOSTAT 2023).

En Centro América, más de 80% del maíz es producido por más de un millón de pequeños agricultores responsables de abastecer más de 70% del consumo regional (Eitzinger et al. 2013). La mayor parte de estos pequeños agricultores de granos básicos cultivan parcelas

de tierra de superficie restringida y viven en condiciones precarias con limitaciones en el uso de insumos y enmiendas. En Centro América, la mayoría de las parcelas de maíz se siembran en áreas marginales y en suelos degradados (Zea 1992), frecuentemente en laderas de baja fertilidad y expuestos a continuar degradándose, bajo precipitaciones erráticas e insuficientes, y en una agricultura típica de subsistencia con bajos insumos (Zea 1992; Fournier Fauchère 2000). Los efectos del cambio climático en Centro América, representan una importante amenaza para los medios de vida de los pequeños agricultores de granos básicos que dependen de una agricultura mayormente de secano (Chain-Guadarrama *et al.* 2018); siendo los más dominantes los incrementos en temperatura, cambios en los patrones de lluvia, y en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, incluyendo periodos frecuentes de sequía y excesos de lluvias que causan reducción de los rendimientos del cultivo y degradación de los suelos (Chain-Guadarrama *et al.* 2018).

Como la mayoría de cultivos de importancia económica, el maíz es afectado durante su crecimiento y desarrollo por varios factores bióticos como la presión de insectos y patógenos, y abióticos, como los períodos prolongados de sequía y el déficit de oxígeno en el suelo por exceso de lluvias, la acidez y la reducción de la fertilidad del suelo (Chassaigne-Ricciulli *et al.* 2012). En los suelos de bajo nivel de fertilidad, las plantas cultivadas tratan de desarrollar estrategias de tolerancia y evasión que les permiten adaptarse a esta condición edáfica anómala, con base en su eficiencia para la adquisición de nutrientes.

El objetivo de este estudio fue determinar el comportamiento agronómico, potencial de rendimiento y calidad de grano de variedades criollas y mejoradas de maíz, en condiciones de un suelo de baja fertilidad, principalmente de bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo. A través de

este estudio se esperaba identificar al menos una variedad con buen potencial de rendimiento y calidad de grano, para la posterior validación de su beneficio potencial en sistemas de producción de maíz en la región de Centro América.

Métodos

Lugar del estudio

El estudio se realizó de enero a mayo del 2022, evaluándose el comportamiento agronómico de 16 variedades de maíz en el lote La Vega 4 del Monte Redondo de la Universidad Zamorano, que contiene un suelo de textura franca a franco-arcillo-arenosa. Según los análisis realizados en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Zamorano, el suelo presentó un pH de 6.18-6.74, y bajos contenidos de materia orgánica (0.32-1.11 g/100 g), nitrógeno total (0.02-0.06 g/100g), fósforo (2-11 mg/kg extractable), magnesio (127-222 mg/kg extractable), cobre (0.6-1.1 mg/kg extractable) y zinc (0.1-0.3 mg/kg extractable). La temperatura promedio en la zona durante el período del estudio fue de 20.3 °C y la precipitación acumulada durante el ciclo del ensayo fue de 153 mm. El lote se encuentra a una altura de 750 msnm, y 13°59'41" N y 86°59'19" O. Este lote experimental ha sido utilizado en investigaciones con frijol común por más de 15 años (Ho *et al.* 2005; Henry *et al.* 2010).

Tratamientos y diseño experimental

La investigación se condujo utilizando un arreglo de parcelas divididas de un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, incluyendo dos niveles de fertilización (con y sin la recomendación comercial) distribuidos en las parcelas principales, y 16 variedades de maíz en las subparcelas, incluyendo 10 criollas con tolerancia al estrés hídrico (Gómez *et al.* 2021), y seis variedades mejoradas de Honduras, El

Salvador y Guatemala (Cuadro 1). La subparcela o unidad experimental midió 5 m de largo y 2.7 m de ancho (13.5 m²), y estuvo

compuesta de tres hileras con 20 plantas cada una y una distancia de 0.90 m entre las hileras.

Cuadro 1. Variedades de maíz evaluadas bajo tratamientos con y sin fertilización en un suelo de baja fertilidad. Zamorano, Honduras, 2022.

No.	Código	Variedades	Descripción
1	Capulín	M0318	Criolla de San Francisco, Choluteca
2	Guanaco	M0028	Criolla de Las Cañas, Yoro
3	Indio	M0321	Criolla de Orocuina, Choluteca
4	Joco	M0085	Criolla de Camasca, Intibucá
5	Maicito	M0044	Criolla de Choluteca
6	Olotillo	M0322	Criolla de Orocuina, Choluteca
7	Planta Baja	M0323	Criollada de El Destino, Yorito, Yoro
8	Taberón I	M0026	Criolla de Pueblito, Yoro
9	Tuza Morada	M0317	Criolla de San Francisco, Choluteca
10	Olotillo Mejorado	M0319	Variedad FP de El Barro, Santa Bárbara
11	CENTA Pasaquina	CP	Mejorada de El Salvador
12	DICTA Maya	DM	Mejorada de Honduras
13	DICTA Sequía	DS	Mejorada de Honduras
14	ICTA B-15	IB15	Mejorada de Guatemala
15	ICTA B-7	IB7	Mejorada de Guatemala
16	Tuxpeño	TUX	Mejorada de Honduras (testigo)

El factor fertilización incluyó dos niveles: con y sin fertilización, y el tratamiento con fertilización consistió en la aplicación de 48 kg.ha⁻¹ de la fórmula 18-46-0 a los 14 días después de la siembra (DDS), y 43.3 kg.ha⁻¹ de urea 46% N a los 40 DDS, y las parcelas sin fertilización no la recibieron.

Manejo agronómico

Se utilizó un sistema de riego por goteo para complementar las precipitaciones que se presentaron durante el experimento (153 mm) hasta completar un total de 450 mm de agua, aplicando una frecuencia de riego de tres veces por semana. Para el control de plagas y enfermedades, a los 25 DDS se aplicó el insecticida natural Spinetoram (spinosyn J + L) para el control de gusano cogollero [*Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae)], y el fungicida Azoxystrobina (estrobilurina) para la enfermedad foliar mancha de asfalto. Para el control de malezas, se utilizó el herbicida pre-

emergente Glifosato (N-fosfono-metilglicina) 450 g.L⁻¹, a los 10 días antes de la siembra, y el pos-emergente Glufosinato de amonio (organofosforado) 15 g.L⁻¹ a los 40 DDS, y dos desmalezados manuales a los 65 y 90 DDS.

Muestreo y variables medidas

La evaluación de las características agronómicas se realizó en muestras de 10 plantas y los componentes de rendimiento en 30 plantas de la parte central de las subparcelas; el muestreo se hizo en las plantas centrales de los surcos para evitar los efectos de borde. Se evaluaron los días a la floración masculina (DFM) (panojas completamente visibles y liberando polen) y floración femenina (DFF) (estigmas visibles de 2 cm en la primera mazorca), y la madurez fisiológica (DMF) (cambio al color característico de la cobertura de la mazorca), presentes en más del 50% de las plantas. En la etapa reproductiva R4 (grano pastoso), se midió la altura de planta (ALP),

desde la base de la planta hasta donde comienza a dividirse la espiga (panoja), y la altura de la primera mazorca (APM) desde la base de la planta. Adicionalmente, se midió el contenido relativo de clorofila (CRC) en unidades SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), con un medidor de clorofila marca *Apogee* modelo MC-100 en la hoja de la primera mazorca, a la floración-etapa R1 (65 DDS) y a la madurez de cosecha (111 DDS); así como, las plantas con acame de raíz (PAR) (inclinación $>30^\circ$ a partir de la base donde empieza la zona de raíces) y con acame de tallos rotos debajo de la mazorca a la madurez fisiológica (etapa R6).

En el surco central de las subparcelas, se contabilizaron el número de plantas (NPC) y mazorcas cosechadas (NMC), mazorcas con mala cobertura (MMC) (deficiente y con granos expuestos), y el aspecto de mazorca (ASM) (tamaño, forma, daño por enfermedades o insectos, uniformidad y llenado de grano) antes del desgrane, utilizando una escala de 1 a 5 (1= óptimo y 5= muy deficiente). Después de la cosecha, se registraron el peso de las mazorcas cosechadas (PMC), y luego del desgrane, el peso del grano (PDG) y el peso de 100 semillas (PCS) por subparcela. El índice de desgrane (IDD) se calculó dividiendo el PDG entre el PMC de cada subparcela. Después de pesar el grano, se determinó la humedad del grano (HDG) en el medidor de humedad marca “mini GAC[®]”. El rendimiento de grano (RDG) en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ajustado al 14% de humedad, se calculó utilizando la ecuación: $\text{RDG} = [(\text{PDG} \times 10,000 \text{ m}^2) / (\text{Área cosechada m}^2)] \times [(100 - \% \text{ HDG}) \times 0.86]$.

Análisis de datos

Para analizar los datos se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) y prueba de separación de medias de la diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher ($p \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico *Statistical Analysis System* (SAS versión 9.4[®]). Para las variables evaluadas se realizó la prueba de

Shapiro Wilks, para conocer la normalidad de los datos y cumplir los supuestos del ANDEVA. Para establecer las relaciones entre las variables agronómicas y el RDG, se realizaron análisis de correlación de Pearson (correspondiendo los valores de $r < 0.50$, $0.50 \geq r < 0.70$ y $r \geq 0.70$, a correlaciones débil, media y alta, respectivamente) utilizando el programa estadístico *JASP* (versión 0.16.2). Los componentes principales de las variables medidas que presentaron diferencias significativas fueron analizados con el programa de análisis estadístico *InfoStat* versión 2020.

Resultados

En las parcelas sin fertilización, las plantas de todas las variedades de maíz alcanzaron los DFM ($p = 0.0010$) y DFF ($p = 0.0006$) significativamente más tarde que con fertilización. Por otro lado, se registraron valores superiores en ALP ($p < 0.0001$) y APM ($p = 0.0002$), CRC ($p = 0.0004$) a los 63 DDS, y DMF ($p = 0.0240$) en las parcelas con fertilización que sin fertilización (Cuadro 2). De manera similar, en la cosecha se registró un efecto significativo de la fertilización en el NMP ($p < 0.0001$), porcentaje de MMC ($p = 0.0294$), PCS ($p = 0.0483$), y RDG ($p = 0.0038$) de las variedades de maíz.

Cuadro 2. Efectos simples del factor fertilización del análisis de varianza de los días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF), altura de planta (ALP) y altura primera mazorca (APM), contenido relativo de clorofila (CRC), días a madurez fisiológica (DMF), porcentaje de acame de raíz (PAR), número de mazorcas por planta (NMP), porcentaje de mazorcas con mala cobertura (MMC), peso de cien semillas (PCS), y rendimiento de grano (RDG) de 16 variedades de maíz crecidas en un suelo de baja fertilidad. Zamorano, Honduras, 2022.

Fertilización	DFM	DFF	ALP	APM	CRC	DMF
			(cm)		(SPAD)	
Con	64	67	191	102.0	50.5	101
Sin	68	71	140	54.9	38.7	99
Valor p	0.0010**	0.0006***	<0.0001***	0.0002***	0.0004***	0.0240*
CV (%)	2.11	2.47	6.54	11.9	6.19	1.82
R ²	0.97	0.94	0.91	0.91	0.88	0.96

Fertilización	PAR (%)	NMP	MMC (%)	PCS (g)	RDG (kg.ha ⁻¹)
Con	12.5	1.22	9.53	26.2	3,159
Sin	6.3	1.05	4.37	25.5	2,380
Valor p	0.1414 ^{ns}	<0.0001***	0.0294*	0.0483*	0.0038**
CV (%)	93.8	9.39	76.6	7.86	15.4
R ²	0.50	0.76	0.65	0.79	0.77

*, **, ***, ^{ns} Diferencias significativas al $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$ y no significativo, respectivamente. CV = Coeficiente de variación.

Taberón I y Tuza Morada fueron las variedades más precoces en DFM y DFF ($p < 0.0001$) (Cuadro 3). Las variedades criollas Tuza Morada (87 DDS), Taberón I (89 DDS), Maicito (91 DDS), Olotillo (91 DDS) y Capulín (93 DDS), fueron más precoces en alcanzar los DMF que las variedades mejoradas ($p < 0.0001$), de las cuales ICTA B-7 (109 DDS), ICTA B-15 (107 DDS) y DICTA Maya (107 DDS), fueron las más tardías.

A los 63 DDS, las variedades Tuza Morada, Capulín, Taberón I, Tuxpeño, Indio Choluteca, Joco, Olotillo Mejorado, ICTA B-15, Maicito y DICTA Sequía, registraron el mayor CRC ($p = 0.0014$). Las observaciones de CRC se encontraron al nivel intermedio de unidades SPAD (35.3-50.0 unidades) requerido para el cultivo del maíz (Castellanos-Reyes et al. 2017). La variedad Joco presentó la mayor APM (97.8 cm) y algunas variedades criollas y mejoradas las más bajas ($p < 0.0001$); mientras que, las variedades Joco (190 cm), Indio Choluteca (180 cm) y Olotillo Mejorado (182 cm), presentaron las ALP más altas. No se

presentaron diferencias significativas en el PAR.

Cuadro 3. Efectos simples del factor variedad del análisis de varianza de los días a la floración masculina (DFM), floración femenina (DFF) y madurez fisiológica (DMF), contenido relativo de clorofila (CRC), altura de la primera mazorca (APM) y de planta (ALP) de 16 variedades de maíz crecidas en un suelo de baja fertilidad. Zamorano, Honduras, 2022.

Variedad	DFM	DFF	DMF	CRC (SPAD)	APM ALP	
					(cm)	
Tuza Morada	58	60	87	47.4	73.8	148
Taberón I	54	60	89	46.1	72.0	150
Maicito	59	63	91	44.8	71.1	156
Olotillo	61	64	91	43.7	76.1	164
Capulín	62	65	92	46.8	74.5	162
Indio Choluteca	63	66	93	45.2	86.2	175
Guanaco	62	67	98	44.5	86.0	180
CENTA Pasaquina	68	70	101	42.9	80.8	161
Joco	67	73	102	45.6	97.8	190
Planta Baja	67	71	103	42.8	81.8	174
Olotillo Mejorado	68	72	106	45.1	80.1	182
DICTA Maya	73	74	107	41.1	76.8	159
DICTA Sequía	73	74	107	44.7	71.1	158
Tuxpeño	70	72	107	45.6	73.1	162
ICTA B-15	75	77	108	45.0	71.5	163
ICTA B-7	75	78	109	42.7	77.8	159
Promedio	66	69	100	44.6	78.2	165
DMS (0.05)	1.38	1.69	1.79	2.72	9.24	10.7
Valor p	<0.0001***	<0.0001***	<0.0001***	0.0014**	<0.0001***	<0.0001***
CV (%)	2.11	2.47	1.82	6.19	11.9	6.54
R ²	0.97	0.94	0.96	0.88	0.91	0.91

,* Diferencias significativas al $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.0001$, respectivamente. DMS= Diferencia mínima significativa; CV =Coeficiente de variación.

Las variedades ICTA B-15 (41.6) y DICTA Sequía (39.5) presentaron el mayor NMC, y Planta Baja (31.8), Olotillo (31.8), Tuxpeño (31.8), Capulín (30.9) y Taberón (30.5) los más bajos ($p > 0.0001$) (Cuadro 4). Además, ICTA B-15 (1.38) y DICTA Sequía

(1.32) presentaron un mayor NMP ($p < 0.0001$); y Taberón I (30.8 g) y Olotillo (30.4 g) registraron el mayor PCS, e ICTA B-7 (19.6 g) e ICTA B-15 (19.5 g) el menor PCS.

Cuadro 4. Efectos simples del factor variedad del análisis de varianza del número de mazorcas cosechadas (NMC) y mazorcas por planta (NMP), aspecto de mazorca (ASM), mazorcas con mala cobertura (MMC), y peso de cien semillas (PCS) de 16 variedades de maíz crecidas en un suelo de baja fertilidad. Zamorano, Honduras, 2022.

Variedad	NMC	NMP	ASM (escala 1-5)	MMC (%)	PCS (g)
Taberón I	30.5	1.05	3.63	1.93	30.8
Olotillo	31.8	1.06	2.13	7.79	30.4
Maicito	33.9	1.13	2.88	3.78	28.8
Capulín	30.9	1.03	2.13	3.67	28.3
Indio Choluteca	32.5	1.08	2.50	10.70	27.6
Guanaco	31.9	1.06	2.38	2.02	27.1
Joco	36.1	1.20	3.00	3.09	26.6
Tuza Morada	34.4	1.15	2.25	8.61	25.8
Planta Baja	30.1	1.00	2.75	8.43	25.5
DICTA Sequía	39.5	1.32	2.00	9.66	25.3
DICTA Maya	36.0	1.20	2.00	6.76	25.0
Tuxpeño	31.8	1.06	1.88	10.00	24.6
Olotillo Mejorado	33.3	1.11	2.50	4.11	24.5
CENTA Pasaquina	33.8	1.13	1.63	14.40	24.0
ICTA B-7	36.0	1.20	2.63	8.00	19.6
ICTA B-15	41.6	1.39	2.25	8.23	19.5
Promedio	34.0	1.13	2.41	6.95	25.8
DMS (0.05)	3.16	0.10	0.74	5.23	2.01
Valor p	<0.0001***	<0.0001***	<0.0001***	<0.0001***	<0.0001***
CV (%)	9.37	9.39	31.0	75.7	7.85
R ²	0.77	0.76	0.56	0.65	0.79

*** Diferencias significativas al $p \leq 0.001$; DMS= Diferencia mínima significativa; CV =Coeficiente de variación.

El RDG debido al efecto simple de variedad fue superior en CENTA Pasaquina (3,287 kg.ha⁻¹), Indio Choluteca (3,212 kg.ha⁻¹), Olotillo (3,162 kg ha⁻¹), DICTA Sequía (3,242 kg ha⁻¹) y Capulín (3,094 kg.ha⁻¹). Por otro lado, a pesar de que los efectos de la interacción fertilización \times variedad en el RDG promedio de las variedades fue mayor en las parcelas con fertilización (3,159 kg.ha⁻¹) que sin fertilización (2,381 kg.ha⁻¹); estas diferencias fueron significativas únicamente en seis variedades, incluyendo a CENTA Pasaquina ($p= 0.0174$), DICTA Sequía ($p= 0.0035$), Capulín ($p= 0.0012$), DICTA Maya ($p= 0.0229$), Maicito ($p= 0.0131$), e ICTA B-15 ($p= 0.0107$) (Cuadro 5). La variedad DICTA Sequía (4,380 kg.ha⁻¹)

registró un RDG superior que las demás variedades bajo la fertilización; y la variedad CENTA Pasaquina (2,981 kg.ha⁻¹) sin fertilización, superando a Maicito, Joco, Tuza Morada, ICTA B-15, Planta Baja, Taberón I e ICTA B-7 ($p < 0.0001$). La variedad Planta Baja presentó un menor RDG con fertilización (2,061 kg.ha⁻¹) que sin fertilización (2,785 kg.ha⁻¹), pero esta diferencia no fue significativa.

La media geométrica de RDG indica a un grupo de variedades incluyendo a CENTA Pasaquina, Indio Choluteca, Olotillo Mejorado, DICTA Sequía, Capulín y otras, superiores en rendimiento en ambos tratamientos de fertilización. Sin embargo, ICTA B-15 (57.1%),

DICTA Sequía (49.4%) y DICTA Maya (36.4%), presentaron una reducción de RDG en las parcelas sin fertilización superior a las variedades antes mencionadas. La menor reducción de RDG se registró en Olotillo Mejorado (2.02%), variedad que presentó un

RDG similar a las mejores variedades en ambos tratamientos de fertilización. Por otro lado, la variedad Planta Baja presentó una reducción negativa (-35.1%), al registrar un mayor RDG en el tratamiento sin fertilización, aunque estadísticamente no fue diferente al fertilizado.

Cuadro 5. Efecto simple de variedad (V) y efectos de la interacción fertilización × variedad (F × V) del análisis de varianza del rendimiento de grano, media geométrica y reducción de rendimiento de 16 variedades de maíz crecidas en un suelo de baja fertilidad y con tratamientos con y sin fertilización. Zamorano, Honduras, 2022.

Variedad	Efecto de variedad (kg.ha ⁻¹)	Efecto de F × V (kg.ha ⁻¹)			Media geométrica (kg.ha ⁻¹)	Reducción rendimiento (%)
		Con	Sin	Valor p		
CENTA Pasaquina	3,287	3,592	2,981	0.0174*	3,272	17.0
Indio Choluteca	3,212	3,511	2,913	0.0710 ^{ns}	3,198	17.0
Olotillo	3,162	3,360	2,964	0.2752 ^{ns}	3,156	11.8
DICTA Sequía	3,243	4,308	2,178	0.0035**	3,063	49.4
Capulín	3,094	3,641	2,547	0.0012**	3,045	30.0
DICTA Maya	2,848	3,483	2,214	0.0229*	2,777	36.4
Tuxpeño	2,786	3,069	2,502	0.2732 ^{ns}	2,771	18.5
Olotillo Mejorado	2,741	2,769	2,713	0.8135 ^{ns}	2,741	2.02
Guanaco	2,673	2,941	2,406	0.0853 ^{ns}	2,660	18.2
Maicito	2,584	2,846	2,322	0.0131*	2,571	18.4
Joco	2,572	2,836	2,309	0.0899 ^{ns}	2,559	18.6
Tuza Morada	2,578	3,047	2,110	0.0600 ^{ns}	2,536	30.8
ICTA B-15	2,650	3,463	1,487	0.0107*	2,269	57.1
Planta Baja	2,423	2,061	2,785	0.1863 ^{ns}	2,396	-35.1
Taberón I	2,272	2,722	1,822	0.4787 ^{ns}	2,227	33.1
ICTA B-7	2,193	2,899	1,837	0.0633 ^{ns}	2,308	36.6
Promedio V	2,770	3,159	2,381		2,722	22.5
DMS- V (0.05)	423	606	606			
Valor p- V	<0.0001***	<0.0001***	<0.0001***			
DMS- F × V (0.05)		598				
Valor p- F × V		<0.0001***				
CV (%)	11.8	13.5	17.9			
R ²	0.77	0.71	0.64			

*** Diferencias significativas al p< 0.0001. DMS =Diferencia mínima significativa de fertilización (F) y fertilización x variedad (F × V); CV =Coeficiente de variación.

Como se observa en el gráfico de dispersión, la interacción fertilización × variedad de maíz se clasificó en cuatro grupos según la respuesta de las variedades en relación con el promedio de rendimiento de grano bajo los tratamientos con y sin fertilización (Figura

1). En el cuadrante superior derecho, se encuentran las variedades CENTA Pasaquina, Indio Choluteca, Olotillo y Capulín, que presentaron los mejores RDG con ambos tratamientos de fertilización. En el cuadrante superior izquierdo, se ubica la variedad DICTA

Sequía, la cual respondió muy bien a la fertilización, pero su RDG sin fertilización fue inferior al promedio de las variedades. En el cuadrante inferior derecho, se ubica la variedad Olotillo Mejorado, que presentó un buen RDG sin fertilización, pero que su respuesta con fertilización estuvo por debajo del promedio de las variedades; y Planta Baja, que fue muy

bueno sin fertilización, pero que no respondió a la fertilización. Y en el cuadrante inferior izquierdo, se ubican las variedades criollas Tuza Morada, Maicito, Joco, Taberón I y la mejorada ICTA B-7, con respuestas inferiores al promedio en ambas condiciones de fertilización.

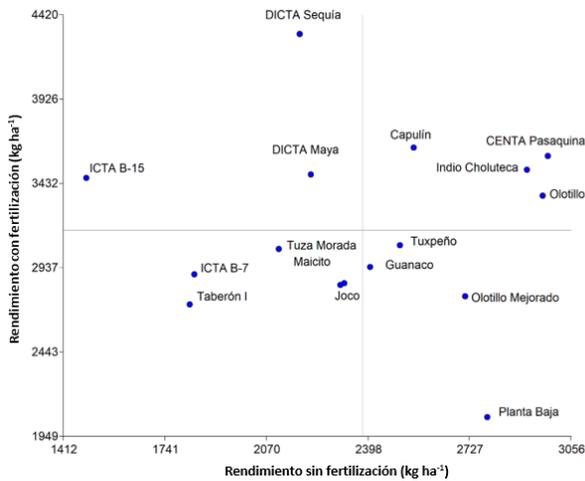


Figura 1. Gráfico de dispersión contrastando las diferencias en el rendimiento de grano con y sin fertilización de 16 variedades de maíz en un suelo de baja fertilidad. Zamorano, Honduras, 2022. Los ejes X e Y en el interior de la figura representan los promedios de las variedades en cada tratamiento de fertilización.

Bajo el tratamiento con fertilización, el RDG estuvo correlacionado positivamente solo con el NMP ($r= 0.3758^{**}$), y negativamente con las variables PAR ($r= -0.2651^*$), PAT ($r= -0.2591^*$) y ASM ($r= -0.6483^{**}$) (Cuadro 6). Sin embargo, en el tratamiento sin fertilización se registraron correlaciones positivas del RDG con la APM ($r= 0.4277^{***}$), ALP ($r= 0.5195^{***}$), NMP ($r= 0.3159^*$), IDD ($r= 0.4428^{***}$) y PCS ($r= 0.4489^{***}$), y negativas con DFM ($r= -0.2585^*$), DFF ($r= -0.3684^*$) y ASM ($r= -0.6979^{***}$).

fenológicas, morfológicas y componentes de rendimiento de 16 variedades de maíz crecidas con y sin fertilización en un suelo de baja fertilidad. Zamorano, Honduras, 2022.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre el rendimiento de grano y características

Características	Correlación (r) con rendimiento de grano	
	Con fertilización	Sin fertilización
Días a la floración masculina	0.1667 ^{ns}	-0.2585 [*]
Días a la floración femenina	-0.0057 ^{ns}	-0.3684 ^{**}
Altura de primera mazorca (cm)	0.0236 ^{ns}	0.4277 ^{***}
Altura de planta (cm)	0.1616 ^{ns}	0.5195 ^{***}
Plantas con acame de raíz (%)	-0.2651 [*]	0.0514 ^{ns}
Plantas con acame de tallo (%)	-0.2591 [*]	-0.0166 ^{ns}
Días a la madurez fisiológica	-0.0052 ^{ns}	-0.2009 ^{ns}
Número de mazorcas con mala cobertura	0.1463 ^{ns}	0.1815 ^{ns}
Número de mazorcas por planta	0.3758 ^{**}	0.3159 [*]
Aspecto de mazorca (escala 1-5)	-0.6483 ^{***}	-0.6979 ^{***}
Índice de desgrane	0.1207 ^{ns}	0.4428 ^{***}
Peso de 100 semillas (g)	0.1763 ^{ns}	0.4489 ^{***}

^{*}, ^{**}, ^{***}, ^{ns} Correlaciones al $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$ y no significativas, respectivamente.

El análisis de los componentes principales (ACP) de las 12 variables que presentaron correlaciones significativas, se redujo en dos componentes (CP 1 y CP2) que presentaron la mayor variabilidad y explicaron el 63.2% de la varianza total del experimento (**Figura 2**). Según el ángulo formado, las variables APM, ALP y ASM tuvieron una relación opuesta con el RDG; y las variables DFM, DFF, DMF, NMC y NMP con el PCS, y estas no mostraron estar asociadas con el RDG. El ACP indica que las variedades más precoces Taberón I, Indio Choluleca, Maicito, Capulín, Olotillo y Tuza Morada estuvieron relacionadas con el PCS y CRC, y opuestas a DFF, DFM y DMF; mientras que, las variedades más tardías se encontraron relacionadas con estas características fenológicas. Las variedades Guanaco, Planta Baja, Joco, Olotillo Mejorado se comportaron de manera similar para las características ASM, APM y ALP. Además, se registró un nivel de similitud entre las variedades mejoradas ICTA B-7, DICTA Maya, ICTA B-15, Tuxpeño, CENTA Pasaquina y DICTA Sequía para los rasgos NMC, NMP y MMC.

Discusión

La fertilización favoreció la expresión de las características agronómicas, el rendimiento de grano y los componentes en el promedio de las variedades de maíz. Sin embargo, en las variables del RDG y algunos de sus componentes, no se observaron diferencias entre los tratamientos con y sin fertilización en algunas variedades. La interacción fertilización \times variedad influyó en las variables DMF, NMP, porcentaje de MMC, APM y RDG. La fertilización favoreció un período de llenado de los granos más prolongado, que habría permitido una mayor intercepción de radiación, tasa fotosintética, producción de foto asimilados y mayores rendimientos (Barrios y Basso 2018).

La variedad Taberón I fue la más precoz en aparición de la floración masculina, similar a lo reportado bajo estrés hídrico (Gomez et al., 2021). Las demás variedades fueron más tardías y presentaron diferencias entre los tratamientos con y sin fertilización. Así mismo, los resultados en DFM son similares a los obtenidos por Barrios y Basso (2018), en los que las diferencias en los DFM y DFF dependieron de las características genéticas de cada variedad y el manejo de la fertilización. Por consiguiente, las variables DFM y DFF presentaron correlaciones negativas débiles con el RDG en las parcelas sin fertilización, mientras que, no presentaron correlaciones con el RDG en las parcelas con fertilización. Según esto, la floración más tardía de las variedades bajo el estrés de baja fertilidad reduce el RDG con relación a las condiciones favorables de la fertilización, debido a que la tasa metabólica puede variar en las plantas cuando es obligada a usar rutas metabólicas alternas en respuesta al estrés (Harris-Valle et al. 2009).

Las variedades registraron un mayor CRC en las parcelas con fertilización, lo que concuerda con los resultados de Cunha et al. (2015) y Martínez et al. (2016), que se enfocaron en la relación en el índice de verdor y

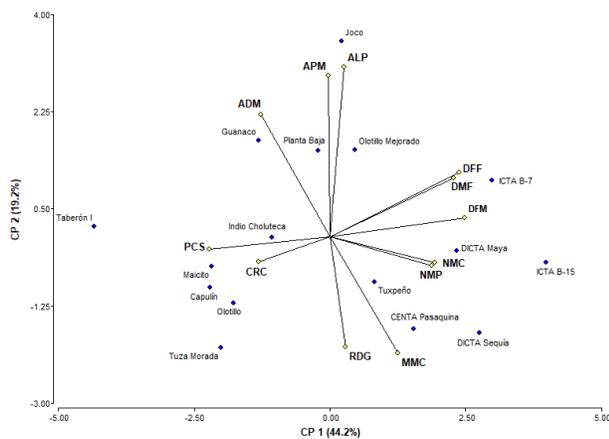


Figura 2. Biplot para variables fenológicas, agronómicas y componentes de rendimiento de 16 variedades de maíz crecidas con y sin fertilización en un suelo de baja fertilidad agrupadas en dos componentes principales (CP 1 y CP 2). Zamorano, Honduras, 2022.

la fertilización en *Lisianthus* y trigo, respectivamente. Las variedades Tuza Morada, Capulín, Taberón I, Tuxpeño, Indio Choluteca, Joco, Olotillo Mejorado, ICTA B-15, Maicito y DICTA Sequía, registraron un mayor CRC en las hojas. Las observaciones de CRC de este experimento se encontraron al nivel intermedio de unidades SPAD requerido en el cultivo del maíz, cuyo valor crítico es 35.3 unidades SPAD (Castellanos-Reyes et al. 2017).

El ASM y MMC se encontraron influenciados por los tratamientos de fertilización. Sin embargo, se registraron valores altos de coeficiente de variación (mayores a 30%), que resultarían del aporte de la varianza de la aptitud combinatoria general (ACG) que indican la varianza aditiva y de la aptitud combinatoria específica (ACE). A este respecto, Martínez y León-Castillo (2006) encontraron una variación entre híbridos de maíz debida a la varianza ACG y una pequeña proporción de la varianza ACE para el MMC, PAR y ASM. Debido a este hallazgo y la importancia de los efectos de ACG, se requiere continuar la investigación con ensayos similares para una mejor estabilización de estos caracteres agronómicos.

La tendencia del RDG debido a los efectos de la fertilización es similar a la que encontraron Bernal et al. (2014) y Chipomho et al. (2020). Según esta tendencia, se registró un rango amplio en la reducción de RDG (2.02-57.1%) de las variedades en las parcelas sin fertilización con relación a las de con fertilización. Sin embargo, en la variedad Planta Baja, se registró un mayor rendimiento (35.1%), que no fue significativo, en las parcelas sin fertilización. Este comportamiento poco común de la variedad Planta Baja, también fue observado bajo condiciones de estrés hídrico severo por Gómez-Cerna et al. (2021); lo que sugiere un mecanismo de adaptación a estreses pero sin buena respuesta a condiciones más favorables sin estrés. La media geométrica presenta un amplio rango de rendimiento

(2,004- 3,271 kg ha⁻¹) que permite identificar las variedades más promisorias, lo que coincide con las variaciones de RDG bajo estrés hídrico observadas en Zamorano, Honduras por Gómez-Cerna et al. (2021).

Cabe mencionar que, en ambas condiciones de estrés, la floración estuvo relacionada negativamente con el CRC en las hojas, lo que se traduce que entre más alto es el CRC, más precoz es la floración del maíz. El CRC en las hojas proporciona un aumento de la producción y las hojas tienen mejor índice de área foliar, lo que contribuye en aumentar gradualmente la capacidad de las plantas para aprovechar la energía solar a lo largo de su ciclo de vida (Castellanos-Reyes et al. 2017).

La ALP y la APM presentaron correlaciones positivas con el RDG de las variedades de maíz, solo en las parcelas sin fertilización. La tendencia de variación de la ALP fue similar a la que registraron Alori et al. (2019). Los efectos de la fertilización sobre la ALP presenta un cierto grado de similitud con los efectos del estrés hídrico registrados por Gómez-Cerna et al. (2021). Sin embargo, en las parcelas con fertilización el efecto de estas variables se vincula con el PAR y acame de tallos que se correlacionaron negativamente con el RDG. Los resultados muestran que a mayor ALP y APM, la susceptibilidad al acame de raíz y de tallo aumenta.

En el presente estudio, el ASM estuvo negativamente correlacionado con el RDG bajo ambas condiciones, con y sin fertilización, por lo que constituye un carácter secundario útil para identificar variedades de maíz con mejor comportamiento en condiciones de estrés como la baja fertilidad del suelo. Esta característica forma parte de los componentes de RDG del maíz (Gómez-Cerna et al. 2021).

El NMP en condiciones con y sin fertilización, y el IDD y el PCS sin fertilización, presentaron correlaciones positivas con el RDG.

También, el NMP y el PCS, presentaron correlaciones negativas con el RDG, resultados que concuerdan con los de Barrios y Basso (2018), quienes estudiaron los efectos de la fertilización nitrogenada sobre los componentes del rendimiento del maíz. Esta situación se traduce que con el aumento del NMP se reduce el tamaño de los granos. Estas características importantes en la determinación del rendimiento del maíz también se encontraron relacionados con el estrés hídrico impuesto a la floración (Edmeades *et al.* (1999).

Conclusiones

El presente estudio consistió en evaluar el comportamiento agronómico y la adaptación de 16 variedades de maíz a la baja fertilidad del suelo. El análisis de la tolerancia a la baja fertilidad del suelo y las características evaluadas, permitieron identificar favorablemente a la variedad mejorada CENTA Pasaquina, y las criollas Indio Choluteca, Olotillo y Capulín, por presentar los mejores RDG bajo tratamientos con y sin fertilización en las condiciones de un suelo de baja fertilidad. En condiciones de baja fertilidad del suelo y sin fertilización, estas variedades tolerantes fueron las menos afectadas en su RDG, y tuvieron una respuesta favorable mediante el incremento de RDG con la fertilización. Estas variedades confirman sus capacidades de desarrollar y de producir un nivel de RDG aceptable en suelos de baja fertilidad y bajos niveles de fertilización utilizados por la mayoría de pequeños productores de maíz en Honduras; pero, también, responden de manera eficiente a la fertilización con incrementos en el RDG.

Los caracteres o rasgos secundarios como la ALP y APM, el ASM, y los componentes de RDG, el IDD y PCS, fueron los que presentaron valores más altos de correlación con el RDG de las variedades, por lo que, deben ser considerados en los programas de mejoramiento genético del maíz. Con base en los resultados de esta investigación, se debe

enfaticar en la selección de padres tolerantes a sequía y con la mejor adaptación a la baja fertilidad y respuesta a la fertilización expresada en el RDG, ALP y APM promedio, DFM, DFF y DMF relativamente tempranas, y mejor IDD, entre otros caracteres de interés en los programas de mejoramiento de maíz. Cabe resaltar la buena adaptación de algunas de las variedades criollas a las condiciones de baja fertilidad y respuesta favorable a la fertilización bajo la condición de un suelo con fertilidad limitada, lo que demuestra la importancia del rescate, conservación y uso de la diversidad genética representada por las variedades y razas de maíz.

Contribuciones de los autores

F. Pierre: Conceptualización de la investigación; planificación y supervisión de la investigación; recolección, procesamiento y análisis de datos; redacción de borrador original.

I.Y. Rodriguez: Conceptualización de la investigación; planificación, coordinación y supervisión de la investigación; recolección, procesamiento y análisis de datos; revisión de borrador original y artículo final.

R.W. Colbert: Conceptualización de la investigación; planificación y supervisión de la investigación; revisión de borrador original y artículo final.

J.C. Rosas: Conceptualización de la investigación; planificación y supervisión de la investigación; procesamiento y análisis de datos; revisión y edición de borrador original y artículo final.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundación Nippon por el financiamiento de esta investigación como parte de los requisitos de graduación de la Maestría en Agricultura Tropical Sostenible

(MATS) de la Universidad Zamorano del primer autor. También se agradece al personal la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC), Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria de la Universidad Zamorano, por sus contribuciones en esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Alori ET, Babalola OO, Prigent-Combaret C. 2019. Impacts of microbial inoculants on the growth and yield of maize plant. *The Open Agriculture Journal*. 13(1):1–8. doi:10.2174/1874331501913010001.
- Barrios M, Basso C. 2018. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz. *Bioagro*. 30(11):39–48. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=s1316-33612018000100004&script=sci_arttext.
- Bernal JH, Navas GE, Hernández RS. 2014. Requerimientos y respuestas a la fertilización del maíz en suelos de Sabanas Ácidas de Colombia. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 15(5):6–10. [http://www.ipni.net/publication/ia-la hp.nsf/0/EE5636022A70E26985257D7400608936/\\$FILE/Art%202.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-la hp.nsf/0/EE5636022A70E26985257D7400608936/$FILE/Art%202.pdf).
- Castellanos-Reyes MA, Valdés-Carmenate R, López-Gómez A, Guridi-Izquierdo F. 2017. Mediciones de índices de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz. *Cultivos Tropicales*. 38(3):112–116. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s0258-59362017000300016&script=sci_arttext&tlng=pt.
- Chain-Guadarrama A, Martínez-Rodríguez MR, Cárdenas JM, Vilchez-Mendoza S, Harvey CA. 2018. Adaptación basada en Ecosistemas en pequeñas fincas de granos básicos en Guatemala y Honduras. *Agronomía Mesoamericana*. 29(3):571–583.
- Chassaing-Ricciulli A, Barrientos-Acosta V, Hernández-Jiménez A. 2012. Obtención de una población de maíz para tolerancia a factores adversos en tres estados de Venezuela. *Bioagro*. 24(3):221–226.
- Chipomho J, Rugare JT, Mabasa S, Zingore S, Mashingaidze AB, Chikowo R. 2020. Short-term impacts of soil nutrient management on maize (*Zea mays* L.) productivity and weed dynamics along a toposequence in Eastern Zimbabwe. *Heliyon*. 6(10):e05223. [eng. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020320661](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020320661). doi:10.1016/j.heliyon.2020.e05223.
- Cunha ARD, Katz I, Sousa ADP, Martínez Uribe RA. 2015. Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de *Lisianthus* en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *Idesia (Arica)*. 33(2):97–105. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0718-34292015000200012&script=sci_arttext&tlng=en.
- Edmeades GO, Bolaños J, Chapman SC, Lafitte HR, Bänziger M. 1999. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: I. Gains in biomass, grain yield, and harvest index. *Crop Science*. 39(5):1306–1315. <https://scihub.cat/10.2135/cropsci1999.3951315x>. doi:10.2135/cropsci1999.3951306x.
- Eitzinger A, Läderach P, Sonder K, Schmidt A, Sain G, Beebe SE, Nowak A. 2013. Tortillas on the roaster: Central America's maize-bean systems and the changing climate. *CIAT Policy Brief*. 1–6.
- Esquivel-Quispe R. 2020. Propagación de hongos micorrizógenos arbusculares nativos y su influencia en la producción de maíz amiláceo en Paquecc-Ayacucho. Segunda parte: Hacia una

- agricultura sostenible. *Journal of the Selva Andina Biosphere*. 8(1):53–63. http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592020000100006&lng=en&tlng=es.
- Fahad S. 2018. Integrated nutrient management in corn production: Symbiosis for food security and grower's income in arid and semiarid climates. En: *Corn-production and human health*. p. 3–12. 2018. <https://www.intechopen.com/chapters/63570>.
- FAOSTAT. 2023. Statistical databases and data sets of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Agriculture Organization. <http://faostat.fao.org/default.aspx>.
- Fournier Fauchère JM. 2000. Technological gap for maize (*Zea mays* L.) cultivation in the Polochic watershed of Guatemala. ETH Zurich. en.
- Gómez-Cerna MJ, Colbert RW, Rodríguez IY, Rosas-Sotomayor JC. 2021. Comportamiento agronómico de accesiones de maíz de Honduras bajo estrés de sequía. *CEIBA. Zamorano Investiga*:36–51.
- Harris-Valle C, Esqueda M, Valenzuela-Soto EM, Castellanos AE. 2009. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Fitotecnia Mexicana*. 32(4):265–271.
- Llanes-Torres D, Pedro J, Xiomara SR, Juan F, Marlenis MC, Mildrey PM. 2015. Respuesta del maíz (*Zea mays*) a la aplicación de hongos micorrízico-arbusculares (HMA) y cantidades complementarias de fertilizantes minerales. *Ecosistema Ganadero*. 2(1,2):9–16.
- Martínez G, León-Castillo H. 2006. Efectos genéticos en híbridos de maíz tropical (*Zea mays* L.) III. Acame, mala cobertura y pudrición de mazorca. *Agron. Mesoam.* 7(1):47. doi:10.15517/am.v7i1.24788.
- Martínez JM, Landriscini MR, Minoldo GV, Galantini JA. 2016. Uso de un clorofilómetro para el diagnóstico de fertilización nitrogenada en la región del sudoeste bonaerense en trigo de secano sobre dos antecesores. *Ciencias Agronómicas*. 16:35–43. <http://rephip.unr.edu.ar/handle/2133/11418>.
- Rodríguez-López CP, Navarro de León A, Arboleda-Valencia JW, Valencia-Jiménez A, Roger H. Valle-Molinares RH. 2015. Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a plantas de *Zea mays* L. en un agroecosistema del Atlántico, Colombia. *Agronomía*. 23(1):20–34.
- Zea JL. 1992. Efecto de intercalar leguminosas con diferentes dosis de fósforo sobre el rendimiento de maíz, *Zea mays* L. en Centroamérica. *Agronomía Mesoamericana*. 3:16–22.