

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Sociedad Colombiana  
de la Ciencia del Suelo

DOI 10.47864/SE(53)2023p1-11\_168

## RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA E ÍNDICES DE COSECHA NUTRIMENTAL DE GRANO DE MAÍZ COMO RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE FERTILIZACIÓN SINTÉTICA Y ORGÁNICA

Yolanda Gonzalez-Contreras<sup>1</sup>, Hugo César Cisneros-López<sup>1</sup>, Víctor Manuel Montoya-Jasso<sup>2</sup>, Francisco Cervantes-Ortiz<sup>1</sup> y Jesús Manuel Arreola-Tostado<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Roque. Carretera Juventino Rosas-Celaya Km. 8. Roque, Celaya, Guanajuato, México. 38110.

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 56230.

<sup>3</sup>Consultor agrícola privado. Apaseo el Grande 114. Colonia Guanajuato, Celaya, Guanajuato, México. 38010.  montoya.victor@colpos.mx

En México, el maíz figura como uno de los cultivos básicos para consumo humano, donde los principales estados productores son Sinaloa, Jalisco, Michoacán y Guanajuato. La estrategia de manejo nutricional con apoyo de insumos orgánicos mejora las condiciones del suelo, así como la expresión potencial de las características de los cultivos. El objetivo del experimento fue la evaluación del efecto de la fertilización sintética y orgánica sobre la morfología del cultivo de maíz, su rendimiento, así como de la asimilación de nutrimentos para la expresión de calidad física de grano. El experimento se realizó en un sistema de producción a campo abierto en el municipio de Acámbaro, Guanajuato, México donde se evaluaron cinco tratamientos de fertilización bajo un diseño experimental de bloques al azar. Se midió el efecto en el rendimiento de grano, características morfológicas de la planta y la calidad física del grano de maíz. Los tratamientos bajo biofertilización orgánica mostraron los mejores rendimientos de grano con hasta 12.02 t ha<sup>-1</sup> y un índice de cosecha de 0.47 lo que se tradujo en una calidad física de grano aceptable, logrando un peso hectolítrico >74 kg hL<sup>-1</sup>. Asimismo, los índices de cosecha nutrimental de los tratamientos con biofertilización orgánica fueron superiores a los reportados para lograr rendimientos medios de 10 t ha<sup>-1</sup> de grano. La planta de maíz presentó características de adaptabilidad para asegurar su productividad, así como la calidad de biomasa y grano que se sostuvo mediante el correcto manejo agronómico de fertilización en los tratamientos donde se suministró biofertilizante orgánico.

## PALABRAS

## CLAVES:

biofertilizantes, peso hectolítrico, biomasa, absorción nutrimental

## YIELD, PHYSICAL QUALITY AND NUTRIMENTAL HARVEST INDEX OF CORN GRAIN AS A RESPONSE TO THE APPLICATION OF SYNTHETIC AND ORGANIC FERTILIZATION

## KEY WORDS:

biofertilizers, hectoliter weight, biomass, nutritional absorption

## ABSTRACT

In Mexico, corn appears as one of the basic crops for human consumption, where the main producing states are Sinaloa, Jalisco, Michoacán and Guanajuato. The nutritional management strategy with the support of organic inputs improves soil conditions, as well as the potential expression of crop characteristics. The objective of the experiment was the evaluation of the effect of synthetic and organic fertilization on the morphology of the corn crop, its yield, as well as the assimilation of nutrients for the expression of physical grain quality. The experiment was carried out in an open field production system in the municipality of Acámbaro, Guanajuato, Mexico where five fertilization treatments were evaluated under a randomized block experimental design. The effect on grain yield, morphological characteristics of the plant and the physical quality of the corn grain was measured. The treatments under organic biofertilization showed the best grain yields with up to 12.02 t ha<sup>-1</sup> and a harvest index of 0.47, which translated into an acceptable physical quality of grain, achieving a hectoliter weight >74 kg hL<sup>-1</sup>. Likewise, the nutritional harvest indices of the treatments with organic biofertilization were higher than those reported to achieve average yields of 10 t ha<sup>-1</sup> of grain. The corn plant presented characteristics of adaptability to ensure its productivity, as well as the quality of biomass and grain that was sustained through correct agronomic fertilization management in the treatments where organic biofertilizer was supplied.

Rec : 07/06/2023

Acep : 01/12/2023



## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) figura como uno de los cultivos básicos para consumo humano y animal a nivel mundial (Martínez-Reyes *et al.*, 2018). En México, y de acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2021), durante la década del 2010/2020 se sembraron alrededor de 7.5 millones de hectáreas de maíz con un rendimiento medio de 3.5 t ha<sup>-1</sup>, donde los principales estados productores son Sinaloa, Jalisco, Michoacán y Guanajuato con el 80% de la producción nacional de grano (Reyes-Santiago *et al.*, 2022).

Una de las recientes estrategias de manejo de los sistemas de producción agrícola es el manejo optimizado de la fertilización a partir de la caracterización puntual del suelo (Montoya-Jasso *et al.*, 2022), aunado con el empleo de biofertilizantes para mejorar de las condiciones del suelo y reducir los efectos de contaminación residual y degradación (Carcaño-Montiel *et al.*, 2016). El empleo de insumos orgánicos y biofertilizantes ha demostrado su potencial para satisfacer las demandas nutricionales de los cultivos, además de favorecer a la absorción de los mismos y reducir los costos de producción (Martínez-Reyes *et al.*, 2018; Reyes-Santiago *et al.*, 2022) al contribuir al

enriquecimiento de nutrimentos como nitrógeno y potasio y reducción de la salinidad del suelo (Pérez-Luna y Álvarez-Solís, 2021).

Acorde a lo anteriormente descrito, el objetivo del experimento fue la evaluación del efecto de la fertilización sintética y orgánica sobre la morfología del cultivo de maíz, su rendimiento, así como de la asimilación de nutrimentos para la expresión de calidad física de grano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en el municipio de Acámbaro, Guanajuato, México (20°07'14" LN y 100°43'31" LO) en un sistema de producción de maíz a campo abierto bajo riego por aspersión durante el ciclo agrícola primavera/verano 2022. Se estableció el híbrido *Dekalb 2069* y se evaluaron cinco tratamientos de fertilización (Tabla 1): un tratamiento absoluto sin fertilización, el tratamiento químico regional (300-75-150 kg ha<sup>-1</sup> de N-P-K) y tres dosis crecientes de biofertilizante orgánico. El biofertilizante orgánico a base de mosto de caña de azúcar presentó las características que se enlistan en la Tabla 2.

**Tabla 1.** Tratamientos de fertilización evaluados en el cultivo de maíz.

Tratamientos	Descripción	Clave	Dosis (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
1	Testigo absoluto	TA	--
2	Testigo químico regional	TQ	--
3	Biofertilizante orgánico	BO1	1.0
4	Biofertilizante orgánico	BO2	1.5
5	Biofertilizante orgánico	BO3	2.0

**Tabla 2.** Composición del biofertilizante orgánico a base de mosto de caña de azúcar.

Variable	Valor	Unidad
pH	6.66	---
Densidad aparente	1.22	Mg m <sup>-3</sup>
Nitrógeno total	1.03	
Fósforo	0.65	%
Potasio	6.92	
Calcio	10 200	mg kg <sup>-1</sup>
Magnesio	7 840	
Materia orgánica	34.05	
Materia seca	48.10	
Cenizas	19.50	%
Humedad	37.00	

Las descripciones de los parámetros medidos se describen en la Tabla 3:

**Tabla 3.** Variables medidas y metodologías aplicadas para la caracterización del cultivo de maíz.

Variabes	Unidad	Metodología
<b>Altura</b>	m	Se empleó una cinta métrica flexible para tomar el dato desde la base del suelo hasta el entrenudo de inicio de panícula. Cada una de las unidades experimentales se trilló, posteriormente se separó la paja y el grano para pesar cada parte por separado en una balanza analítica. Para el rendimiento, se ajustó la humedad al 14% mediante la siguiente ecuación:
<b>Biomasa seca y rendimiento</b>	t ha <sup>-1</sup>	$P2 = \left( \frac{(100 - CH1)}{86} \right) * P1$ <p>Dónde: P1: peso de campo, P2: peso ajustado al 14% de humedad y CH1: contenido de humedad del grano al momento de cosecha.</p> <p>Mediante la siguiente relación:</p>
<b>Índice de cosecha</b>	-----	$IC = \frac{\text{Rendimiento de grano (t ha}^{-1}\text{)}}{\text{Biomasa seca total (paja y grano) (t ha}^{-1}\text{)}}$
<b>Peso de mil granos</b>	g	Se contaron 100 granos, mismos que fueron pesados en una balanza analítica. El peso se multiplicó por diez para extrapolar el valor a 1 000 granos.
<b>Peso hectolítrico</b>	kg hl <sup>-1</sup>	Se evaluó con un determinador tipo Boerner, donde se colocó la semilla en el cono, posteriormente se dejó caer de manera libre a un recipiente graduado, el exceso de semilla se eliminó pasando una regla de madera en zig-zag, quedando la semilla al ras del recipiente. Una vez que se llenó el recipiente se colocó en el gancho de la balanza Ohaus y se tomó el peso; este procedimiento se siguió de

**Nitrógeno  
de biomasa  
y grano**

acuerdo a lo propuesto por Moreno (1996). De manera adicional se corroboró el peso con una báscula electrónica. Se pesaron 0.10 g de cada muestra y se colocaron en tubos de digestión, se agregó 1.5 g de mezcla catalizadora y 3.5 mL de ácido sulfúrico concentrado para digerir por 45 minutos a una temperatura de 400 °C. Una vez digerido, se dejó enfriar para añadir 5 gotas de fenolftaleína al 1% y 40 mL de agua, posteriormente se destiló para recuperar el volumen en un matraz al que fue agregado 10 mL de ácido bórico al 4%. El producto obtenido de la destilación se tituló con ácido clorhídrico 0.02 M hasta lograr el cambio de coloración (Kjeldahl, 1883).

%

**Fósforo de  
biomasa y  
grano**

Las muestras se prepararon mediante digestión ácida utilizando 0.25 g de masa a las que se agregaron 5 mL de mezcla ácida (ácido nítrico al 65% y ácido perclórico al 70%, en relación 2:1), posteriormente se colocaron en un digestor a una temperatura de 220 °C durante 2 horas. Una vez enfriadas las muestras, se aforó a un volumen de 25 mL con agua destilada y se agitaron para homogeneizar la solución (Ogner, 1983). Cuando la muestra está completamente transparente, se toman 2 mL de alícuota y se coloca en un matraz para agregar 2 mL de solución patrón fosfato y 18 mL de solución de trabajo para desarrollar color. Se mantiene en reposo por 20 minutos para, posteriormente, leer la absorbancia con ayuda de un espectrofotómetro calibrado a 660 nm de longitud de onda (Murphy y Riley, 1962).

**Potasio de  
biomasa y  
grano**

De la solución homogeneizada, preparada por digestión ácida, se tomaron alícuotas de 0, 2.5, 5, 10, 20 y 30 mL a las que se agregó 5 mL de ácido perclórico y se aforó a 250 mL con agua destilada. La medición se realizó por emisión en llama de alta temperatura a una longitud de onda de 766 nm (Isaac y Keber, 1971).

El suelo donde se estableció el ensayo se muestreó a una profundidad de 0 a 40 cm, presentó una clasificación textural franco arcillosa, se identificó como un vertisol y presentó los siguientes valores en su caracterización química y física donde resalta su bajo contenido de materia orgánica y su pH neutro (Tabla 4):

**Tabla 4.** Caracterización química y física del suelo del sitio experimental.

Arena	Limo (%)	Arcilla	Densidad aparente (Mg m <sup>-3</sup> )	pH	Materia orgánica (%)	N	P	K (mg kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg
22	40	38	1.3	7.05	1.49	6.5	7.73	444	4682	785

Las variables se analizaron mediante un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento, se utilizó la prueba de Tukey (p≤ 0.05) para

el análisis de separación de medias. Los análisis estadísticos se realizaron con el apoyo del software estadístico SAS® ver. 9.3.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracteres de rendimiento y físicos de grano

La Tabla 5 muestra diferencias estadísticamente significativas para la variable de altura de planta; donde las plantas del testigo absoluto (TA) obtuvieron la menor altura con 2.14 m que les confiere tolerancia al acame (Conceição-dos Santos *et al.*, 2019), caso contrario, el tratamiento BO2 propició una mayor altura en las plantas por el aporte de materiales con potencial regulador de crecimiento como lo son los fertilizantes orgánicos que contienen microorganismos (Zermeño-González *et al.*, 2015). Por su parte, Coral-Valenzuela *et al.*, (2019) mencionan que, dada la genética de cada variedad, las características morfológicas tienden a ser distintas, en éste caso, la altura de las plantas del TA se vio reducida en un 23.5% en comparación con la altura media de 2.80 m que se reporta para la variedad *Dekalb 2069*.

**Tabla 5.** Variables de rendimiento y calidad física de grano de maíz.

Tratamientos	Altura total (m)	Biomasa seca (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Índice de cosecha	Peso mil granos (g)	Peso hectolítrico (kg hL <sup>-1</sup> )
TA	2.14 b	11.66 a	6.66 b	0.36 c	285.22 c	72.55 b
TQ	2.77 a	13.14 a	11.00 a	0.45 a	290.25 b	75.60 a
BO1	2.85 a	12.94 a	10.11 a	0.43 b	308.50 b	76.65 a
BO2	2.95 a	13.55 a	12.02 a	0.47 a	331.22 a	76.52 a
BO3	2.80 a	13.44 a	11.00 a	0.44 a	322.72 a	76.37 a
<b>DSH (0.05)</b>	0.49	3.36	3.35	0.03	19.04	3.76
<b>CV (%)</b>	8.16	11.52	14.65	3.41	2.74	2.21

Valores con literales diferentes en la misma columna son significativamente diferentes. DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación

De acuerdo con Olalde-Gutiérrez *et al.*, (2000), el rendimiento está directamente relacionado a la biomasa generada, resaltando el número de hojas; ya que a través de las hojas se efectúa una tasa fotosintética más eficiente y se obtendrán mejores respuestas morfológicas y de producción, así como plantas más vigorosas (Arboleda, 2011). Lo anterior explica los rendimientos mayores en los tratamientos donde se obtuvo una mayor biomasa (TQ, BO1, BO2 y BO3) (Tabla 5), sobresaliendo el tratamiento BO2 con 12.02 t ha<sup>-1</sup> de grano y 13.55 t ha<sup>-1</sup> de

biomasa, efecto que se atribuye a la estimulación del crecimiento radicular para consumo de formas asimilables de N-P-K (Martínez-Reyes *et al.*, 2018). Con respecto al índice de cosecha, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, donde el mayor índice se encuentra el tratamiento BO2 con una representatividad del 47% para la producción de grano y un 53% para la producción de biomasa (Tabla 5) lo que posiciona a la variedad empleada como apropiada para su adaptabilidad y producción bajo el empleo de biofertilización orgánica como insumo conservador de las características del cultivo de maíz (Guamán-Guamán *et al.*, 2020).

Se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos estudiados para peso de mil granos; donde los tratamientos BO2 y BO3 presentaron los mayores valores con 331.22 y 321.72 g, seguido por los tratamientos BO3 y TQ, por último, el TA presentó el peor comportamiento. Fernández *et al.*, (2015) mencionaron que el ambiente de producción tiene efecto en la calidad física de la semilla, ya que ambientes favorables propician mayor peso de la misma. Además, el peso de mil granos es el comportamiento directo de mayor importancia en la selección indirecta del rendimiento para seleccionar genotipos. Del mismo modo, Kandrov *et al.*, (2019), mencionaron que debe tenerse en cuenta que la morfología del grano puede ser alterada negativamente por siembras tardías, deficiencia de nitrógeno, deficiencia en el abasto de agua y en el llenado de grano por temperaturas altas o bajas. En este mismo contexto, Pomortsev *et al.*, (2019) y Giunta *et al.*, (2017), mencionan que el mayor peso de grano es fuertemente afectado por factores genéticos y ambientales.

Los tratamientos que presentaron mayores valores de peso hectolítrico o

volumétrico fueron el TQ y todos los fertilizantes orgánicos (BO1, BO2 y BO3), sin presentar diferencias estadísticas significativas entre ellos. En este sentido, el tratamiento testigo absoluto (TA) presentó el valor más bajo con 72.55 kg hL<sup>-1</sup>. Estos resultados coinciden a los reportados por Bautista *et al.*, (2007) en un estudio que involucró genotipos y fertilización en maíz. Por otro lado, Vázquez-Carrillo *et al.*, (2012) encontraron que en ambientes con alta precipitación el peso hectolítrico es bajo, y en los de baja precipitación el peso hectolítrico es relativamente alto. Es importante mencionar que los tratamientos que mostraron valores superiores de peso hectolítrico en esta investigación (TQ, BO1, BO2 y BO3) superaron el valor indicado en la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-036-1996 ( $\geq 74$  kg hL<sup>-1</sup>) que considera grano de alta calidad industrial y de dureza intermedia.

#### **Contenido macroelemental de biomasa y grano e índices de cosecha**

Se encontraron diferencias estadísticas significativas para el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en biomasa. El máximo contenido de nitrógeno en biomasa se obtuvo en el tratamiento BO3 (2.50%), muy similar al contenido del tratamiento BO2 (2.49%) (Tabla 6), lo que indica una eficiencia mayor para la asimilación de nitrógeno por el cultivo (Aguilar-Carpio *et al.*, 2016). La tendencia hacía los mayores contenidos nutrimentales en biomasa para el tratamiento BO2 continúan para el fósforo y potasio, compartiendo con el tratamiento BO3 en cuanto al contenido de fósforo (0.34 y 0.36%, respectivamente) y un 2.14% de potasio (Tabla 6). Lo anterior concuerda con lo reportado por Barbieri *et al.*, (2003) quienes hacen mención a incrementos en el contenido nutrimental en biomasa por efectos del empleo de insumos con un grado elevado de eficiencia y al uso de

variedades con alto potencial de asimilación/extracción nutrimental.

**Tabla 6.** Contenido nutrimental en biomasa seca y grano de maíz.

Tratamientos	Nitrógeno		Fósforo		Potasio	
	Biomasa	Grano	Biomasa	Grano	Biomasa	Grano
TA	1.98 b	0.72 c	0.28 b	0.20 a	1.92 a	1.25 a
TQ	2.47 a	1.05 b	0.33 a	0.22 a	2.11 a	1.11 a
BO1	2.41 a	1.07 b	0.34 a	0.20 a	2.08 a	0.81 b
BO2	2.49 a	1.61 a	0.34 a	0.21 a	2.14 a	0.82 b
BO3	2.50 a	1.47 a	0.36 a	0.22 a	2.06 a	0.91 b
DSH (0.05)	0.13	0.31	0.07	0.04	0.32	0.24
CV (%)	2.54	11.89	9.74	10.35	6.95	11.03

Valores con literales diferentes en la misma columna son significativamente diferentes. DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación.

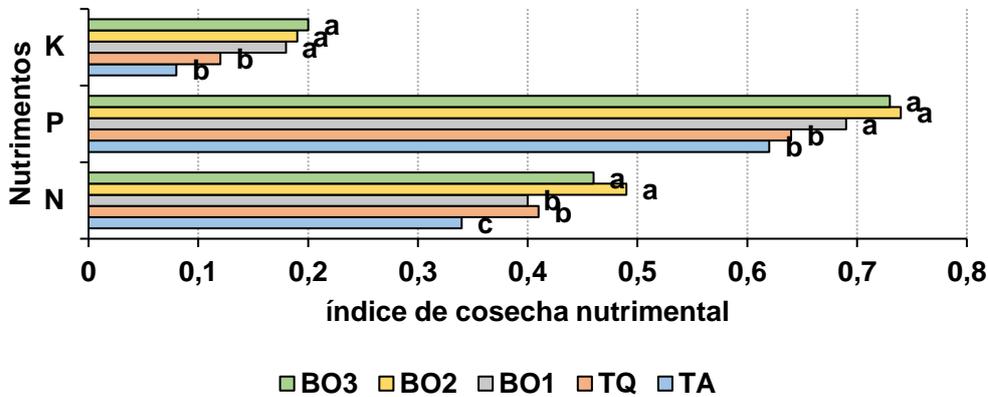
Los contenidos de nitrógeno y potasio en grano mostraron diferencias estadísticas significativas, no así el contenido de fósforo que se mantuvo entre 0.20 y 0.22% (Tabla 6). Resultados similares fueron reportados por Bódit *et al.*, (2008) donde el elemento se encontró dentro de lo requerido para facilitar su industrialización y procesamiento (Gwirtz y García, 2014). Los menores contenidos de potasio en grano se presentaron en los tratamientos BO1, BO2 y BO3 (Tabla 6) como respuesta a la variabilidad de la dosificación en unidades de potasio suministradas. De acuerdo con Martínez *et al.*, (2017), el consumo, asimilación y contenido de nutrimentos se define por la variabilidad genética, así como de las condiciones ambientales y edáficas de la región, en conjunto con la forma química del fertilizante empleado (Montoya-Jasso *et al.*, 2019). Con respecto al contenido de nitrógeno en grano, el tratamiento BO2 obtuvo el mayor contenido con 1.61%. Sobresale la similitud entre los tratamientos TQ y BO1 con 1.05 y 1.07%,

respectivamente, donde se revela un leve incremento en el rendimiento de grano por el tratamiento TQ posiblemente generado por la satisfacción oportuna y rápida de nutrientes que ocasionan los fertilizantes sintéticos (Chan-Chan *et al.*, 2020), dado que los fertilizantes orgánicos deben su acción a la mineralización de los elementos que contienen siendo un proceso más prolongado en función de su tasa de mineralización (Montoya-Jasso *et al.*, 2019) en comparación con los fertilizantes sintéticos.

Existieron diferencias estadísticas significativas para los índices de cosecha nutrimentales en general (Figura 1), donde la DSH (0.05) fue de 0.06, 0.09 y 0.04 para N, P y K, respectivamente. El índice de cosecha de nitrógeno en el grano de maíz en el tratamiento BO1 fue ligeramente bajo en comparación con los reportados por Zamudio-González *et al.*, (2016) quienes obtuvieron un índice de cosecha de nitrógeno de 0.45, resultando cercano al que menciona Ciampitti *et al.*,

(2010) para contar con una producción aproximada de 10 t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz. Siendo superiores los índices de cosecha de nitrógeno de los tratamientos BO2 y BO3 (0.46-0.49) (Figura 1), el rendimiento generado incrementó en

hasta dos t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz (Tabla 5) lo que concuerda con lo reportado por Martínez-Cruz *et al.*, (2017) donde expone mejoras en la extracción nutrimental debido al manejo eficiente de la fertilización.



**Figura 1.** Índices de cosecha nutrimental de grano de maíz.

El empleo del biofertilizante orgánico a base de mosto de caña de azúcar potenció el contenido de elementos como nitrógeno, fósforo y potasio en el tejido vegetal del maíz aún con la desventaja ambiental que afectó a todo el experimento, siendo el aporte de humedad el que se pudo controlar con mayor facilidad por la tecnificación del sistema agrícola. Sin embargo, los contenidos nutrimentales en grano se vieron afectados a tal grado de no exponer su mayor potencial productivo, aunque conservaron características que los catalogó como aptos para cuestiones de procesamiento industrial lo que posicionó al biofertilizante orgánico como fuente optativa para la nutrición integral del cultivo de maíz.

### AGRADECIMIENTOS

A la empresa SAFMEX S.A. de C.V. del Grupo Lesaffre por el financiamiento para diseñar, ejecutar y dar seguimiento al experimento en sus diversas etapas. A la Lic. Ernestina Serrano Jasso, productora de maíz en el municipio de Acámbaro, Guanajuato, México, por facilitar el

predio, así como la infraestructura material y humana para culminar con éxito este experimento. Al Lic. Guillermo Rendón Santana por su apoyo en los trabajos de campo, aplicación de tratamientos y toma de datos.

### REFERENCIAS

AGUILAR-CARPIO C., ESCALANTE-ESTRADA J.A.S., AGUILAR-MARISCAL I., MEJÍA-CONTRERAS J.A., CONDE-MARTÍNEZ V.F. Y TRINIDAD-SANTOS A. 2016. Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*. 34: 419-429.

ARBOLEDA M. 2011. Efecto de la irradiancia en el crecimiento y desarrollo de *Aptenia cordifolia* (L.f.) Schwantes como cobertura ornamental, Venezuela. *Revista Bioagro*, 23(3), 175-184.

BARBIERI P., ECHEVERRÍA H.E., y SAINZ-ROZAS H.R. 2003. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la

fuerza y al método de aplicación de nitrógeno. Cien. Suelo 21: 18-23.

BÓDIT Z., PEPÓ P., KOVACS A., SZÉLES E. AND GYÓRI Z. 2008. Macro and microelement contents of blue and red kernel corns, Cereal Research Communications. 36: 147-155. <https://doi.org/10.1556/CRC.36.2008.1.15>

CARCAÑO-MONTIEL M.G., FERRERA-CERRATO R., PÉREZ-MORENO J., MOLINA-GALÁN J.D., Y BASHAN. Y. 2006. Actividad nitrogenasa, producción de fitohormonas, sideróforos y antibiosis en cepas de *Azospirillum* y *Klebsiella* aisladas de maíz y teocintle. Terra Latinoamericana, 24, 493-502.

CHAN-CHAN M., MOGUEL-ORDÓÑEZ Y., GALLEGOS-TINTORÉ S., CHEL-GUERRERO L. Y BETANCUR-ANCONA D. 2020. Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. 23(2): 11-21. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1334>

CIAMPITTI I.A., BOXLER M. Y GARCÍA F.O. 2010. Nutrición de maíz: requerimientos y absorción de nutrientes. Informaciones agronómicas. 48. 14-18.

CONCEIÇÃO-DOS SANTOS L.F., GARRUÑA R., ANDUEZA-NOH R.H., LATOURNERIE-MORENO L., MIJANGOS-CORTÉS J.O. Y PINEDA-DOPORTO A. 2019. Comportamiento agronómico y fisiológico de maíces nativos del sureste de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 10(6): 1247-1258. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.908>

CORAL-VALENZUELA J.V., ANDRADE-BOLAÑOS H.J., PUMISACHOGUALOTO M.M., CALCEDO-CHAVEZ J.D. Y SALAZAR-VUZIETE D.R. 2019. Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L) en la zona media de la Parroquia Malchinguí. Avances en Ciencias e Ingenierías. 11(17). 40-49. <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1091>

FERNÁNDEZ S. R., A. CARBALLO C., H. E. VILLASEÑOR M. Y A. HERNÁNDEZ L. 2015. Calidad de semilla de trigo de temporal en función del ambiente de producción. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6:1239- 1251, <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i6.573>

GIUNTA F., MOTZO R., VIRDIS A. AND CABIGLIERA A. 2017. The effects of forage removal on biomass and grain yield of intermediate and spring triticales. Field Crops Research 200: 47-57.

GUAMÁN-GUAMAN R.N., DESIDERIO-VERA T.X., VILLAVICENCIO-ABRIL A.F., ULLOA-CORTAZAR S.M. Y ROMERO-SALGUERO E.J. 2020. Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. Siembra. 7(2). 47-56. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>

GWIRTZ J.A. AND GARCÍA M.N. 2014. Processing maize flour and corn meal food products, Annals of the New York Academy of Sciences. 1312: 66-75. <https://doi.org/10.1111/nyas.12299>

ISAAC R.A. AND KERBER J.D. 1971. Atomic Absorption and Flame Photometry: Techniques and Uses in Soil, Plant and Water Analysis. In: Walsh, L.M., Ed. Instrumental Methods for Analysis of

Soil and Plant Tissues, SSSA, Madison, 17-37.

KANDROKOV R.K. 2019. Technological properties of wheat– triticale flour, Vestn. Yuzhno-Ural. Gos. Univ., Ser.: Pishch. Biotekhnol, vol. 7, no. 3, pp. 13–22.

KJELDAHL J.G.C.T. 1883. Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen korpern. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 22, 366-382.

<http://dx.doi.org/10.1007/BF01338151>

MARTÍNEZ-CRUZ M., ORTIZ-PÉREZ R. Y RAIGÓN M.D. 2017. Contenido de fósforo, potasio, zinc, hierro, sodio, calcio y magnesio: análisis de su variabilidad en accesiones cubana de maíz. Cultivos tropicales. 38(1): 92-101.

MARTÍNEZ-REYES L., AGUILAR-JIMÉNEZ C.E., CARCAÑO-MONTIEL M.G., GALDÁMEZ-GALDÁMEZ J., GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ A., MORALES-CABRERA J.A., MARTÍNEZ-AGUILAR F.B., LLAVEN-MARTÍNEZ J. Y GÓMEZ-PADILLA E. 2018. Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. Siembra. 5(1): 001-012.

<https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>

MONTOYA-JASSO V.M., ORDAZ-CHAPARRO V.M., BENEDICTO-VALDÉS G.S., RUIZ-BELLO A. Y ARREOLA-TOSTADO J.M. 2019. Evaluation of substrates mineralization by C-CO<sub>2</sub> flux under nitrogen fertilization. Suelos Ecuatoriales. 49:(1 y 2). 19-28.

[https://doi.org/10.47864/SE\(49\)2019p19-28\\_101](https://doi.org/10.47864/SE(49)2019p19-28_101)

MONTOYA-JASSO V.M., ORDAZ-CHAPARRO V.M., BENEDICTO-VALDÉS G.S., OJEDA-TREJO E. Y GUTIÉRREZ-CASTORENA E.V. 2022. Atributos químicos para definir la aptitud

agrícola de vertisoles del bajío mexicano. Suelos Ecuatoriales. 52:(1 y 2). 130-136. [https://doi.org/10.47864/SE\(52\)2022p130-139\\_163](https://doi.org/10.47864/SE(52)2022p130-139_163)

MURPHY K. AND RILEY J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta. 27. 31-36. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)

OGNER G. 1983. Digestion of plants and organic soils using nitric acid, hydrogen peroxide and UV radiation. Comm. In Soil Sci. and Plant Anal. 14. 936-943.

OLALDE-GUTIÉRREZ V.M., ESCALANTE-ESTRADA J.A., SÁNCHEZ-GARCÍA P., TIJERINA-CHÁVEZ L., MASTACHE-LAGUNAS A.A. Y CARREÑO-ROMÁN E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido, México. Revista Terra, 18(4), 313-323.

PÉREZ-LUNA Y.C. Y ÁLVAREZ-SOLIS J.D. 2021. Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de maíz en parcelas con y sin cobertura vegetal. Idesia. 39(4). 29-38. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000400029>

POMORTSEV A.V., DOROFEEV V.N., ZORINA S.Y., KATYSHEVA B.N. AND SOKOLOVA G.L. 2019. The effect of planting date on Winter rye and triticale overwinter survival and yield in Eastern Siberia. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 315 042031. AGRITECH. 5 pp.

PUGA A.P., PRADO DE M.R., MATTIUZ B.H., VALE W. DO D. Y FONSECA I.M. 2013. Chemical composition of corn and sorghum grains cultivated in oxisol with different application methods and doses

- of zinc. *Ciencia e Investigación Agraria*. 40(1): 97-108.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-16202013000100008>
- RETAS.D.G., CUETO W.J.A., GAYTÁN M.A. y SANTAMARÍA C.J. 2007. Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Rev. Agric. Téc. Méx.* 145-151.
- REYES-SANTIAGO E., BAUTISTA-MAYORGA F. Y GARCÍA-SALAZAR J.A. 2022. Análisis del mercado de maíz en México desde una perspectiva de precios. *Acta universitaria*. 32. e3265.  
<https://doi.org/10.15174/au.2022.3265>
- VÁZQUEZ-CARRILLO M.G., SANTIAGO-RAMOS D., SALINAS-MORENO Y., ROJAS-MARTÍNEZ I., ARELLANO-VÁZQUEZ J.L., VELÁZQUEZ-CARDELAS G.A. Y ESPINOSA-CALDERÓN A. 2012. Interacción genotipo-ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en valles altos de Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(3), 229.  
<https://doi.org/10.35196/rfm.2012.3.229>
- YU-KUI R., SHI-LING J., FU-SUO Z. AND JIAN-BO S. 2009. Effects of nitrogen fertilizer input on the composition of mineral elements in corn grain. *Agrociencia*. 21-27.
- ZAMUDIO-GONZÁLEZ B., TADEO-ROBLEDO M., ESPINOSA-CALDERÓN A., MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ N. Y TURRENT-FERNÁNDEZ A. 2016. Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(5): 1077-1089.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.233>
- ZEPEDA B.R., CARBALLO A.C., MUÑOZ A.O., MEJIA A.C., FIGUEROA B.S. Y GONZÁLEZ F.V.C. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad del nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 33(1):17-24.
- ZERMEÑO-GONZÁLEZ A., CÁRDENAS-PALOMO J.O., RAMÍREZ-RODRÍGUEZ H., BENAVIDES-MENDOZA A., CADENA-ZAPATA M. Y CAMPOS-MAGAÑA S.G. 2015. Fertilización biológica del cultivo de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12. 2399-2408.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i12.770>