RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, se puede observar que la fertilización química con *R. irregularis* y *A. brasilense* mostró diferencias significativas en la altura de la planta. Cabe señalar, que la mayor altura se encontró con *R. irregularis*, así como asociado con la fertilización química, los cuales mostraron diferencias respecto a los demás tratamientos. Esto indica la importancia de la nutrición química para promover un alargamiento celular del tallo en plantas de albahaca (Aguilar-Carpio *et al*., 2026). Por su parte, Aguilar *et al*. (2023) observaron que con la fertilización química (nitrofoska) en asociación con *Trichoderma harzianum* y *R. irregularis* se generó un incremento significativo en la altura de la planta de albahaca respecto al testigo sin aplicación.

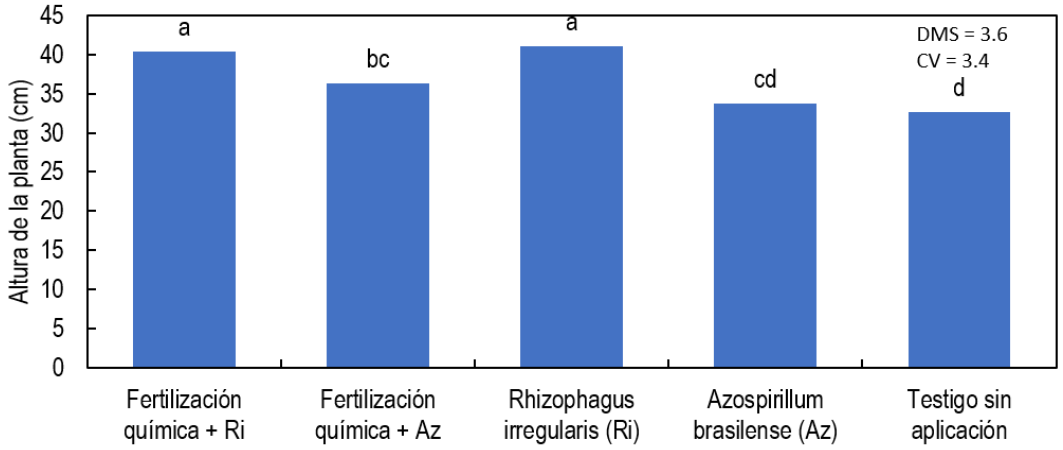

Figura 1. Efecto de la nutrición química y biológica en la altura de la planta de albahaca.

El área foliar aumentó de manera significativa por el efecto de fertilización química más los microorganismos (Figura 2). Puede apreciarse que la combinación del fertilizante químico y *R. irregularis* produjo la mayor área foliar, respecto a los microorganismos aplicados de forma individual y al testigo sin aplicación. Lo anterior señala, que la aplicación de fertilizantes químicos promueve un aumento en el área foliar, lo que directamente se relación con una mayor fotosíntesis, siendo uno de los procesos fundamentales de la planta para producir hojas (Aguilar-Carpio *et al*., 2026).

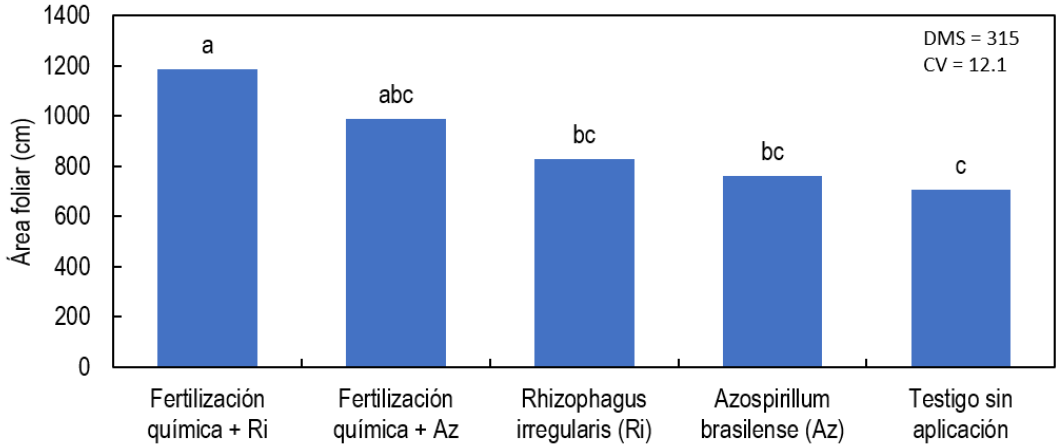

Figura 2. Efecto de la nutrición química y biológica en el área foliar de la planta de albahaca.

En cuanto al peso seco, la aplicación del fertilizante químico en mezcla con *A. brasilense* y *R. irregularis* lograron incrementar el peso de la planta en comparación a los biológicos solos (Figura 2). Efecto que también fue observado por Aguilar *et al*. (2023) quienes con la fertilización química (nitrofoska) en asociación con *Trichoderma harzianum* y *R. irregularis* se generó un incremento significativo en el peso seco de la planta de albahaca respecto al testigo sin aplicación. Lo anterior, indica que la generación del peso seco está directamente relacionada con la disponibilidad de los nutrimentos en el suelo, y a su vez con los microorganismos, que favorecieron la asimilación de nutrientes, generando un mayor peso de la planta.

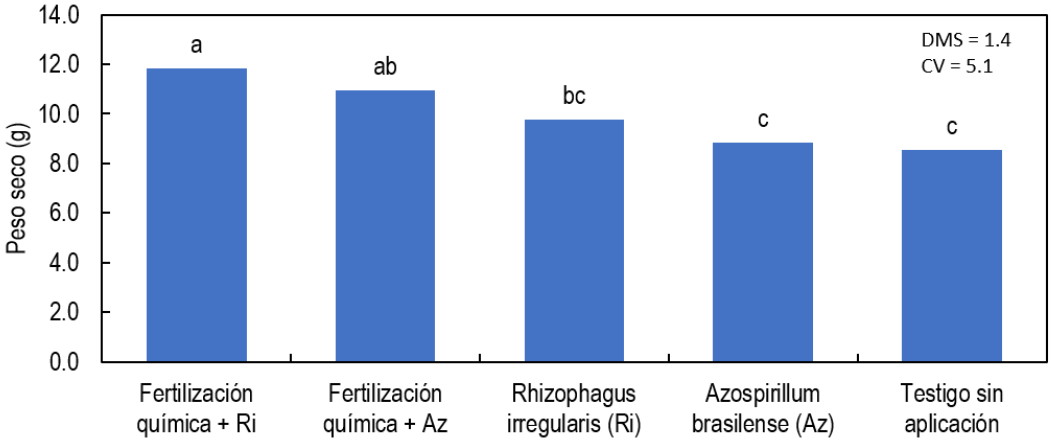

Figura 3. Efecto de la nutrición química y biológica en el peso seco de la planta de albahaca.

En el peso fresco se observó que la aplicación de la fertilización química en asociación con *A. brasilense* y *R. irregularis* presentaron los valores más altos, los cuales estadísticamente fueron diferentes al testigo sin aplicación y a *R. irregularis* (Figura 4). Estos resultados confirman el hecho que la fertilización química puede afectar de manera significativa la producción de las plantas de albahaca (Aguilar *et al*., 2023). Cabe señalar,

que la fertilización biológica no mostro efectos significativos con relación al testigo sin aplicación. La aplicación de fertilizantes químicos y biológicos influyó en el peso del dosel vegetal, lo cual se relaciona con una mayor calidad de producción comercial (Yépez-Hernández *et al*., 2016).

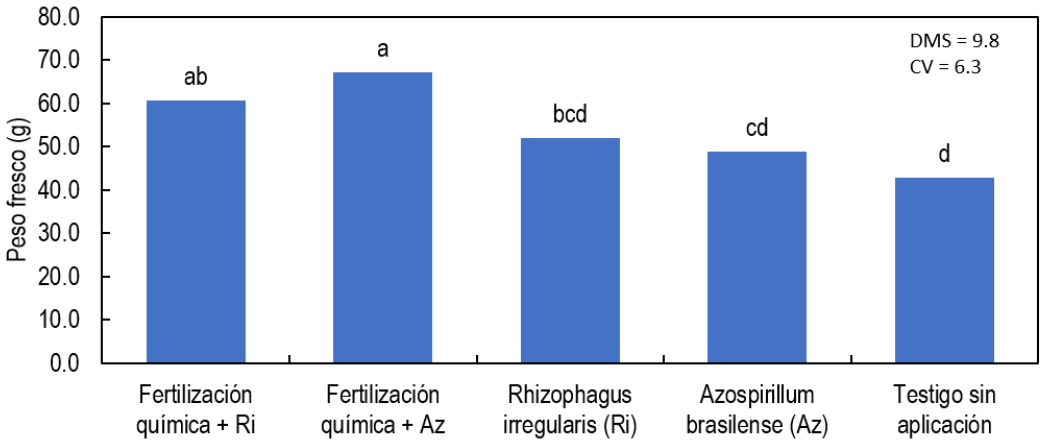

Figura 4. Efecto de la nutrición química y biológica en el peso fresco de la planta de albahaca.

CONCLUSIONES

Para la altura de la planta se observó que *Rhizophagus irregularis* solo y en mezcla con el fertilizante químico presento los valores más altos. La fertilización química en combinación *Rhizophagus irregularis* genero la mayor área foliar, peso seco y fresco. De acuerdo con los resultados encontrados, se sugiere complementar la nutrición química con microorganismos para obtener una mayor producción de albahaca.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilar-Carpio, C., Juarez-Lopez, P., Alia-Tejacal, I., López-Martínez, V., Pérez-Ramírez, A., & Escalante-Estrada, J. (2026). Basil (*Ocimum basilicum* L.) growth analysis in response to nitrogen concentration. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 29(2): 1-10. http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.6544

Aguilar, C. C., Cervantes, A. Y. F., Mendoza, P. M. F., Ruiz, A. A., Mendez, B. M., Pérez, R. A. & Escalante, E. J. A. S. (2023). Producción de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) con Relación a la Nutrición Química y Biológica. Artículos del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Fresnillo 2023. 7: 1-5.

Combatt-Caballero, E., Pérez-Polo, D., Villalba-Arteaga, J., Mercado-Lázaro, J. y Jarma-Orozco, A. (2020). Macronutrientes en el tejido foliar de albahaca *Ocimum basilicum* L. en respuesta a la aplicación de nitrógeno y potasio. Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica. 23(2): e1325.

Rueda, P. E. O., Ortega, G. J., Barrón, H. J. M., López, E. J., Murillo, A. B., Hernández, M. L. G., Alvarado, M. A. G. y Valdez, D. R. D. (2015). Los fertilizantes biológicos en la agricultura. Invurnus. 10(1): 10-17.

Ruiz, E. F. H., Hernández. E. R., Beltran, M. F. A., Zamora, S. S., Loya, R. J. G. y Luna, O. J. G. (2016). Macroalgas como componente en el sustrato para producción de plántula de albahaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 17: 3543-3555.

SAS (2003) Institute SAS/STAT user´s guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.

SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. SADER (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural). México. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/ (consultado en septiembre de 2025).

Vázquez-Vázquez, C., Ojeda-Mijares, G. I., Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P. y Antonio-González, J. (2015). Sustratos orgánicos en la producción de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y su calidad fitoquímica. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.16(8): 1833-1844.

Yépez-Hernández, F. J., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Delgadillo-Martínez, J., Mendoza-López, M. R. y García-Barradas, O. (2016). Fertilización nitrogenada en el crecimiento, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de albahaca. Revista Fitotecnia Mexicana. 39(1): 33-40.

AGRÍCOLAS
Tecnología de la producción

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

COMPORTAMIENTO DE LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE TRIGO HARINERO DE GLUTEN FUERTE BAJO DOSIS DE NITRÓGENO EN EL BAJÍO

Manuel Jeronimo Arriaga*[1]; Lourdes Ledesma Ramírez[2]; Ernesto Solís Moya[2]; Francisco Paúl Gámez Vázquez[2]; José Francisco Rodríguez Rodríguez [2]; Dagoberto Flores Marín[2]

[1]Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Roque. Carretera, Juventino Rosas – Celaya km. 8, 38110 Celaya Gto., México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México, km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, Gto. C.P. 38010. *Autor por correspondencia: jeross456@gmail.com.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar el comportamiento de los componentes de rendimiento de genotipos de trigo harinero de gluten fuerte bajo diferentes dosis de nitrógeno en la región del Bajío. El experimento se estableció durante el ciclo otoño-invierno 2024-2025 en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del INIFAP, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial y tres repeticiones. Se evaluaron cinco dosis de nitrógeno (0, 120, 180, 240 y 300 kg N ha^{-1}) en cinco variedades de trigo harinero de gluten fuerte: Cisne F2016, Bacorehuis F2015, Conatrigo F2015, Hans F2019 y Noreste F2018. Las variables analizadas fueron días a espigamiento, días a madurez fisiológica, altura de planta, roya amarilla, rendimiento de grano, peso de mil granos, índice de cosecha, biomasa, granos por metro cuadrado y espigas por metro cuadrado. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre genotipos para todas las variables evaluadas, lo cual evidencia una importante variabilidad genética en la respuesta agronómica. Las variedades Cisne F2016 y Hans F2019 registraron los mayores rendimientos de grano, con 7216 y 7148 kg ha^{-1}, respectivamente. Los resultados indican que la selección varietal tiene un mayor impacto sobre el rendimiento que el incremento excesivo de nitrógeno, el incremento de nitrógeno favoreció ligeramente el rendimiento y los componentes relacionados con biomasa y número de granos por metro cuadrado.

Palabras clave: *Fertilización nitrogenada, Triticum aestivum, Rendimiento de grano, Componentes de rendimiento*

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the performance of yield components in strong-gluten bread wheat genotypes under different nitrogen application rates in the Bajío region. The experiment was conducted during the 2024-2025 fall-winter growing season at the Bajío Experimental Field (CEBAJ) of INIFAP, using a randomized complete block design with a factorial arrangement and three replications. Five nitrogen application rates (0, 120, 180, 240, and 300 kg N ha^{-1}) were evaluated in five strong-gluten bread wheat varieties: Cisne F2016, Bacorehuis F2015, Conatrigo F2015, Hans F2019, and Noreste F2018. The variables analyzed were

days to heading, days to physiological maturity, plant height, yellow rust, grain yield, thousand-grain weight, harvest index, biomass, grains per square meter, and ears per square meter. Analysis of variance showed highly significant differences between genotypes for all evaluated variables, demonstrating significant genetic variability in the agronomic response. The varieties Cisne F2016 and Hans F2019 recorded the highest grain yields, with 7216 and 7148 kg ha^{-1}, respectively. The results indicate that varietal selection has a greater impact on yield than excessive nitrogen application; increased nitrogen application slightly favored yield and the components related to biomass and number of grains per square meter.

Keywords: *Nitrogen fertilization, Triticum aestivum, Grain yield, Yield components*

INTRODUCCIÓN

El trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial debido a su contribución en la seguridad alimentaria y a su papel como fuente principal de carbohidratos y proteínas para millones de personas (FAO, 2024). En México, la región del Bajío constituye una de las principales zonas productoras de trigo harinero bajo condiciones de riego (Ledesma-Ramírez, L.et al., 2012). Sin embargo, el incremento en los costos de fertilizantes y la necesidad de optimizar el uso del nitrógeno han generado interés en identificar variedades con alta eficiencia agronómica y mejor respuesta a diferentes niveles de fertilización (Zhang, Y., et al 2021)

Diversos estudios recientes han demostrado que la aplicación adecuada de nitrógeno incrementa significativamente el rendimiento del trigo; sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados puede disminuir la eficiencia de uso del nutriente y generar impactos negativos sobre el ambiente, tales como contaminación de cuerpos de agua, emisión de gases de efecto invernadero y degradación del suelo. Yokamo et al. (2023) realizaron un metaanálisis global sobre eficiencia de fertilización nitrogenada en trigo y reportaron que el rendimiento aumenta de manera curvilínea conforme se incrementa la dosis de nitrógeno, alcanzando los mayores beneficios entre 150 y 300 kg N ha^{-1}. No obstante, después de este umbral la respuesta tiende a disminuir, evidenciando que aplicaciones excesivas no necesariamente se traducen en mayores rendimientos.

Asimismo, Koppensteiner et al. (2022) señalaron que la fertilización nitrogenada influye sobre diversos componentes de rendimiento, particularmente en el número de granos y la producción de biomasa, aunque altas dosis de nitrógeno pueden reducir el peso de mil granos y el índice de cosecha cuando existen condiciones ambientales limitantes durante el llenado de grano. Estos autores también destacaron que factores ambientales como la temperatura y la disponibilidad de agua modifican la duración de las etapas fenológicas del trigo y condicionan la respuesta del cultivo a la fertilización.

En años recientes, la eficiencia del uso del nitrógeno se ha convertido en uno de los principales objetivos de investigación en cereales debido a la necesidad de mantener altos niveles de productividad con menor impacto ambiental. Estudios realizados por Kumar et al. (2023) demostraron que estrategias de manejo nitrogenado basadas en sensores y aplicaciones fraccionadas permiten incrementar la eficiencia de uso de nitrógeno y mejorar el rendimiento de distintas variedades de trigo. De igual manera, Lenoir et al. (2023) señalaron que los componentes de rendimiento del trigo presentan una elevada plasticidad fenotípica frente a la fertilización nitrogenada, particularmente en el número de granos por unidad de superficie y la biomasa acumulada.

Otro aspecto relevante asociado al nitrógeno es su influencia sobre la calidad del grano. Sharma et al. (2023) indicaron que la absorción y removilización de nitrógeno antes y después de antesis contribuyen significativamente tanto al rendimiento como a la concentración de proteína del grano en trigo. Esto es especialmente importante en variedades de gluten fuerte, donde el contenido y calidad de proteína determinan su valor industrial para la elaboración de pan y otros productos. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo general determinar el comportamiento de los componentes de rendimiento de genotipos de trigo harinero de gluten fuerte, bajo un manejo de fertilización nitrogenada en la zona del Bajío.

MATERIALES Y MÉTODOS

La siembra se llevó a cabo en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del INIFAP, ubicado en el Km 6.5 carretera Celaya-San Miguel Allende Celaya, Guanajuato, a 20° 32’ LN; 100° 48’ LO; con una altura de 1765 m.s.n.m.
El experimento se realizó durante el ciclo de otoño invierno (OI) 2024-2025. Se evaluaron cinco dosis de nitrógeno en cinco variedades de trigo harinero de gluten fuerte (*Triticum aestivum*), para dar un total de 25 tratamiento, con un calendario de cuatro riegos a los 0-45-75-100 días después de la siembra. Se sembró el día 6 de diciembre del 2024. Los ensayos fueron establecidos bajo el diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La siembra se hizo a una densidad de 120 kg ha^{-1}. Se aplicó la dosis de fertilización de cada tratamiento, la mitad de nitrógeno y todo el P_2O_5 a la siembra y el resto del nitrógeno en el primer riego de auxilio. Las fuentes empleadas fueron sulfato de amonio con 20.5% de N, y para fósforo Superfosfato de calcio simple. Las malezas de hoja angosta se controlaron con Topik 24EC® a los 28 días del riego de siembra y las de hoja ancha con Estarane a los 22 días y Esteron 47® a los 34 días. La cosecha se realizó con una cosechadora adaptada para parcelas experimentales, cuando el grano alcanzó un contenido de humedad entre 12 y 14 %. En el Cuadro 1 se muestran el orden de los tratamiento de las dosis de nitrógeno y las variedades donde la dosis de nitrógeno son A = 00; B = 120; C = 180; D = 240; E = 300; y las variedades a = Cisne F2016; b = Bacorehuis F2015; c = Conatrigo F2015; d = Hans F2019; e = Noreste F2018.

Cuadro 1. Distribución de tratamiento en dosis de nitrógeno y variedades de trigo de gluten fuerte.

Dósis de Nitrógeno	Trat 1	Variedades	Trat 2
00-60-00	A	Cisne F2016	a
00-60-00	A	Bacorehuis F2015	b
00-60-00	A	Conatrigo F2015	c
00-60-00	A	Hans F2019	d
00-60-00	A	Noreste F2018	e
120-60-00	B	Cisne F2016	a
120-60-00	B	Bacorehuis F2015	b
120-60-00	B	Conatrigo F2015	c
120-60-00	B	Hans F2019	d
120-60-00	B	Noreste F2018	e
180-60-00	C	Cisne F2016	a
180-60-00	C	Bacorehuis F2015	b
180-60-00	C	Conatrigo F2015	c
180-60-00	C	Hans F2019	d
180-60-00	C	Noreste F2018	e
240-60-00	D	Cisne F2016	a
240-60-00	D	Bacorehuis F2015	b
240-60-00	D	Conatrigo F2015	c
240-60-00	D	Hans F2019	d
240-60-00	D	Noreste F2018	e
300-60-00	E	Cisne F2016	a
300-60-00	E	Bacorehuis F2015	b
300-60-00	E	Conatrigo F2015	c
300-60-00	E	Hans F2019	d
300-60-00	E	Noreste F2018	e

Trat 1 = Dosis de Nitrógeno; Trat 2 = Variedades; A = 00; B = 120; C = 180; D = 240; E = 300; a = Cisne F2016; b = Bacorehuis F2015; c = Conatrigo F2015; d = Hans F2019; e = Noreste F2018

Las variables estudiadas en el experimento fueron:

Días a espigamiento (DE): se cuantificó en días, a partir del riego de siembra y hasta que el 50% de las plantas de cada parcela experimental tuvieron las espigas expuestas.

Altura de planta (AP): se midió en centímetros desde el cuello de la base de la planta, hasta la espiguilla terminal.

Días a madurez fisiológica (DM): días transcurridos del riego de siembra al momento en que el 50% de espigas y pedúnculos de las plantas presentaron un color dorado.

Rendimiento (RG): en gramos por parcela y se transformaron a kg ha^{-1}.

% de daño por roya amarilla (ROYA): porcentaje de daño tomado visualmente por la escala modificada de Coob.

IC (índice de cosecha):

$$Indice\ de\ cosecha = \frac{\text{Peso de grano de 100 tallos (gr)}}{\text{peso de 100 tallos (gr)}}$$

BIO (Biomasa):

$$Biomasa = \frac{\frac{\text{Rendimiento (Kg } ha^{-1})}{1000}}{\text{Indice de cosecha}}$$

Peso de 1000 granos (PMG): en gramos.

GPM2 (Granos por metro cuadrado):

$$Granos\ por\ metro\ cuadrado = \frac{\frac{\text{Rendimiento (Kg } ha^{-1})}{10}}{\frac{\text{Peso de mil granos (gr)}}{1000}}$$

EPM2 (Espigas por metro cuadrado):

$$Espigas\ por\ metro\ cuadrado = \frac{\frac{\text{Biomasa(t } ha^{-1})(100)}{Peso\ de\ 100\ tallos(gr)}}{100}$$

Con los datos obtenidos se realizó el análisis de varianza factorial y las comparaciones de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Cuadro 2), mostró diferencias altamente significativas entre genotipos para todas las variables evaluadas, incluyendo días a espigamiento, días a madurez fisiológica, altura de planta, roya amarilla, rendimiento, peso de mil granos, índice de cosecha, biomasa, granos por metro cuadrado y espigas por metro cuadrado. Para el factor de dosis de nitrógeno se mostraron diferencias altamente significativas en la variable de días a madurez. Estos resultados indican la existencia de una amplia variabilidad genética entre los materiales evaluados, lo cual coincide con lo reportado por Lenoir et al. (2023), quienes mencionan que los genotipos de trigo presentan una elevada plasticidad fenotípica frente al manejo nitrogenado y las condiciones ambientales.

Cuadro 2. Cuadrados medios de las variables estudiadas en el experimento y comportamiento de los componentes de rendimiento de genotipos de trigo harinero de gluten fuerte bajo dosis de nitrógeno en el Bajío

F. V	G.L	DE	DM	AP	Roya	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
DN	4	0.43	14.3 **	11.16	55.83	340797	9.84	0.003	7.2	4202819	4620
REP	10	0.34	9.06	22.33	47.66	941615	18.94	0.002	4.17	4420203	3115
GEN	4	443.5 **	173.55 **	106.16 **	4462 **	7993825 **	105.84 **	0.010 **	50.19 **	30728242 **	18592 **
DN*GEN	16	0.17	0.87	6.16	37.08	198622	12.38	0.003	8.37	1340831	3228
Error	40	0.29	1.23	5.66	42.66	299826	13.08	0.001	3.34	1867363	2180
Total	74										
CV		*0.68*	*0.87*	*2.71*	*50.24*	*8.42*	*7.93*	*11.15*	*9.96*	*9.5*	*11.85*
Media		80	127.62	87.6	13	6501	45.58	0.35	18.35	14381	393

FV = fuente de variación; G.L. = grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; DE = días a espigamiento; DM = días a madurez; AP= altura de planta; RG = rendimiento en kg ha^{-1}; PMG: Peso de mil granos; IC: Indice de cosecha; BIO: Biomasa; GPM2: Granos por metro cuadrado; EPM2: Espigas por metro cuadrado; **= diferencias altamente significativas; *= diferencias significativas, ns= no significativo.

Los análisis de comparación de medias en el nivel de nitrógeno aplicado (Cuadro 3), se observa que las dosis de nitrógeno únicamente afecto para días a madurez fisiológica, lo que indica que el incremento de nitrógeno prolongó ligeramente el ciclo del cultivo. Las dosis superiores a 120 kg N ha^{-1} incrementaron la madurez fisiológica de 126 a 128 días. Este comportamiento coincide con lo descrito por Koppensteiner et al. (2022), quienes señalaron que altas disponibilidades de nitrógeno pueden extender ciertas etapas fenológicas debido al aumento del crecimiento vegetativo.

Cuadro 3. Comparaciones de medias del nivel de nitrógeno aplicado en los genotipos de trigo harinero fuerte de las variables de estudio evaluados en el Bajío.

DN	DE	DM	AP	Roya	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
A (00)	80	126a	86	11	6277	47	0.36	17.62	13488	374
B (120)	80	128b	88	12	6522	45	0.35	18.72	14714	408
C (180)	80	128b	88	13	6446	45	0.36	18.19	14317	385
D (240)	80	128b	89	16	6586	45	0.38	17.89	14611	386
E (300)	80	128b	87	13	6674	45	0.35	19.36	14776	416
DHS	*0.56*	*1.15*	*2.48*	*6.81*	*571.00*	*3.77*	*0.04*	*1.90*	*1425.00*	*48.69*

DE = días a espigamiento; DM = días a madurez; AP= altura de planta; RG = rendimiento en kg ha^{-1}; PMG: Peso de mil granos; IC: Índice de cosecha; BIO: Biomasa; GPM2: Granos por metro cuadrado; EPM2: Espigas por metro cuadrado; DHS = diferencia honesta significativa

Los análisis de comparación de medias para genotipos (Cuadro 4), en las variables de estudio observadas para rendimiento de grano sugieren que el potencial productivo depende principalmente del componente genético de cada variedad. Los genotipos Cisne F2016 y Hans F2019 mostraron los mayores rendimientos, con 7216 y 7148 kg ha^{-1}, respectivamente, superando significativamente a Bacorehuis F2015. Esto puede atribuirse a una mayor eficiencia fisiológica y a una mejor capacidad para transformar biomasa en rendimiento económico

Cuadro 4. Comparación de medias de genotipos de trigo harinero fuerte de las variables de estudio, evaluados en el Bajío.

GEN	DE	DM	AP	Roya	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
a (Cisne F2016)	71b	122b	86b	2b	7216a	48c	0.39a	18.45c	15223c	406c
b (Bacorehuis F2015)	85a	131a	90a	43ª	5426b	43b	0.34b	16.28b	12554b	356b
c (Conatrigo F2015)	80c	127c	84b	6b	6408c	49a	0.39a	17.16b	13417c	367c
d (Hans F2019)	80c	128c	91a	3b	7148a	44c	0.34b	21.08a	16167a	396c
e (Noreste F2018)	84c	130a	87b	10c	6308c	43b	0.34b	18.83c	14545c	445a
DHS	*0.56*	*1.15*	*2.48*	*6.81*	*571.05*	*3.77*	*0.04*	*1.90*	*1425.00*	*48.69*

DE = días a espigamiento; DM = días a madurez; AP= altura de planta; RG = rendimiento en kg ha-1; PMG: Peso de mil granos; IC: Índice de cosecha; BIO: Biomasa; GPM2: Granos por metro cuadrado; EPM2: Espigas por metro cuadrado; DHS = diferencia honesta significativa

CONCLUSIÓN

Los resultados demostraron que el componente genético tuvo una mayor influencia sobre el rendimiento de grano y sus componentes que el incremento de las dosis de nitrógeno aplicadas. Las variedades Cisne F2016

y Hans F2019 destacaron por presentar los mayores rendimientos de grano, así como mejores valores en componentes asociados a productividad, biomasa y eficiencia fisiológica, además de mostrar menor incidencia de roya amarilla. Estos materiales evidenciaron una mejor adaptación a las condiciones agroambientales de la región y un uso más eficiente del nitrógeno disponible. Aunque el incremento de las dosis de nitrógeno favoreció variables como biomasa, granos y espigas por metro cuadrado, las diferencias en rendimiento no fueron estadísticamente significativas entre niveles de fertilización, lo que sugiere que aplicaciones excesivas de nitrógeno no garantizan incrementos proporcionales en productividad. Asimismo, la ausencia de interacción significativa entre dosis de nitrógeno y genotipos indica una respuesta relativamente estable de las variedades frente al manejo nitrogenado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAO. (2024). *The state of food and agriculture 2024*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org

Koppensteiner, L. J., Kaul, H. P., Piepho, H. P., Barta, N., Euteneuer, P., Bernas, J., Löschenberger, F., & Neugschwandtner, R. W. (2022). Yield and yield components of facultative wheat are affected by sowing time, nitrogen fertilization and environment. *European Journal of Agronomy, 140*, 126591. https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126591

Kumar, B., Shaloo, Bisht, H., Meena, M. C., Dey, A., Dass, A., Paramesh, V., Babu, S., Upadhyay, P. K., Prajapati, V. K., Chandanshive, A., Suna, T., Yadav, S. K., Saini, A. K., Dwivedi, N., Brahmanand, P. S., & Jha, A. K. (2023). Nitrogen management sensor optimization, yield, economics, and nitrogen use efficiency of different wheat cultivars under varying nitrogen levels. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 7*, 1228221. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1228221

Ledesma-Ramírez, Lourdes, Solís-Moya, Ernesto, Suaste-Franco, M. Pilar, Rodríguez-Caracheo, J. Fermín, & Cruz-Gonzalez, M. Lourdes de la. (2012). Análisis GGE BIPLOT del rendimiento de trigo (Triticum spp.) con riego normal y restringido en El Bajío, México. Agrociencia, 46(2), 119-131. Recuperado en 08 de mayo de 2026.

Lenoir, A., Slafer, G. A., Siah, A., & Dumont, B. (2023). Plasticity of wheat yield components in response to nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy, 150*, 126933. https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126933

Sharma, S., Kumar, T., Foulkes, M. J., Orford, S., Singh, A. M., Wingen, L. U., & Karnam, V. (2023). Nitrogen uptake and remobilization from pre- and post-anthesis stages contribute towards grain yield and grain protein concentration in wheat grown in limited nitrogen conditions. *CABI Agriculture and Bioscience, 4*(12), 1–14. https://doi.org/10.1186/s43170-023-00153-7

Slafer, G. A., Savin, R., & Sadras, V. O. (2020). Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research, 157*, 71–83. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.004

Yokamo, S., Irfan, M., Huan, W., Wang, B., Wang, Y., Ishfaq, M., Lu,D., Chen, X., Cai, Q., & Wang, H. (2023). Global evaluation of key factors influencing nitrogen fertilization efficiency in wheat: A recent meta-analysis (2000–2022). *Frontiers in Plant Science, 14*, 1272098. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1272098

Zhang, Y., Zhang, Y., Wang, Z., & Chen, J. (2021). Nitrogen use efficiency and sustainable wheat production under different nitrogen management strategies. *Agronomy, 11*(6), 1158. https://doi.org/10.3390/agronomy11061158

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE GENOTIPOS DE MAÍZ TROPICAL BAJO RIEGO NORMAL Y RESTRINGIDO

Oralia Antuna Grijalva[1*], Armando Espinoza Banda[1], Enrique Andrio Enríquez[2], Diana L. Vizcarra Manríquez[1], Jorge Quiroz Mercado[1], Blanca E. Zamora Martínez[1], Alejandro Moreno Resendez[1], Eulalio Delgado Rico[1] y Nancy Ogaz Camacho[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Periférico Raúl López Sánchez, Col. Valle Verde, Torreón, Coah., México, C.P. 27054, [2]Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan Av. Tecnológico No.21 San Bartolo, Tuxtepec, Oaxaca, México, C.P.68446. *Autor para correspondencia: antunagrijalvao019@gmail.com

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicado en Torreón, Coahuila, México. El material genético estuvo conformado por 50 genotipos de maíz tropical de ciclo tardío, procedentes del banco de germoplasma del Centro Internacional de Maíz y Trigo. La evaluación de los genotipos se realizó durante el ciclo primavera-verano 2025, bajo dos condiciones de humedad: 1) riego normal y 2) riego deficitario. Para ello, se empleó un diseño experimental alfa látice, integrado por 30 bloques y 5 tratamientos por bloque, distribuidos en tres repeticiones. Las variables analizadas fueron: floración masculina (FM), floración femenina (FF), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), acame de raíz (AR), cobertura (COB), aspecto de mazorca (AMZ), porcentaje de mazorcas podridas (MP), rendimiento de mazorca (RMZ. Los genotipos evaluados bajo condiciones de riego normal presentaron mayores valores en AP, AM y RMZ. Por el contrario, bajo riego deficitario, los materiales mostraron un ciclo más tardío, mayor acame de raíz. El genotipo T03 registró el mayor rendimiento, mostrando diferencias estadísticas significativas con respecto a los demás genotipos. Además, el aspecto de mazorca presentó una asociación positiva con el porcentaje de mazorcas podridas (0.77**); sin embargo, esta última variable aparentemente influyó de manera negativa sobre el rendimiento de mazorca (-0.61**).

Palabras clave: *Zea mays* L., *evaluación agronómica, riego normal, riego restringido*

ABSTRACT

The study was conducted at the experimental field of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, located in Torreón, Coahuila, Mexico. The genetic material consisted of 50 late-maturing tropical maize genotypes obtained from the germplasm bank of the Centro Internacional de Maíz y Trigo. The evaluation of the genotypes was carried out during the 2025 spring–summer growing season under two moisture conditions: 1) normal irrigation and 2) deficit irrigation. An alpha-lattice experimental design was used, consisting of 30 blocks and 5 treatments per block, distributed in three replications.

The variables evaluated were: male flowering (FM), female flowering (FF), plant height (AP), ear height (AM), root lodging (ART), plant cover (COB), ear appearance (AMZ), percentage of rotten ears (MP), ear yield (RMZ), senescence 1 (SEN1), and senescence 2 (SEN2). The genotypes evaluated under normal irrigation conditions showed higher values for AP, AM, and RMZ. In contrast, under deficit irrigation conditions, the materials exhibited a later growth cycle, greater root lodging, and increased senescence. Genotype T03 recorded the highest yield, showing statistically significant differences compared to the other genotypes. Furthermore, ear appearance was positively associated with the percentage of rotten ears (0.77**); however, this variable apparently had a negative influence on ear yield (-0.61**).

Keywords: Zea mays L., *agronomic evaluation, normal irrigation, deficit irrigation.*

INTRODUCCIÓN

La clasificación de los ambientes de cultivo del maíz se basa principalmente en las condiciones climáticas y la latitud donde se desarrolla el cultivo. Los maíces tropicales se cultivan entre la línea ecuatorial y los 30° de latitud norte y sur, mientras que los ambientes subtropicales se localizan entre los 30° y 34° de latitud. Además, los genotipos de maíz se agrupan en tropicales de tierras bajas, subtropicales de tierras bajas y media altitud, y tropicales de tierras altas, de acuerdo con su adaptación ambiental (Dowswell *et al*., 2018).

La adaptación de los genotipos no depende únicamente de la latitud y altitud, sino también de factores climáticos como la temperatura durante el ciclo de crecimiento. Asimismo, el Centro Internacional de Maíz y Trigo considera características adicionales para clasificar los mega ambientes del maíz, tales como el ciclo de madurez, el tipo y color de grano, debido a su influencia en la adaptación y aceptación de los materiales genéticos.

En las zonas tropicales y subtropicales, la productividad del maíz puede verse limitada por diversos factores abióticos, entre ellos la sequía, el exceso de humedad, la deficiencia de nitrógeno, la acidez del suelo, la toxicidad por aluminio y la salinidad. De estos factores, la escasez de agua representa una de las principales restricciones para la producción agrícola, lo que ha impulsado el desarrollo de estrategias para mejorar la eficiencia en el uso del agua. Entre estas destaca el Riego Deficitario Controlado (RDC), técnica que consiste en aplicar menores volúmenes de agua que los considerados óptimos, sin afectar significativamente el crecimiento y rendimiento del cultivo (Doorenbos y Kassam,1979).

El propósito de esta investigación fue evaluar 50 colectas de maíz tropical bajo condiciones de riego normal y deficitario, con el fin de identificar y seleccionar los genotipos más sobresalientes en función de su adaptación, potencial de rendimiento y características agronómicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético estuvo conformado por 50 genotipos de maíz tropical provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). La evaluación se realizó durante el ciclo primavera-verano 2025 en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicado en Torreón, Coahuila. El material genético se evaluó bajo condiciones de riego normal y restringido. Se utilizó un diseño alfa látice con 30 bloques y cinco tratamientos por bloque, distribuidos en tres repeticiones. La parcela experimental consistió en surcos de 5 m de longitud, con una separación de 0.75 m entre surcos y 0.25 m entre plantas.

Los caracteres evaluados fueron: días a floración femenina (FF), cuantificados como el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas presentaron estigmas receptivos; días a floración masculina (FM), determinados como el número de días desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas presentaron anteras dehiscentes; altura de mazorca (AM), medida en metros desde el nivel del suelo hasta el punto de inserción de la mazorca; y altura de planta (AP), registrada en metros desde el nivel del suelo hasta la hoja bandera.

El acame de raíz (AR) se evaluó considerando aquellas plantas caídas o desviadas más de 30° respecto a la vertical. La cobertura de mazorca (COBM) se registró como el número de mazorcas por parcela que, antes de la cosecha, presentaban alguna parte expuesta. Esta variable se calificó en una escala de 1 a 5, donde 1 correspondió a una cobertura excelente y 5 a una cobertura deficiente.

El aspecto de mazorca (AMZ) se calificó después de la cosecha, considerando daño por enfermedades e insectos, tamaño de mazorca, llenado de grano y uniformidad, utilizando una escala de 1 a 5, donde 1 representó la mejor calidad y 5 la más deficiente. La pudrición de mazorca (MP) se cuantifica al momento de la cosecha como el número de mazorcas con pudrición, expresándose en porcentaje con respecto al total de mazorcas cosechadas. El rendimiento de mazorca (RMZ) se obtuvo a partir del peso total de las mazorcas cosechadas por parcela, expresado en kilogramos.

El análisis de varianza de cada una de las variables evaluadas se realizó utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) (SAS Institute, 2002). Asimismo, se efectuó la comparación de medias mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) y un análisis de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presenta el análisis de varianza correspondiente a nueve variables evaluadas en 50 genotipos de maíz. Los resultados muestran diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.01) entre tratamientos para todas las variables analizadas. Asimismo, se detectaron diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.01) en la fuente de variación CR para todas las variables medidas, con excepción del aspecto de mazorca. Este resultado era esperado debido al origen genético de los tratamientos.

En la interacción CR×Trat, únicamente las variables floración femenina (FF) y altura de mazorca (AM) mostraron diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.01), en contraste con las demás variables evaluadas. Los coeficientes de variación fluctuaron entre 2.19 % para floración masculina (FM) y 51.8 % para la variable pudrición de mazorca (PM). El alto coeficiente de variación observado en las variables PM y AR posiblemente se deba a la metodología empleada, lo que generó una mayor dispersión de los datos respecto a la media. Por ello, se recomienda realizar una transformación de los datos para mejorar la precisión y el alcance del análisis de varianza (Rodríguez y Sánchez, 2024).

Cuadro 1. Análisis de varianza para nueve variables evaluadas para 50 genotipos de maíz tropical.

FV	CR	Rep(CR)	Blo(CR*Rep)	Trat	CRxTrat	Error	C.V.(%)	Media
gl	1	4	54	49	49	142		
FM	345.61**	7.42*	9.06**	186.03**	3.39	2.58	2.19	73.42
FF	1404.00**	55.00	57.11	155.55**	147.61**	46.63	8.78	77.70
AP	4.25**	0.73**	0.14**	0.25**	0.06	0.05	8.68	2.61
AM	1.04**	0.15*	0.11**	0.22**	0.10**	0.05	12.64	1.78
AR	11.60**	2.24**	0.54**	1.00**	0.28	0.31	32.42	1.74
COB	0.12**	0.05	0.04	0.16**	0.03	0.03	13.04	1.33
PM	6343.40**	520.07*	183.27*	623.58**	154.92	122.86	51.8	21.39
AMZ	0.52	4.31**	0.91**	2.59**	0.4	0.31	18.25	3.05
RMZ	45.8**	53.5**	6.81**	13.69**	1.42	1.73	25.65	5130.65

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación; CR: condición de riego normal y restringido, FM: días a floración femenina, FM: días a floración masculina, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, AR: acame de raíz, COB: cobertura de mazorca, PM: pudrición de mazorca, AMZ: aspecto de mazorca y RMZ: rendimiento de mazorca.

Con respecto al efecto de la condición de riego, los genotipos evaluados presentaron, en promedio, mayor altura de planta (AP), altura de mazorca (AM) y rendimiento de mazorca (RMZ) bajo riego óptimo. En contraste, bajo riego deficitario los

genotipos mostraron un ciclo más tardío, mayor acame de raíz y un rendimiento menor (Cuadro 2).

Los efectos descritos anteriormente pueden explicarse debido a que, en la condición de riego deficitario, a partir de los 50 dds se aplicó únicamente la mitad del agua suministrada en el riego óptimo. Esta condición de estrés hídrico tal vez promovió el desarrollo de plantas con menor vigor.

Cuadro 2. Efecto de la condición de riego en las variables evaluadas en 50 genotipos de maíz tropical.

Variables	Condición de riego	
	Óptimo	Restringido
FM	72.3 b	74.5 a
FF	75.5 b	79.9 a
AP	2.74 a	2.50 b
AM	1.85 a	1.73 b
AR	1.55 b	1.94 a
COB	1.36 a	1.32 b
PM	26.0 a	16.80 b
AMZ	3.10 a	3.01 a
RMZ	5521.40 a	4739.90 b

Los valores de la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, FM: días a floración femenina, FM: días a floración masculina, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, AR: acame de raíz, COB: cobertura de mazorca, PM: pudrición de mazorca, AMZ: aspecto de mazorca y RMZ: rendimiento de mazorca.

Los promedios de las nueve variables evaluadas en los 20 mejores tratamientos se presentan en el Cuadro 3. Se observa que, en el tratamiento 03, el 50 % de la floración masculina (FM) y femenina (FF) ocurrió a los 68.3 y 69.3 días, respectivamente, lo que lo posicionó como el material más precoz en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, el tratamiento 47 fue el más tardío, con 84.6 días a floración masculina y 91.3 días a floración femenina.

En cuanto a la altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM), los valores más altos se registraron en el tratamiento 50, con 3.08 m y 2.22 m, respectivamente. Le siguió el tratamiento 36, con 2.89 m de altura de planta y 2.02 m de altura de mazorca, así como el tratamiento 42, que presentó 2.82 m de altura de planta y 1.97 m de altura de mazorca. Estos resultados son característicos de híbridos establecidos bajo condiciones de manejo con riego (Espinosa-Calderón et al., 2018; Alonso-Sánchez et al., 2023; Gómez-Montiel et al., 2023).

El menor acame de raíz (AR) se registró en los tratamientos 03, 32, 16 y 23. En cuanto a la pudrición de mazorca (PM), los valores más bajos se observaron en el tratamiento 03 con 2.33 %, seguido de los tratamientos 31 y 23, con 11.17 % y 11.00 %, respectivamente. Por el contrario, la mayor incidencia de infección se presentó en los tratamientos 47 (29.17 %), 05 (20.33 %) y 24 (19.67 %). Se observó que el incremento en la pudrición de mazorca se asocia con una disminución en el rendimiento (González et al., 2007), situación que se refleja en estos materiales, ya que se ubicaron dentro del grupo de menor rendimiento en comparación con los demás tratamientos evaluados.

Respecto a la cobertura de mazorca (COB) y al aspecto de mazorca, los tratamientos presentaron valores aceptables de acuerdo con las escalas de evaluación empleadas, las cuales oscilaron de 1 a 5, donde 1 corresponde a una condición aceptable y 5 a una condición deficiente.

En relación con el rendimiento de mazorca (RMZ), los tratamientos 03 (10,560.0 kg ha^{-1}), 32 (8,213.3 kg ha^{-1}) y 11 (7,893.3 kg ha^{-1}) registraron los valores más altos en comparación con los demás tratamientos, lo que sugiere un buen potencial de adaptación y expresión productiva en diferentes ambientes. En contraste, el tratamiento 42 presentó el menor rendimiento, con 5,626.7 kg ha^{-1}.

Los tratamientos con mayor rendimiento fueron el 03 (10,560.0 kg ha^{-1}), 32 (8,213.3 kg ha^{-1}) y 11 (7,893.3 kg ha^{-1}), los cuales superaron al resto de los tratamientos evaluados. Estos resultados sugieren que dichos materiales poseen un buen potencial de adaptación y capacidad productiva en diferentes ambientes.

Cuadro 3. Promedio de los 20 mejores tratamientos de maíz tropical

Tratamientos	FM (d)	FF (d)	AP (m)	AM (m)	AR (%)	COB	PM (%)	AMZ	RMZ (kg ha^{-1})
03	68.30	69.3	2.38	1.48	0.78	1.20	2.33	1.17	10560.0
32	71.00	75.8	2.45	1.84	2.05	1.20	15.17	2.08	8213.3
11	68.20	71.0	2.55	1.74	1.78	1.33	12.83	2.33	7893.3
50	79.30	85.0	3.08	2.22	2.55	1.33	18.50	3.08	7706.6
28	72.00	75.3	2.76	1.84	1.71	1.20	12.33	2.25	7404.4
47	84.60	91.3	2.86	2.13	1.78	1.46	29.17	3.25	6328.9
27	71.60	78.5	2.54	2.05	0.93	1.20	17.17	2.50	6320.0
29	79.00	82.2	3.15	2.11	2.05	1.26	15.17	3.33	6320.0
16	69.16	73.5	2.61	1.70	1.26	1.20	18.83	2.67	6204.5
2	73.00	78.0	2.93	1.99	1.66	1.58	11.42	2.58	6177.8
10	70.50	74.5	2.53	1.73	2.05	1.60	18.33	2.92	6080.0
31	72.33	76.2	2.72	1.94	1.53	1.51	11.17	2.58	5991.1
5	71.00	75.2	2.59	1.85	2.01	1.58	20.33	2.83	5964.4
23	70.33	74.5	2.79	1.76	1.48	1.20	11.00	2.67	5946.7
26	71.16	75.3	2.39	1.61	1.13	1.26	13.50	2.83	5920.0
6	69.66	71.0	2.23	1.45	1.3	1.20	10.50	2.67	5840.0
36	71.66	75.3	2.89	2.02	1.51	1.20	12.17	2.75	5751.1
30	72.16	78.2	2.61	1.8	1.51	1.26	13.17	3.25	5688.9
24	72.83	78.5	2.54	1.86	1.71	1.20	19.67	2.92	5635.5
42	75.00	80.8	2.82	1.97	2.28	1.33	17.00	3.17	5626.6
MG	73.40	77.7	2.61	1.78	1.74	1.35	21.40	3.06	5130.7
MS	72.60	77.0	2.70	1.90	1.70	1.30	15.00	2.70	6578.7
DMS	3.79	16.1	0.53	0.53	1.33	0.41	26.14	1.31	3104.8

FM: días a floración femenina, FM: días a floración masculina, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, AR: acame de raíz, COB: cobertura de mazorca, PM: pudrición de mazorca, AMZ: aspecto de mazorca y RMZ: rendimiento de mazorca.

CONCLUSIONES

En el efecto de la condición de riego, los genotipos evaluados presentaron, en promedio, mayor altura de planta (AP), altura de mazorca (AM) y rendimiento de mazorca (RMZ) bajo condiciones de riego óptimo. En contraste,

bajo riego deficitario, los genotipos exhibieron un ciclo más tardío, mayor acame de raíz y una disminución en el rendimiento.

Los tratamientos con mayor rendimiento fueron el 03 (10,560.0 kg ha^{-1}), 32 (8,213.3 kg ha^{-1}) y 11 (7,893.3 kg ha^{-1}).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso-Sánchez, H., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Zaragoza-Esparza, J., López-López, C., Zamudio-González, B., Monter-Santillán, A., Turrent-Fernández, A., Arteaga-Escamilla, I. y Mora-García, K. (2023). Efecto de la densidad de población y la fertilización sobre la productividad del agua y rendimientos de híbridos de maíz en el Valle de México. Terra Latinoamericana, 41,(15). https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1577

Cantrell, R. P., Paliwal, R. L., & Dowswell, C. R. (2018). *Maize in the third world*. CRC Press.

Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos.

Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Zamudio-González, B., Virgen-Vargas, J., Turrent-Fernández, A., Rojas-Martínez, I., Gómez-Montiel, N., Sierra-Macías, M., López-López, C., Palafox-Caballero, A., Vázquez-Carrillo, G., RodríguezMontalvo, F., Canales-Islas, E., Zaragoza-Esparza, J., Martínez-Yañez B., Valdivia-Bernal, R., Cárdenas-Marcelo, A., Mora-García, K. y Martínez-Nuñez, B. (2018). H-47 AE, Híbrido de maíz para valles altos de México. Revista Fitotecnia Mexicana, 41 (1), 87-89. https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.87-89

Gomez-Montiel, N., Hernandez-Galeno, C., Anzures-Olvera, F., Tadeo-Aguilar, R., Ramírez-Díaz, J., Espinosa-Calderon, A., Tadeo-Robledo, M., Santos-Echeverria, R. y Antunez- Ocampo, O. (2023). Variedad mejorada de maíz de grano amarillo para pequeños ganaderos del trópico seco. Agro-Divulgación, 3 (3). https://doi.org/10.54767/ad.v3i3.186

González Huerta, A., Vázquez García, L. M., Sahagún Castellanos, J., Rodríguez Pérez, J. E., & Pérez López, D. D. J. (2007). Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura técnica en México*, *33*(1), 33-42.

Rodríguez, S. A. L., & Sánchez, H. A. (2024). Riego deficitario sostenido en híbridos de maíz de Valles Altos de México.

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA DE CRIADERO DE TILAPIA (*Oreocromis niloticus*)

Arturo Guadalupe Vera Rivera; Luis A. Ramírez Pulquero; Jesús David Joaquín[1]; Berenice Rivera Cortez[2]; Erika Cañada Coyote[3]; José Gómez Espinoza[1*]

[1]Ingeniería en hidrológica TecNM-campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110, México, [2]Maestría en Tecnología Informática Educativa, Universidad Autónoma de Zacatecas, CP. 98000, México, Doctorado en Biotecnología Agroalimentaria, TecNM-campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8, CP 38110 Autor de correspondencia: gomez2205jge@gmail.com

RESUMEN

La calidad del agua es un factor determinante para la supervivencia y el rendimiento productivo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en sistemas de cultivo, especialmente en estanques donde la acumulación de sedimentos y la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos pueden comprometer el éxito del cultivo. Este estudio evaluó la efectividad de la implementación de sistemas de filtración mecánica combinados con un protocolo riguroso de monitoreo de datos, con el objetivo de optimizar la remoción de sólidos y el aprovechamiento del recurso hídrico. Mediante el análisis estadístico de las variables medidas, se determinó la viabilidad y eficacia de estas medidas en la mejora de la calidad del agua. Los resultados permiten establecer una base técnica para la sostenibilidad de sistemas de recirculación en acuacultura, demostrando que la gestión adecuada de la filtración y el control de parámetros son esenciales para la salud del pez y la eficiencia del recurso hídrico.

Palabras clave: *Filtración, recirculación, calidad, agua, tilapia.*

ABSTRACT

Water quality is a determining factor for the survival and productive performance of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in aquaculture systems, particularly in shallow ponds where sediment accumulation and fluctuations in physicochemical parameters can compromise the success of the crop. This study evaluated the effectiveness of implementing mechanical filtration systems combined with a rigorous data monitoring protocol, aiming to optimize solid removal and water resource utilization. Through statistical analysis of the measured variables, the viability and efficacy of these measures in improving water quality were determined. The results establish a technical basis for the sustainability of recirculation systems in aquaculture, demonstrating that proper filtration management and parameter control are essential for fish health and water resource efficiency.

Keywords: f*iltration, water, recirculation, quality, tilapia*

INTRODUCCIÓN

Un sistema de recirculación acuícola (RAS) se utiliza para aprovechar y reutilizar el recurso hídrico en la acuacultura acuícola, en la que menos del 10% del agua es remplazada diariamente, por lo que el uso del agua en estos es más eficiente que en técnicas tradicionales significativamente el consumo de agua Flores, O. M. (2024). si bien, la filtración es un proceso fundamental cuya función es eliminar las impurezas presentes en el agua para su tratamiento posterior Dentro de este marco, la producción de organismos vivos en ambientes acuáticos ha emergido como un sector primario clave. La disponibilidad de agua permite tener el elemento básico para proveer parte de los recursos necesarios para el sistema de producción. Contar con agua suficiente y de buena calidad, la cual, es necesario para garantizar la producción y reproducción de tilapia. Las propiedades físico-químicas del agua como temperatura, oxígeno, pH y transparencia son las de mayor importancia, sin embargo, conocer los valores óptimos y mantenerlos en el sistema de producción es necesario Gutiérrez, M. C. (2023)

La tilapia es un organismo de fácil manejo, resistente a factores fisicoquímicos y acepta alimento balanceado, su correcto manejo permite obtener dos cosechas al año. La tilapia se cultiva en invernadero por varias razones, mantenerla en temperatura óptima para su desarrollo y protegerlas de posibles depredadores Gutiérrez, M. C. (2023). En el Instituto Tecnológico de Roque (TECNM-Roque) se opera un sistema intensivo de producción de tilapia, que incluye seis estanques circulares de geomembrana ubicados en el área acuícola y abastecidos por el pozo institucional. Las actividades esenciales para el buen funcionamiento del sistema de producción son la nutrición, el cuidado de los peces y el monitoreo constante de los parámetros climáticos y de la calidad del agua, lo que ayuda a mantener la calidad del agua sin necesidad de recambios constantes.

Actualmente, al desaprovecharse el agua residual de los estanques, se pierden 2 800 L cada tercer día con altas concentraciones de residuos nitrogenados (amoniaco, nitritos y nitratos). Esto constituye un problema ambiental para la unidad. La implementación de sistemas RAS representa una estrategia clave para la optimización del uso del agua, permitiendo su reutilización y reduciendo significativamente el consumo total Rivera, A. G. (2025). por lo cual, el objetivo de la presente investigación fue la implementación de sistemas de filtrado mecánicos para optimizar la calidad del recurso y para su recirculación, para evaluar la efectividad de diversos sistemas de filtrado físico y la remoción de sólidos, con el fin de promover la recirculación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el área acuícola del Tecnológico Nacional de México Campus Roque (TecNM-Roque), ubicado en el estado de Guanajuato, México 20.583556500427132, -100.82715532276465. Además, se analizaron las muestras tomadas en del el Laboratorio de Aguas y Suelos del instituto.

El diseño experimental constó de un arreglo completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en distintos medios filtrantes para la remoción de sólidos en RAS.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos durante el estudio

Número	Abreviación	Descripción del tratamiento	Material y cantidad
1	Trat 1	Filtrado con grava gruesa	15 kg de grava gruesa + malla adaptable
2	Trat 2	Filtrado con grava fina	20 kg de grava fina + malla adaptable
3	Trat 3	Filtrado con tezontle	15 kg de tezontle + malla adaptable
4	Trat 4	Filtrado mixto	5 kg grava gruesa, 10 kg tezontle, 5 kg grava fina + malla adaptable
Testigo	Trat 5	Muestra sin tratamiento	Toma de muestra directa (sin filtro)

Trat1= Tratamiento 1; Trat2= Tratamiento 2; Trat3= Tratamiento 3; Trat 4= Tratamiento 4; Trat 5= Tratamiento 5.

Los datos obtenidos de las siete tomas semanales se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos sobre los parámetros de calidad del agua. Se realizó un análisis de Matriz de correlación de Pearson para parámetros de calidad del agua, además de un Análisis por Factores para determinar la correlación y dirección de la relación lineal entre las variables fisicoquímicas (pH, nitratos y nitritos). Los datos se analizaron estadísticamente con un nivel de confianza del 95% ($P \leq 0.05$), con el programa SAS 9.4 (SAS Institute, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los parámetros fisicoquímicos reveló diferencias significativas en el desempeño de los tratamientos de filtrado en comparación con el testigo. Los resultados indican que los sistemas de filtrado mecánico, particularmente el TRAT 4, lograron una reducción notable en la concentración de sólidos suspendidos y compuestos nitrogenados. En la Figura.1 se observa el Análisis de correlación por Factores, el cual muestra la relación entre las variables estudiadas. donde se puede observar una agrupación clara de las variables evaluadas (Amoniaco, Nitritos y Conductividad Eléctrica). El círculo de correlación obtenido mediante el Análisis permite identificar la relación existente entre los parámetros de calidad del agua evaluados, así como su contribución a la variabilidad del sistema.

En el gráfico se observa que los parámetros nitritos y amoníaco presentan vectores con direcciones muy similares y un ángulo reducido entre ellos, lo que indica una correlación positiva fuerte. Este comportamiento sugiere que ambos compuestos tienden a incrementarse de manera simultánea, lo cual es característico de procesos asociados a la descomposición de materia orgánica o a la presencia de descargas de aguas

residuales. Por su parte, los nitratos muestran una dirección cercana a la de los nitritos y el amoníaco, aunque con menor magnitud, lo que indica una correlación positiva moderada. Esto puede estar relacionado con procesos de nitrificación incompleta dentro del sistema acuático.

La conductividad eléctrica presenta un vector orientado principalmente en el eje vertical, con una dirección casi perpendicular respecto a los compuestos nitrogenados. Esta disposición indica que su comportamiento es independiente o poco correlacionado con los nitratos, nitritos y amoníaco. En términos ambientales, esto sugiere que la conductividad está más influenciada por la concentración de sales disueltas que por la contaminación orgánica. En cuanto al pH y los sedimentos, ambos parámetros se ubican en el mismo cuadrante y con direcciones similares, lo que evidencia una correlación positiva entre ellos. Además, su orientación es opuesta a la de los compuestos nitrogenados, indicando una correlación negativa. Esto implica que incrementos en sedimentos o variaciones en el pH podrían estar asociados a menores concentraciones de nitrógeno disuelto, o a condiciones fisicoquímicas distintas en el cuerpo de agua. En conjunto, el análisis permite identificar dos comportamientos principales: por un lado, un grupo de variables asociadas a contaminación orgánica (nitritos, amoníaco y en menor medida nitratos), y por otro, variables relacionadas con condiciones fisicoquímicas del agua (conductividad, pH y sedimentos), las cuales presentan dinámicas distintas dentro del sistema.

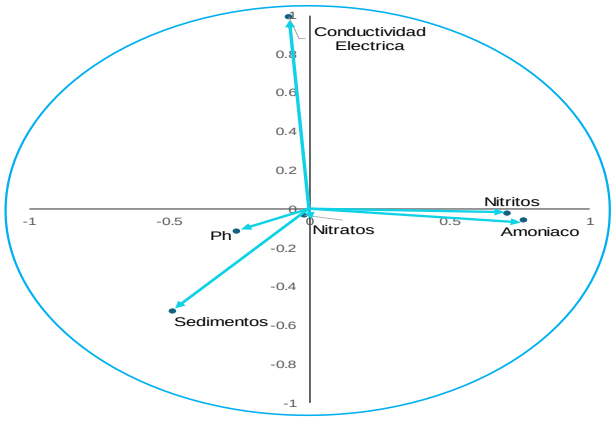

Figura.1 Análisis por Factores

El análisis de correlación de Pearson cuadro.2 cuantifica estas relaciones. Se identificó una correlación positiva (DMS P ≤0.01), entre Nitritos y Amoniaco (DMS P ≤ 0.05), así como entre Nitritos y Conductividad Eléctrica (DMS P ≤ -0.349), lo cual, es consistente con el ciclo del nitrógeno en sistemas acuícolas donde la acumulación de amoniaco conduce a la formación de nitritos. Un hallazgo crucial fue la correlación negativa significativa entre Sedimentos y Conductividad Eléctrica (α=-0.582**) y entre Sedimentos y Amoniaco (α = -0.331**). Esto sugiere que a medida que los filtros removían eficientemente los sedimentos (especialmente el

TRAT 4 con mezcla de grava y tezontle), se reducía también la carga de amoniaco y la conductividad, lo que confirma la hipótesis de que la filtración mecánica es un paso previo indispensable para controlar los parámetros químicos disueltos.

Interpretación de los tratamientos El TRAT 4 (mezcla de 5 kg grava gruesa, 10 kg tezontle y 5 kg grava fina) demostró ser el más eficiente, alineándose con los principios de filtración en capas múltiples descritos por Ebeling et al. (2021). La combinación de medios de diferentes tamaños de partícula permitió una retención mecánica profunda (efecto de tamizado) y una mayor área superficial para la adsorción, lo que explica la menor concentración de sedimentos y su correlación con la reducción de amoniaco. Por otro lado, el testigo (TRAT 5) mostró los valores más altos de amoniaco y nitritos, confirmando que la ausencia de filtración mecánica acelera la acumulación de tóxicos. Estos resultados validan lo planteado por Chaverra-Garcés (2022), quien señala que la acumulación de sólidos es un aspecto crítico que, si no se gestiona, impacta directamente en la calidad química del agua y la salud de los organismos.

La variable pH no mostró correlaciones fuertes con los demás parámetros ($\alpha < 0.22$), lo que indica que, en este periodo de estudio, el pH se mantuvo relativamente estable independientemente de la carga de sedimentos o nitratos, probablemente debido a la capacidad buffer del agua de pozo utilizada en el sistema. Implicaciones para la recirculación La fuerte correlación negativa entre sedimentos y parámetros de contaminación (amoniaco y conductividad) respalda la estrategia de implementar sistemas de filtrado mecánico robustos en los RAS. Como mencionan D'Orbcastel et al. (2023), el control efectivo de los sólidos suspendidos es el primer paso para optimizar la calidad del agua y reducir la necesidad de recambios, permitiendo la reutilización del agua y minimizando el impacto ambiental.

Cuadro.2 Matriz de correlación de Pearson para parámetros de calidad del agua

Variable	Nitra	Nitri	Amoni	Ph	Cond	Sedi
Nitratos	1					
Nitritos	-0.053	1				
Amoniaco	-0.056	0.535**	1			
pH	-0.007	-0.173	-0.179	1		
Conductividad	-0.028	-0.349**	-0.003	-0.213*	1	
Sedimentos	0.031	-0.349**	-0.331**	0.223	-0.582**	1

Nitra=Nitratos; Nitri= Nitritos; Amoni= Amonio; Ph= Potencial De Hidrogeno; Cond= Conductividad Eléctrica; Sedi= Sedimentos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio demostró que la implementación del RAS mejora significativamente la calidad del agua, al favorecer la remoción de sólidos suspendidos y disminuir la concentración de contaminantes asociados. Entre los

tratamientos evaluados, el TRAT 4 destacó por su mayor eficiencia. Así mismo, se comprobó que la reducción de sedimentos influye directamente en parámetros químicos de mayor relevancia; como el amoniaco y la conductividad eléctrica, contribuyendo a un ambiente más seguro para la tilapia. Por lo cual, filtros de bajo costo y fácil construcción representa una alternativa sustentable y accesible para pequeñas y medianas instalaciones acuícolas, promoviendo una acuacultura más eficiente y ambientalmente responsable.

CONCLUSIONES

La recirculación del agua es un mecanismo adecuado para el cultivo de tilapia

Su elaboración puede ser económica y eficiente

Que las pequeñas y medianas empresas pueden buscar alternativas más baratas y eficientes en la cría de tilapia

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Chaverra-Garcés, B. A. (2022). Acumulación de sólidos, un aspecto crítico en los sistemas acuícolas intensivos: Alternativas para una gestión sostenible. Orinoquia, 26(1), 92–104.

D'Orbcastel, E., Bleuzen, V., & Le Gac, M. (2023). Monitoring and control strategies in recirculating aquaculture systems: A review of recent advances. Aquacultural Engineering, 100, 102315. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102315

Ebeling, J. M., Timmons, M. B., & Bisogni, J. J. (2021). Engineering analysis of the solids removal efficiency of mechanical filters in recirculating aquaculture systems. Aquacultural Engineering, 93, 102142. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102142

Flores, O. M. (2024). Diseño y construcción de un sistema acuíponico familiar en la región de Celaya, Guanajuato. Revista Número 26, 537–542.

Fontalvo, N. P. M., Suárez, L. M. H., & Rodríguez, J. A. (2022). An opportunity for more sustainable water treatments. Water, Air, & Soil Pollution, 233(5), 167–180. https://doi.org/10.1007/s11270-022-05638-7

Gutiérrez, M. C. (2023). Tecnología intermedia para la producción de la tilapia. Tecnológico Nacional de México. 978-607-7912.

Hassan, A., Zubair, M., & Khan, S. (2024). Statistical analysis for water quality data using ANOVA. Journal of Water Research and Technology, 18(3), 102–115. https://doi.org/10.30956/jwrt.2024.18.3.07

Revista de Acuicultura. (2022). Sistemas de recirculación y filtración en la optimización del uso del agua en acuicultura. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Rivera, A. G. (2025). Diseño de un sistema de recirculación y filtración de agua de criadero. Revista Tecnológica CEA, 10(31), 487–496.

Saldaña Escorcia, R., Salazar Sánchez, M., Rodríguez Barbosa, L., Hernández Martínez, I., & Sánchez Álvarez, N. (2022). Calidad del agua para el cultivo de tilapia roja (Oreochromis sp.) en etapa de alevinaje con tecnología

biofloc. En J. Martínez Garcés (Ed.), Avances en investigación científica (1.ª ed., Vol. 3, pp. 289–301). Corporación Universitaria Autónoma de Nariño.