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