

## EFFECTO DEL NITRÓGENO SOBRE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA DE TRIGO EN EL BAJÍO, MÉXICO

### EFFECT OF NITROGEN ON YIELD AND SEED QUALITY OF WHEAT IN EL BAJÍO, MEXICO

Juan Francisco Buenrostro-Rodríguez<sup>1</sup>, Alfredo Josué Gámez-Vázquez<sup>2</sup>, Ernesto Solís Moya<sup>2</sup>, Jorge Covarrubias-Prieto<sup>1</sup>, Lourdes Ledesma-Ramírez<sup>2</sup>, Andrés Mandujano Bueno<sup>2</sup>, Sarahyt Santamaría González-Figueroa<sup>2</sup> y Hugo Cesar Cisneros-López<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, México. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México.

\*Autor de correspondencia (hugo.cl@roque.tecnm.mx)

#### RESUMEN

Recientemente se ha incrementado el costo de los fertilizantes, lo que afecta la producción de semilla de trigo (*Triticum aestivum* L), por ello es importante optimizar recursos dentro de los sistemas de producción. El objetivo del presente estudio fue determinar la dosis de fertilización nitrogenada (DN) adecuada para la producción de semilla de trigo, así como su efecto sobre calidad fisiológica de semilla en la región de El Bajío en México. En el ciclo agrícola otoño-invierno 2017-2018 se evaluó la variedad Urbina S2007 en seis localidades de los estados de Guanajuato y Michoacán, México, en combinación con las DN de 0, 60, 120, 180, 240 y 300 kg ha<sup>-1</sup>. Las variables medidas en campo fueron rendimiento (t ha<sup>-1</sup>), granos por espiga y espigas por metro cuadrado. En laboratorio se evaluó el vigor de semilla, germinación estándar (%) y longitud de plúmula (cm), como parte de la calidad fisiológica de semilla. Se realizó análisis de varianza combinado a través de localidades en un diseño de bloques completos al azar. El efecto de las DN generó el 70 % de la variabilidad total observada en rendimiento, mientras que una situación diferente se observó en vigor y germinación, donde las localidades aportaron más del 88 % de la variabilidad. El rendimiento y calidad fisiológica de semilla se incrementaron en función de la DN; sin embargo, se observó un punto de inflexión a los 240 kg de N ha<sup>-1</sup>, lo que sugiere que la aplicación de 240 kg de N ha<sup>-1</sup> es la dosis óptima para mejorar el rendimiento de semilla sin deterioro de su calidad fisiológica.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum* L, calidad fisiológica de semilla, dosis de nitrógeno, rendimiento.

#### SUMMARY

Recently, the cost of fertilizers has increased, which affect the production of wheat (*Triticum aestivum* L.) seed, so it is important to optimize resources within production systems. The objective of this study was to determine the appropriate dose of nitrogen fertilization (DN) for wheat seed production, as well as its effect on physiological seed quality in the Bajío region of Mexico. In the Autumn-Winter 2017-2018 agricultural cycle the Urbina S2007 variety was evaluated at six locations in the states of Guanajuato and Michoacan, Mexico, in combination with DN of 0, 60, 120, 180, 240 and 300 kg ha<sup>-1</sup>. The traits measured in the field were yield (t ha<sup>-1</sup>), grains per spike and spikes per square meter. In the laboratory, seed vigor, standard germination (%) and plumule length (cm) were evaluated as part of the physiological seed quality. Combined analysis of variance across localities was performed under a

randomized complete block design. The effect of DN generated 70 % of the total variability observed in yield, but a different situation was observed in vigor and germination, where localities contributed more than 88% of the variability. Yield and physiological quality of seed increased as a function of DN; however, a turning point was observed at 240 kg N ha<sup>-1</sup>, suggesting that the application of 240 kg of N ha<sup>-1</sup> is the optimal dose to improve seed yield without deterioration of its physiological quality.

**Index words:** *Triticum aestivum* L, nitrogen dose, physiological seed quality, yield.

#### INTRODUCCIÓN

Los factores de mayor impacto en los costos de producción de semilla, que limitan el crecimiento y rendimiento de los cultivos, son los volúmenes de agua de riego y fertilizantes químicos (Yu *et al.*, 2018). El nitrógeno (N) representa la mayor limitante en la producción debido a las grandes cantidades requeridas y por su deficiencia en los suelos (Tsvey *et al.*, 2021). La producción de semilla requiere un manejo agronómico preciso, por lo que la fertilización nitrogenada es importante para optimizar rendimiento y calidad de semilla (Zemichael *et al.*, 2017). El suministro inadecuado de N puede afectar la expansión foliar, acelerar la senescencia y reducir la tasa fotosintética de la planta (Schwenke *et al.*, 2014), lo que perjudica el rendimiento y producción de semillas (de Souza *et al.*, 2021). Las dosis de N (DN) tienen impacto en la capacidad de germinación, crecimiento de plántula (Deressa y Nigussie-Dechassa, 2013), vigor de las semillas (de Souza *et al.*, 2021) e incremento de proteína en semilla (Yang *et al.*, 2022); al respecto, Rodolfo *et al.* (2017) mencionaron que este incremento favorece una mayor calidad fisiológica. El objetivo del presente estudio fue identificar la mejor DN para incrementar rendimiento y calidad fisiológica de semilla de trigo en las condiciones del Bajío, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitios experimentales

El estudio se realizó en el ciclo otoño-invierno 2017-2018, éste se dividió en dos fases: campo y laboratorio. En campo, el experimento se estableció en seis localidades: 1) Estación Pénjamo, Pénjamo (PE) (20° 24' 11.89" N, 101° 40' 36.2" W), 2) Tepetate de Negrete, Pénjamo (TE) (20° 20' 01.70" N, 101° 47' 10.80" W), 3) Vallado de la Prisión, Manuel Doblado (MD) (20° 45' 07.40" N, 101° 56' 04.40" W), 4) Rancho Doña Rosa, Salamanca (SA) (20° 37' 49.30" N, 101° 10' 09.50" W), 5) Las Raíces, Valle de Santiago (VS) (20° 21' 16.13" N, 101° 25' 32.20" W) en el estado de Guanajuato, y 6) Huipana, José Sixto Verduzco (JS) (20° 17' 30.96" N, 101° 29' 39.14" W) en el estado de Michoacán, México. La temperatura promedio mensual de las localidades fue de 17.1°C y la precipitación acumulada promedio de 3.75 mm (FGP, 2023). Antes del establecimiento de los ensayos se tomaron 15 muestras de suelo para finalmente obtener una muestra compuesta en cada una de las localidades. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio Fertilab® para su análisis.

En la situación nutrimental previa de los suelos (Cuadro 1) se observó que el N inorgánico fue bajo (0-10 ppm), de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), para fósforo fue muy bajo (< 15 ppm), para potasio fue medio (200-300 ppm) y moderadamente alto (300-600 ppm), de acuerdo con Castellanos *et al.* (2020).

### Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron seis dosis de fertilización nitrogenada: 0 (T1), 60 (T2), 120 (T3), 180 (T4), 240 (T5) y 300 (T6) kg N ha<sup>-1</sup> aplicadas sobre la variedad Urbina S2007. El diseño experimental en todas las localidades fue de bloques completos al azar con tres repeticiones; la unidad

experimental constó de ocho surcos de 75 cm de ancho y una longitud de 5 m (30 m<sup>2</sup>).

### Manejo agronómico

La siembra se realizó del 10 al 24 de diciembre de 2017, la densidad de siembra fue de 150 kg ha<sup>-1</sup>. Las fuentes de fertilización nitrogenada fueron CoteN™ Mix de liberación controlada y YaraBela™ Nitrodoble® con 46-00-00 y 27-00-00-06Ca-04Mg % de concentración, respectivamente. Para balancear el sistema nutricional de la planta se aplicó además fósforo a través de MicroEssentials® SZ® (12N-40P-00K-10S-1Zn) y potasio con K-Mag® (22K-10.8Mg-22S). La dosis total de fertilización fue 60P-50K-10S-10Mg-01Zn. En el tratamiento testigo (0 kg N ha<sup>-1</sup>) la fuente de fósforo fue superfosfato de calcio simple (00N-20P-00K-11S). El 100 % de la dosis de fertilización se aplicó en la siembra. La aplicación del fertilizante se realizó de forma manual en banda y la siembra se realizó en seco (sin riego).

### Variables registradas

Las variables medidas en campo fueron rendimiento (t ha<sup>-1</sup>), granos por espiga y espigas m<sup>-2</sup>. En laboratorio se hicieron pruebas de germinación estándar (%) con base en la metodología de ISTA (1995), y vigor de semilla (%) a través de la prueba de envejecimiento acelerado; para el envejecimiento acelerado se colocaron 150 semillas por tratamiento en recipientes a baño maría y se colocaron en una cámara de envejecimiento a 45 °C y 100 % de humedad relativa por 48 h; posteriormente, tres repeticiones de 50 semillas fueron evaluadas por su germinación estándar. Se evaluó el número de plántulas normales, anormales y semillas muertas. Para evaluar longitud de plúmula se colocaron 25 semillas en papel húmedo con cinta adhesiva, colocadas en cámara de germinación por ocho días a 20 °C.

**Cuadro 1. Condición nutrimental y materia orgánica de los suelos de las localidades donde se estableció el experimento en el Bajío mexicano.**

Localidad	N-inorg (ppm)	P-Bray (ppm)	K (ppm)	MO (%)
Estación Pénjamo	2.11	12.1	260	2.54
Manuel Doblado	9.15	11.1	538	1.89
Salamanca	2.82	12.3	412	0.86
José Sixto Verduzco	3.52	9.54	286	2.78
Tepetate de Negrete, Pénjamo	0.7	8.99	350	1.91
Valle de Santiago	7.04	4.35	402	2.44

N-inog: nitrógeno inorgánico, P-Bray; fósforo total, K: potasio total, MO: materia orgánica.

**Análisis estadístico**

Los análisis de varianza combinados a través de localidades, pruebas de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) y el análisis de componentes principales se realizaron en el programa SAS versión 9.1.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Análisis de varianza combinado**

Se observaron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) entre localidades (Loc) en todas las variables evaluadas (Cuadro 2), así como en las DN ( $P \leq 0.01$ ) y en la interacción de Loc  $\times$  DN. Los coeficientes de variación, con excepción de la variable espigas  $m^{-2}$  en Loc fueron aceptables. Para rendimiento, las DN generaron el 70 % de la variabilidad total, seguida por la de localidades (27 %) y finalmente la interacción entre ambas.

La respuesta del rendimiento a la aplicación de N puede deberse a la dosis de los tratamientos aplicados y muy probablemente se complementó con la concentración de N en el suelo (Cuadro 1), pues las concentraciones de este elemento en los sitios de evaluación se consideran muy bajas (4.3 ppm en promedio), de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

En vigor y germinación, las localidades aportaron más del 88 % de la variabilidad, seguida por las DN que no aportaron más del 10 % y finalmente la debida a la interacción entre ambos factores, que fue del 3 % de la variación total. Se obtuvo una respuesta diferente en longitud de plúmula, que presentó una variabilidad similar originada por las localidades y las DN (49 y 45 %, respectivamente) y la

interacción entre los dos factores (5 %). El coeficiente de variación se incrementó conforme transcurrieron los días desde la siembra y hasta la evaluación de cada variable, por lo que las condiciones ambientales incrementaron el error experimental, con excepción de espigas  $m^{-2}$ , donde la variación fue mayor, probablemente debido a complicaciones en su cuantificación.

**Prueba de medias en campo**

En rendimiento, la localidad Estación Pénjamo superó con  $0.9 t ha^{-1}$  a la de Salamanca, con  $1.2 t ha^{-1}$  a Manuel Doblado, y a José Sixto Verduzco, Valle de Santiago y Tepetate de Negrete con  $1.6, 1.7$  y  $2.2 t ha^{-1}$ , respectivamente (Cuadro 3). Entre las DN, las de 240 y  $300 kg ha^{-1}$  registraron el mayor rendimiento, número de granos por espiga y número de espigas  $m^{-2}$ , aunque para esta última fueron similares las DN de 180 y 120. El testigo se ubicó con el menor rendimiento, debido a un menor número de granos por espiga y espigas  $m^{-2}$ , aunque en esta última variable presentó valores similares a las DN de 120 y 60.

**Prueba de medias en laboratorio**

Entre las localidades, Estación Pénjamo favoreció un mayor porcentaje de germinación y longitud de plúmula y se ubicó en el segundo lugar en vigor, junto con Salamanca; además, Manuel Doblado se clasificó entre las que propiciaron mayor germinación y vigor. La calidad fisiológica de semilla (vigor y germinación) y longitud de plúmula fue mayormente influenciada por las localidades, lo que coincide con los resultados de Gámez-Vázquez *et al.* (2015) al identificar que las condiciones ambientales de los sitios de estudio afectaron el vigor de la semilla. En Valle de Santiago y Tepetate de Negrete se registraron

**Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza combinado en la evaluación de producción de semilla y su calidad en seis localidades y seis dosis de fertilización nitrogenada en El Bajío, México.**

Fuentes de variación	GL	Cuadros medios					
		Rendimiento	Granos por espiga	Espigas $m^{-2}$	Vigor	Germinación	Longitud plúmula
Localidad (Loc)	5	11.3 **	554.6 **	64270.9 **	0.02 **	0.02 **	41.0 **
Blk/Loc	12	0.6	22.0	12008.2	0.0004	0.0004	0.5
Dosis Nitrógeno (DN)	5	29.8 **	333.5 **	25794.0 **	0.001 **	0.002 **	37.8 **
Loc $\times$ DN	25	1.0 **	28.9 *	8719.9	0.0007 **	0.0007	4.4 **
Error residual	60	0.1	16.9	5863.4	0.0002	0.0004	0.3
CV <sub>Loc</sub> (%)		12.4	11.6	27.3	2.0	2.0	8.9
CV <sub>DN</sub> (%)		6.5	10.1	19.0	1.2	1.5	7.8

GL: grados de libertad, CV: coeficiente de variación.

valores mayores de germinación y vigor (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Entre las dosis de 240 y 300 kg ha<sup>-1</sup> de N se registraron la mayor germinación de semilla, vigor de plántula y longitud de plúmula (Cuadro 4), seguidos en importancia por la DN de 180 kg ha<sup>-1</sup>, que se clasificó en el segundo grupo (Tukey  $P \leq 0.05$ ). El testigo se ubicó en el grupo de menor germinación estándar, vigor y longitud de plúmula, compartiendo valores similares en las dos primeras variables con las DN de 120 y 60 kg N ha<sup>-1</sup>. Esto difiere de lo reportado por Wen *et al.* (2018), quienes no observaron diferencias en germinación estándar entre DN (0 a 300 kg ha<sup>-1</sup>) e identificaron mayor vigor de semilla con la dosis de 240 kg ha<sup>-1</sup> en comparación con la de 300 kg ha<sup>-1</sup>.

**Análisis de componentes principales para localidades y dosis de fertilización**

Las variables de mayor importancia en la definición del primer componente principal (CP1) fueron germinación de semilla y vigor de plántula, por su variabilidad, mientras en el CP2, fueron rendimiento de grano y número de granos por espiga (Cuadro 5). Ambos CP explicaron el 74.2 % de la

variación total. Con base en estas variables, la dispersión de las localidades permitió ubicar a Estación Pénjamo y Manuel Doblado como las de mayor germinación de semilla y vigor de plántula, con la diferencia que en Estación Pénjamo se obtuvo mayor rendimiento de grano, debido a un mayor número de granos por espiga (Figura 1). En José Sixto Verduzco se obtuvo buen rendimiento de grano, no obstante haber registrado el menor número de espigas m<sup>-2</sup>; sin embargo, la germinación y vigor de la semilla producida ahí fue menor (74 % y 68 %, respectivamente).

Entre las DN, la dispersión mostró los mayores rendimientos a causa de un mayor número de granos por espiga, vigor de plántula y longitud de plúmula; cuando las DN disminuyeron, los valores de estas variables también lo hicieron, lo cual coincide con Villalba *et al.* (2023). Con la DN de 240 kg ha<sup>-1</sup> se obtuvo el mayor rendimiento en José Sixto Verduzco y Manuel Doblado e igualó a la de 300 kg ha<sup>-1</sup> de Salamanca, mientras que con esta última DN se obtuvieron los mayores rendimientos en Estación Pénjamo y en Tepetate de Negrete; sin embargo, esta ventaja en rendimiento de la DN 300 kg ha<sup>-1</sup> sobre la

**Cuadro 3. Calidad fisiológica, rendimiento de semilla y sus componentes, en seis localidades en El Bajío, México.**

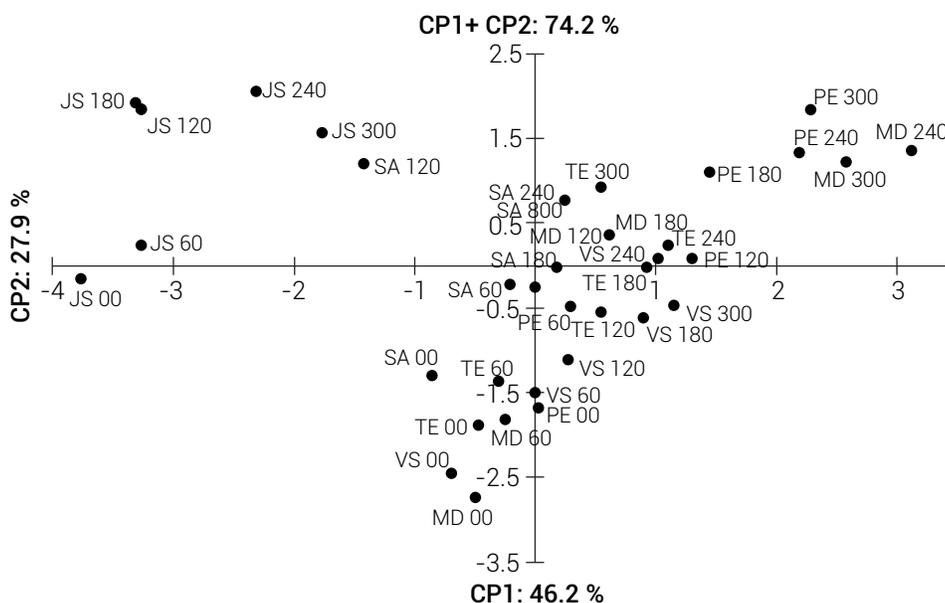
Localidades	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Granos espiga <sup>-1</sup>	Espigas m <sup>-2</sup>	Vigor (%)	Germinación de semilla (%)	Longitud plúmula (cm)
Estación Pénjamo	7.540 a	34.1 e	393.6 b	90.7 b	97.2 a	10.7 a
Salamanca	6.638 b	41.9 b	395.8 b	88.4 b	89.3 b	7.2 cd
Manuel Doblado	6.306 c	38.9 bc	512.8 a	96.2 a	95.8 a	7.5 c
José Sixto Verduzco	5.920 d	50.4 a	330.4 c	68.4 c	74.0 c	6.8 d
Valle de Santiago	5.747 d	37.2 d	389.5 b	96.7 a	97.4 a	6.9 d
Tepetate de Negrete	5.264 e	41.1 bc	388.8 b	95.4 a	96.2 a	8.8 b
DMSH ( $P \leq 0.05$ )	0.2	2.7	51	3.0	3.6	0.4

**Cuadro 4. Calidad fisiológica, rendimiento de semilla y sus componentes, con seis dosis de nitrógeno en la producción de semilla de trigo en El Bajío, México.**

Dosis de Nitrógeno	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Granos/espiga	Espigas m <sup>-2</sup>	Vigor (%)	Germinación de semilla (%)	Longitud plúmula (cm)
240-00-00	7.560 a	43.5 a	431.1 ab	92.4 a	95.0 a	9.5 a
300-00-00	7.388 a	43.5 a	458.6 a	91.3 ab	93.8 ab	9.3 a
180-00-00	6.854 b	42.8 a	396.5 bc	89.7 ab	93.7 ab	8.2 b
120-00-00	6.071 c	42.7 a	398.6 abc	85.5 c	87.8 c	8.4 b
60-00-00	5.271 d	38.3 b	358.6 c	88.6 c	91.2 bc	6.6 c
00-00-00	4.271 e	32.8 c	367.6 c	88.3 cd	88.3 c	5.9 d
DMSH ( $P \leq 0.05$ )	0.270	2.7	51.0	3.0	3.6	0.4

**Cuadro 5. Vectores característicos y proporción de varianza explicada por los dos primeros componentes principales (CP) en seis localidades con seis diferentes dosis de fertilización, en la producción de semilla de trigo en El Bajío, México.**

Variables originales	Vectores característicos	
	CP1	CP2
Germinación de semilla	0.535	-0.219
Vigor de plántula	0.523	-0.267
Longitud plúmula	0.354	0.430
Rendimiento de grano	0.312	0.594
Número de granos por espiga	-0.244	0.565
Espigas m <sup>-2</sup>	0.394	0.145
Valor característico	2.77	1.67
Porcentaje de varianza explicada	46.2	27.9



**Figura 1. Dispersión de localidades y dosis de nitrógeno con base en los dos primeros componentes principales en la producción de semilla de trigo en el Bajío, México. PE: Estación Pénjamo, TE: Tepetate de Negrete, MD: Manuel Doblado, SA: Salamanca, VS: Valle de Santiago, JS: José Sixto Verduzco.**

DN 240 kg ha<sup>-1</sup> probablemente no sea viable debido al aumento de los costos de producción.

El testigo se presentó en las seis localidades en un grupo de respuesta similar al ubicarse en el Cuadrante III, caracterizado por presentar los menores rendimientos y número de granos por espiga. En la localidad de José Sixto Verduzco se obtuvo un rendimiento superior con el testigo,

pero también menores porcentajes de germinación y vigor de plántula, lo que coincide con los resultados de Kristó *et al.* (2023) con respecto al testigo, aunque Bagatelli *et al.* (2022) no observaron diferencias en germinación ni vigor en el testigo con el resto de DN.

El rendimiento de semilla y su calidad fisiológica se incrementaron en función del aumento de la DN, con

excepción de las localidades situadas en el municipio de Pénjamo (Tepetate de Negrete y Estación Pénjamo), el punto de inflexión se presentó en la DN 240 (Figura 1), lo que podría optimizar costos de producción sin bajar la productividad ni calidad fisiológica de la semilla, esto coincide con González-Figueroa *et al.* (2018) en la región de Bajío; sin embargo, el momento de aplicación fue diferente, estos últimos aplicaron la DN 240 kg ha<sup>-1</sup> en tres partes iguales y en el presente estudio el 100 % se aplicó al momento de la siembra, lo que mejoró la germinación, probablemente debido a liberación controlada de N de la fuente CoteN™ Mix.

La variedad de trigo Urbina S2007 expresó su máximo rendimiento con la DN de 240, lo que coincide con los resultados de Wen *et al.* (2018), quienes reportaron mayor rendimiento con la DN 240 kg de N ha<sup>-1</sup>. La mayor calidad fisiológica de semilla se obtuvo con las DN 240 y 300 kg de N ha<sup>-1</sup> en Manuel Doblado y Pénjamo y con 240 en la localidad de José Sixto Verduzco.

#### AGRADECIMIENTOS

A productores cooperantes, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias por los recursos y facilidades para la realización de este trabajo de investigación.

#### BIBLIOGRAFÍA

- fundacionguanajuato.mx/es/red-de-estaciones/ (Mayo, 2024).
- Gómez-Vázquez A. J., M. De la O-Olán, M. A. Avila-Perches, J. Virgen-Vargas, N. A. Ruiz-Torres, F. P. Gómez-Vázquez, y A. Ascencio-Álvarez (2015) Calidad fisiológica de semilla y desarrollo de plántulas de maíz a temperaturas bajas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1769-1779, <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i8.494>
- González-Figueroa S. S., C. L. Aguirre-Mancilla, J. Covarrubias-Prieto, F. Cervantes O. y O. A. Grageda-Cabrera (2018) Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada aplicada al trigo sobre la calidad de su semilla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:291-301, <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1072>
- ISTA, International Seed Teesting Association (1995) Handbook of Vigor Test Methods. 2nd edition. International Seed Teesting Association. Zurich, Switzerland. 117 p.
- Kristó I., M. Vályi-Nagy, A. Rácz, K. Irnes, L. Szentpéteri, M. Jolánkai, ... and M. Tar (2023) Effects of nutrient supply and seed size on germination parameters and yield in the next crop year of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agriculture* 13:419, <https://doi.org/10.3390/agriculture13020419>
- Rodolfo G. R., C. A. Souza, C. M. M. Coelho and K. K. Belizario (2017) Physiological quality of dual-purpose wheat seeds from plants subjected to artificial defoliation. *Ciência Rural* 47:e20151582, <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151582>
- Schwenke G. D., W. Manning and B. M. Haigh (2014) Ammonia volatilisation from nitrogen fertilisers surface-applied to bare fallows, wheat crops and perennial-grass-based pastures on Vertosols. *Soil Research* 52:805-821, <https://doi.org/10.1071/SR14107>
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, edición 31 de diciembre de 2012. Ciudad de México, México. <http://dof.gob.mx/nota-detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002#gsc.tab=0> (Mayo 2024).
- Tsvey Y., R. Ivanina, V. Ivanina and S. Senchuk (2021) Yield and quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) grain in relation to nitrogen fertilization. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 74:9413-9422, <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n1.88835>
- Villalba A. R., M. Ayala M., D. Amarilla M., E. Peralta P. y E. Maidana C. (2023) Interacción del vigor de la semilla y dosis de nitrógeno en cobertura en el rendimiento del trigo. *Revista de la Sociedad Científica de Paraguay* 28:280-298, <https://doi.org/10.32480/rscp.2023.28.2.280>
- Wen D., H. Xu, L. Xie, M. He, H. Hou, C. Wu, ... and C. Zhang (2018) Effects of nitrogen level during seed production on wheat seed vigor and seedling establishment at the transcriptome level. *International Journal of Molecular Science* 19:3417, <https://doi.org/10.3390/ijms19113417>
- Yang T., Q. Zhou, Q. Wang, X. Wang, J. Cai, M. Huang and D. Jiang (2022) Effects of nitrogen fertilizer on quality characteristics of wheat with the absence of different individual high-molecular-weight glutenin subunits (HMW-GSs). *International Journal of Molecular Science* 23:2178, <https://doi.org/10.3390/ijms23042178>
- Yu Z., A. Juhasz, S. Islam, D. Diepeveen, J. Zhang, P. Wang and W. Ma (2018) Impact of mid-season sulphur deficiency on wheat nitrogen metabolism and biosynthesis of grain protein. *Scientific Reports* 8:2499, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20935-8>
- Zemichael B., N. Dechassa and F. Abay (2017) Yield and nutrient use efficiency of bread wheat (*Triticum Aestivum* L.) as influenced by time and rate of nitrogen application in Enderta, Tigray, Northern Ethiopia. *Open Agriculture* 2:611-624, <https://doi.org/10.1515/opag-2017-0065>
- Bagateli J. R., G. S. Bortolin, R. M. Bagateli, J. J. Franco, F. A. Villela, y G. E. Meneghello (2022) Seed vigor in performance of wheat plants: evidence of interaction with nitrogen. *Journal of Seed Science* 44:e202244001, <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44e253465>
- Castellanos J. Z., J. D. Etchevers B., M. Peña D., S. García H., I. Ortiz-Monasterio, A. Arango G., ... y C. Venegas V. (2020) ¿Cómo Crece y se Nutre una Planta de Maíz? Segunda edición. Fertilab. Celaya, Guanajuato, México. 84 p.
- de Souza D. N., S. R. Silva, J. L. Marinho, J. H. B. Bazzo, I. C. B. Fonseca and C. Zucareli (2021) Wheat yield and seed physiological quality as influenced by seed vigor, nitrogen fertilization and edaphoclimatic conditions, *SEMINA Ciências Agrárias Londrina* 42:3581-3602, <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n6Supl2p3581>
- Deressa H. and R. Nigussie-Dechassa (2013) Seed and seedling performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) as influenced by rate and in-season nitrogen application. *Journal of Experimental Agriculture International* 3:857-870, <https://doi.org/10.9734/AJEA/2013/3650>
- FGP, Fundación Guanajuato Produce (2023) Datos históricos de red de estaciones de Guanajuato. Fundación Guanajuato Produce, A. C. San Miguel de Allende, Guanajuato, México. <https://www.fundacionguanajuato.mx/es/red-de-estaciones/>