

Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada aplicada al trigo sobre la calidad de su semilla

Sarahyt Santamaría González-Figueroa¹
Cesar Leobardo Aguirre-Mancilla²
Jorge Covarrubias-Prieto²
Francisco Cervantes Ortiz²
Oscar Arath Grageda-Cabrera^{1§}

¹Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km 6.5. Celaya, Guanajuato, México. CP. 38110. Tel. 01 461 6115323, ext. 233. (sarahytgonzalez@hotmail.com). ²Instituto Tecnológico de Roque. Instituto Tecnológico Nacional de México. (cesar.aguirre.m@hotmail.com; covarrubiasjrg@hotmail.com; frcervantes@itroque.edu.mx).

§Autor para correspondencia: grageda.oscar@inifap.gob.mx.

Resumen

Las semillas son un elemento indispensable en la producción agrícola y representan uno de los medios para mejorar el rendimiento en los cultivos y la fertilización es indispensable para la producción de semillas de alta calidad. En el presente trabajo se evaluó la calidad de la semilla de trigo cuando el fertilizante-N se fracciona en diferentes porcentajes. Las variedades utilizadas fueron Gema C2004, Nana F2007 y Urbina S2007. La dosis de fertilización N-P-K recomendada en la región de El Bajío es de 240-60-00. Los fraccionamientos de la fertilización-N (FFN) fueron a la siembra, 45 días después de la siembra (dds) y 75 dds en los siguientes porcentajes: 1) 00-00-00, 2) 100-00-00, 3) 00-100-00, 4) 50-50-00, 5) 00-50-50, 6) 70-30-00, 7) 30-70-00, 8) 00-30-70, 9) 00-70-30 y 10) 33-33-33. En campo se evaluó el rendimiento, en laboratorio la calidad fisiológica de semilla y en invernadero el vigor de plántula en cama de arena. Al fraccionar el fertilizante-N en 30-70-00 y 33-33-33 se incrementó la cantidad de semillas m², observando mayores rendimientos en la producción de trigo en comparación con la fertilización-N recomendada de 50-50-00 que actualmente se utiliza. Los mejores porcentajes de emergencia se presentaron en los fraccionamientos 33-33-33, 30-70-00 y 70-30-00. Con relación a los índices de vigor IV-I y IV-II, el tratamiento que mostro los valores mayores fue 30-70-00. El FFN en el que se observaron los mejores resultados tanto en las variables de rendimiento, calidad fisiológica de semilla y vigor de plántula fue 30-70-00.

Palabras clave: calidad fisiológica, nitrógeno, vigor de plántula.

Recibido: febrero de 2018

Aceptado: marzo de 2018

Introducción

La producción de trigo en México obtuvo 3.2 millones de t siendo los principales estados productores, en orden de importancia: Sonora, Baja California, Guanajuato, Michoacán, Chihuahua, Tlaxcala y Jalisco, los cuales contribuyen con 84.9% de la superficie agrícola nacional sembrada, y 92.2% del volumen producido (SIAP, 2014). De acuerdo con el Plan Rector Sistema Producto Nacional Trigo (2011), de la producción registrada, sólo 2% se utiliza como semilla (SAGARPA e INCA, 2011). La producción de semilla de trigo calificada que fue reportada por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) para el año 2011 alcanzó 75 368 t. En la región conocida como “El Bajío”, el cultivo de trigo cobra importancia por la cantidad de superficie sembrada, alrededor de 60 937 ha, con una producción de 339 568.94 t, y un rendimiento promedio de 5.61 t ha⁻¹ (SIAP, 2014). Tomando en cuenta el promedio de la densidad de siembra es 120 kg ha⁻¹ (Solís *et al.*, 2007), se llegan a utilizar alrededor de 7 312.44 t de semilla, existiendo un déficit de semilla certificada.

A diferencia de la producción de granos, la de semillas requiere un gran cuidado y precisión en las prácticas agronómicas, donde la fertilización es indispensable para la producción de semillas de alta calidad, la calidad de una semilla se puede expresar como la integral de cuatro componentes: físico, fisiológico, fitosanitario y genético. Estos componentes están definidos en la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas, publicada el 15 de junio de 2007 en el Diario Oficial de la Federación definidos en la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas, publicada el 15 de junio de 2007 en el Diario Oficial de la Federación (DOF). El nitrógeno (N) es el elemento requerido para la producción de trigo (Echeverría *et al.*, 2005). Así, deficiencias de este nutrimento reduce la expansión foliar, provocan su prematura senescencia y afectan la tasa fotosintética, dando como resultado una menor producción de materia seca y semilla (Ferraris *et al.*, 2008).

Una inadecuada fertilización nitrogenada ocasiona disminución de proteína en la semilla y puede afectar la germinación o el vigor, por lo cual el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del fraccionamiento de la fertilización-N (FFN) sobre la calidad fisiológica de la semilla de trigo, esto es, medida de la capacidad de la semilla para producir material de propagación fisiológicamente viable, la cual se expresa como el porcentaje de semilla fisiológicamente viable, con respecto al total de la muestra de un lote.

Materiales y métodos

Se estableció un experimento en condiciones de campo en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Celaya, Guanajuato, México, localizado a 20° 35' 06.59" latitud norte, 100° 49' 46.84" longitud oeste y altitud de 1 769 m. El análisis físico y químico del suelo donde se instaló el ensayo mostró la presencia de un Vertisol pélico, con pH (1:2 agua) de 7.4, contenido de materia orgánica de 1.76% y textura franco arcillosa (FAO, 1994).

Se utilizaron las variedades de trigo Gema C2004, Nana F2007 y Urbina S2007, las cuales fueron generadas por el INIFAP para su producción en El Bajío, la dosis de fertilización recomendada en la región para N-P-K es de 240-60-00, aplicando el 50% del fertilizante-N a la siembra y el otro 50% a los 45 días después de la siembra (dds) en el primer riego de auxilio. Los fraccionamientos de la fertilización nitrogenada evaluados se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Porcentajes de fraccionamiento de la fertilización-N a los 0, 45 y 75 dds.

Tratamientos	Fertilizante-N (%)		
	Siembra (0 dds)	Primer riego (45 dds)	Segundo riego (75 dds)
1	0	0	0
2	100	0	0
3	0	100	0
4	50	50	0
5	0	50	50
6	70	30	0
7	30	70	0
8	0	30	70
9	0	70	30
10	33	33	33

El diseño experimental fue de parcelas divididas en arreglo de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos de la parcela mayor fueron las variedades y las subparcelas fueron los fraccionamientos de la fertilización nitrogenada.

En la madurez fisiológica se procedió a realizar la cosecha. Se colectó 1 kg de semilla de cada una de las repeticiones pertenecientes a cada tratamiento, éstas se homogeneizaron y se tomó una submuestra de 1 kg de semilla para el análisis de calidad. Para lo cual se determinó el peso hectolítrico (PH) utilizando un humidímetro de grano marca DICKY-joh. El peso de 1 000 semillas (PMS) se calculó contando 1 000 semillas de cada uno de los tratamientos con cuatro repeticiones, la germinación estándar (GE) y longitud de plúmula (LP) se realizaron siguiendo los procedimientos publicados por la ISTA (1995).

El vigor inicial de plántula, utilizando camas de arena, fue determinado en condiciones de invernadero utilizando 50 semillas colectadas previamente por tratamiento, cuantificando la velocidad de emergencia (VE) (Maguire, 1962) a los 7, 8, 9 y 10 dds, y los valores obtenidos fueron utilizados para estimar el porcentaje de emergencia (%E), índice de emergencia (IE); el índice de la tasa de emergencia (ITE) (Fakorede y Ayoola, 1980; Fakorede y Ojo, 1981; Cervantes *et al.*, 2006). Se determinó el peso seco de la parte aérea (PSPA) y longitud de plántula (LPt) en una muestra de 10 plantas con competencia completa por unidad experimental a los 24 dds. Con las variables PSPA y LPt se calculó el índice de vigor I y II (IV-I e IV-II, respectivamente) (Kharb *et al.*, 1994; Cervantes *et al.*, 2006). En el ensayo de invernadero, el diseño experimental fue un diseño factorial con arreglo completamente al azar con cuatro repeticiones.

Los datos del experimento de invernadero fueron sometidos a análisis de varianza, cuando las pruebas de F resultaron significativas se realizó la prueba de comparación de medias, utilizando la diferencia mínima significativa (DMS) a un nivel de significancia de 5% (SAS Institute, 2014).

Resultados y discusión

Rendimiento

El análisis de varianza mostró que para el factor variedad, hubo diferencias significativas ($p \leq 0.0001$) para todos los parámetros evaluados. Con relación al FFN todos los parámetros fueron diferentes, excepto el índice de cosecha (IC), en contraste con lo reportado por Barraco *et al.* (2007), quien no encontró diferencias significativas en rendimiento al fraccionar la fertilización-N. Las interacciones variedad*FFN no fueron significantes para peso seco de paja (PSP), peso seco total (PST) e IC (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza individual de las variables para rendimiento.

Fuente de variación	Gl	PSG	PSP	PST	IC
Repeticiones (R)	3	6607 ns	1775190 ns	1861305 ns	0.002 ns
Variedades (V)	2	1546762.5 **	205106351 **	182685647 **	0.1052 **
V*R	6	27422.4 ns	1879975 ns	1724703 ns	0.002 ns
FFN	9	13594653 **	62794751 **	129654223 **	0.006 ns
V*FFN	18	620747.1 **	4877427 ns	5999851 ns	0.003 ns
Error	81	12229.3 ns	28414858 ns	43583914 ns	0.002 ns
CV	-	2.03	16.88	11.01	15.16

**= diferente de cero a una probabilidad de 0.05; PSG= peso seco de grano; PSP= peso seco de paja; PST= peso seco total; IC= índice de cosecha; ns= no significativo.

Los rendimientos y sus componentes obtenidos en las diferentes variedades se presentan en el Cuadro 3. Con respecto al PSG las variedades Gema C2004 y Urbina S2007 mostraron rendimientos similares a los reportados por Solís *et al.* (2007), donde menciona que el rendimiento promedio en El Bajío es de 5 t ha⁻¹, la variedad Nana S2007 mostró un rendimiento mayor en el rango de 2.5-3.5 t ha⁻¹, reportado por Villaseñor *et al.* (2011), esto puede deberse a que dicho rango fue determinado en siembra de temporal, ya que esta variedad muestra tolerancia a sequía. Nana F2007 mostró el mayor PS; sin embargo, 70.3% fue paja, lo que se refleja en un IC de 0.31, en contraste con Gema C2004 quien obtuvo el mayor PSG y el IC más alto.

Cuadro 3. Rendimiento de las variedades de trigo Gema C2004, Nana F2007 y Urbina S2007.

Variedad	Peso seco de grano	Peso seco de paja	Peso seco total	Índice de cosecha
	(kg ha ⁻¹)			
Gema C2004	5 659 a*	8 172 c	13 831 c	0.41 a
Nana F2007	5 365 b	12 674 a	18 039 a	0.31 c
Urbina S2007	5 286 c	1 001 b	15 288 b	0.35 b
DMS	49.2	772.6	770.6	0.02

*= valores con la misma letra son estadísticamente iguales, DMS $p < 0.05$.

Respecto al FFN (Cuadro 4), independientemente de la variedad, el testigo absoluto obtuvo los rendimientos de grano más bajos, con 3116 kg ha⁻¹, mientras que los mejores se obtuvieron al fraccionar la fertilización en 30-70-00 y 33-33-33, en el orden mencionado. Cuando se hace una sola aplicación del fertilizante-N los rendimientos son bajos y no superan los 4 850 kg ha⁻¹. Asimismo, al no aplicar fertilización-N al momento de la siembra, como se está promoviendo en la región de El Bajío debido a que la demanda de N en etapas iniciales del cultivo es mínima, los rendimientos son menores comparados con la aplicación fraccionada incluyendo la siembra.

Cuadro 4. Rendimiento del trigo bajo los distintos fraccionamientos de la fertilización-N aplicada a los 0, 45 y 75 dds.

Fraccionamiento fertilizante-N a los 0, 45 y 75 dds (%)	Peso seco de grano	Peso seco de paja	Peso seco total	Índice de cosecha
	(kg ha ⁻¹)			
00-00-00	3 116 i *	4 819 e	7 935 e	0.4 ns
100-00-00	4 786 h	10 721 cd	15 507 d	0.34 ns
00-100-00	4 850 h	10 005 cd	17 855 d	0.33 ns
50-50-00	6 296 c	12 435 ab	18 731 b	0.34 ns
00-50-50	5 197 g	9 866 cd	15 063 d	0.34 ns
70-30-00	5 924 d	11 219 bc	17 143 c	0.34 ns
30-70-00	6 822 a	13 454 a	20 276 a	0.34 ns
00-30-70	5 339 f	9 871 cd	15 211 d	0.35 ns
00-70-30	5 568 e	9 491 d	15 059 d	0.38 ns
33-33-33	6 469 b	10 944 c	17 413 bc	0.37 ns
DMS	89.8	1 410.6	1 407.1	0.08

*= valores con la misma letra son estadísticamente iguales, DMS $p < 0.05$.

Los parámetros PSG, PSP, PST, fueron inferiores en el testigo absoluto. El fraccionamiento que mostró los valores más altos de PSG fue 30-70-00 con 6 822 kg ha⁻¹; sin embargo, el IC no mostró diferencia significativa. Galantini *et al.* (2007), estudiaron los momentos de aplicación del fertilizante-N y concluyeron que cuando existe una mayor disponibilidad de N se favorece el desarrollo de espigas fértiles, también encontraron que el peso de los granos tiende a disminuir si se aplica todo el N al momento de la siembra y aumenta cuando se aplica en el macollaje, lo cual se relaciona con la reducción de pérdidas y la translocación temprana de asimilados al grano. Por otro lado, Waddington *et al.* (1986); Siddique *et al.* (1989); Slafer y Andrade (1991), concluyeron que existe una relación directamente proporcional entre el número de granos m⁻² y el rendimiento.

En la interacción variedad*FFN, se observó diferencia estadística significativa en los componentes de rendimiento, para peso seco de grano el fraccionamiento 30-70-00 mostró los valores más altos en cada una de las variedades, el FFN influyó en los rendimientos en cada una de las variedades, también se observó la misma tendencia de los fraccionamientos, los mejores rendimientos se presentaron cuando el fertilizante se fraccionó en 30-70-00, seguida por 33-33-33. Probablemente debido a la reducción de pérdidas y la disponibilidad del N en las etapas críticas de formación y llenado de grano.

Calidad de semilla

En el análisis de varianza se observó diferencias altamente significativas entre las variedades y FFN para las variables PH, PMS, GE y LP; en la interacción variedades*FFN las variables PH, GE y LP también presentaron diferencias altamente significativas, para la variable PMS no se presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cuadrados medios, grados de libertad y nivel de significancia de variables de calidad fisiológica evaluadas en laboratorio, INIFAP-CEBAJ. Ciclo O-I 2012-2013.

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios ^a			
		PH (kg hL ⁻¹)	PMS (g)	GE (%)	LP (cm PI ⁻¹)
Repeticiones	3	28.67	0.56	1.16	0.01
Variedades	2	144.9 **	572.8 **	57.67 **	3.09 **
Error (a)	6	2.77	3.16	2.57	0.11
FFN	9	19.81 **	45.44 **	652.4 **	31.4 **
Variedades*FFN	18	15.78 **	15.7 ns	21.59 **	2.63 **
Error (b)	81	3.67	5.82	2.47	0.06
CV (a)	-	2.19	4.05	1.73	4.69
CV (b)	-	2.52	5.49	1.72	3.48

*, ** = significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad; gl= grados de libertad; ns= no significativo; CV= coeficiente de variación; PH= peso hectolítrico; GE= germinación estándar; PMS= peso de mil semillas; LP= longitud de plúmula.

En los resultados de la prueba de comparación de medias para las variedades (Cuadro 6), se observó que Gema C2002 presenta un valor de 77.9 kg hL⁻¹, superior al resto de las variedades. Vázquez-Mendoza (2013), encontraron diferencias en el PH de variedades comerciales de trigo. Este parámetro, es importante porque cuanto mayor sea, mayor será la proporción de almidón y por consiguiente, mayor extracción de harina. Por consiguiente, el peso hectolítrico es una buena estimación tanto de la calidad física del grano, como de la calidad molinera. Con respecto al PMS, se observó que la variedad Urbina S2007 presentó un valor de 47.37 g, seguido por Gema C2002 con 44.38 g y Nana F2007 con 39.86 g, estos resultados son consistentes con los reportados por Solís *et al.* (2009), y se debe a la variación genética entre variedades.

En la prueba de GE los resultados se encontraron entre 90-93%, están dentro del estándar reportado por el SNICS (2013), el cual menciona que un porcentaje de germinación mínimo para semilla básica es de 90%. Khabiri *et al.* (2012) evaluaron 11 genotipos de trigo y encontraron diferencia significativa de esta variable y se pueden deber a varios factores, entre los cuales se encuentran el cultivar, pureza genética, ambiente y nutrición materna, entre otras. Para la LP registrada al día siete, las variedades Nana F2007 y Urbina S2007 no presentaron diferencias estadísticas con 7.19 y 7.25 cm respectivamente, la variedad Gema presentó el valor más bajo con 6.74 cm.

Cuadro 6. Comparación de medias mediante la prueba de DMS para la calidad fisiológica de semilla evaluada en laboratorio, de las variedades Gema C2004, Nana F2007 y Urbina S2007, evaluados en INIFAP-CEBAJ. Ciclo O-I 2012-2013.

Variedad	PH (kg hL ⁻¹)	PMS (g)	GE (%)	LP (cm Pl ⁻¹)
Gema C2002	77.9 a *	44.38 b	90.27 c	6.74 b
Nana F2007	75.64 b	39.86 c	91.4 b	7.19 a
Urbina S2007	74.12 c	47.37 a	92.67 a	7.25 a
DMS	0.85	1.07	0.7	0.1

*= valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, $p \leq 0.05$); PH= peso hectolítrico; GE= germinación estándar; PMS= peso de mil semillas; LP= longitud de plúmula.

En la comparación de medias para los FFN (Cuadro 7), se observa que en las variables PH y PMS los tratamientos 00-30-70 y 00-50-50, en los cuales no se aplicó fertilizante-N a la siembra, mostraron los valores más altos, esto se debe a que la aplicación tardía de N aumenta el contenido de proteína del grano, este efecto fue reportado por Echeverría y Studdert (1998), encontraron que el contenido de proteína en el grano respondió a la interacción de aplicaciones a la siembra y tiempo dds. Los tratamientos 00-50-50 y 00-30-70 en los cuales no se aplicó fertilizante-N a la siembra presentaron los valores más altos en PMS 46.5 y 46.6 g, respectivamente. Con respecto al porcentaje de GE, el valor más bajo lo mostró el testigo, los fraccionamientos que se encuentran dentro de los estándares del SNICS (2013) son: 50-50-00, 00-50-50, 70-30-00, 30-70-00 y 33-33-33, se encontró que existieron variaciones según los fraccionamientos de esta fertilización.

Cuadro 7. Comparación de medias mediante la prueba de DMS para calidad fisiológica evaluada en laboratorio de los FFN, evaluados en INIFAP- CEBAJ. Ciclo O-I 2012-2013.

FFN	PH (kg ha ⁻¹)	PMS (g)	GE (%)	LP (cm Pl ⁻¹)
00-00-00	75.96 bc	43.6 bcd	75.83 g	4.67 i
100-00-00	75.63 c	41.97 de	86.66 f	5.68 g
00-100-00	73.13 d	42.84 cde	88.33 e	5.29 h
50-50-00	75.51 c	44.92 ab	96.66 b	8.68 c
00-50-50	77.7 a	46.5 a	90.83 c	6.07 f
70-30-00	76.02 bc	44.82 ab	97.91 b	7.86 d
30-70-00	76.85 abc	44.53 bc	99.33 a	8.93 b
00-30-70	77.39 ab	46.68 a	89.08 de	7.1 e
00-70-30	75.38 c	41.64 de	89.83 cd	7.06 e
33-33-33	75.33 c	41.2 e	100 a	9.31 a
DMS	1.55	1.95	1.27	0.2

*= valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, $p \leq 0.05$); FFN= fraccionamientos de la fertilización-N; PH= peso hectolítrico; GE= germinación estándar; PMS= Peso de mil semillas; LP= Longitud de plúmula.

Con relación a la interacción variedad*FFN, para la variable PH Gema C2004 mostró el valor más alto (81.17 kg ha⁻¹) cuando el fertilizante se fracciona en 00-30-70, en PMS este mismo fraccionamiento alcanzó los mayores valores en la variedad Urbina S2007, esto se debe, como se mencionó anteriormente, que la baja disponibilidad de N al momento de la siembra eleva las características de calidad de la semilla; sin embargo, como se mostró en el Cuadro 4, el rendimiento

con este fraccionamiento fue de los más bajos. En contraste, el porcentaje de GE en las tres variedades los valores más altos se encontraron en los fraccionamientos 30-70-00, 70-30-00 y 33-33-33.

Vigor de plántulas

Al analizar los caracteres de vigor de plántula (Cuadro 8), se observaron diferencias altamente significativas en los caracteres VE, IE, e ITE. Del mismo modo, en la descomposición de los cuadrados medios para los FFN se observaron diferencias significativas en todos los caracteres evaluados. En la interacción variedad*FFN los caracteres que mostraron diferencias significativas fueron VE, %E, IE, ITE, LPt e IV-II. La significancia estadística de los FFN indica que la forma de fraccionar el fertilizante-N tiene efectos tanto positivos como negativos en el vigor de semilla y plántula en comparación con el testigo absoluto y testigo regional. Salazar *et al.* (1996) y Wuest y Cassman (1992), observaron que en aplicaciones tardías de fertilizante-N en trigo, el N se moviliza más eficientemente a grano, por su parte, Rivera-Reyes *et al.* (2009) reportan que al haber mayor contenido de proteína en semilla de avena, también hay más contenido de ácido fítico, lo que se ve reflejado en mayor calidad fisiológica.

Cuadro 8. Cuadros medios, grados de libertad y nivel de significancia de para las variables de vigor de plántula evaluadas en invernadero. INIFAP-CEBAJ. Ciclo O-I 2012-2013.

Fuente de variación	gl	Cuadros medios ^a							
		VE (Pt d ⁻¹)	PE (%)	IE (d)	ITE (d)	PSPA (g)	LPt (cm)	IV-I	IV-II
Repeticiones	3	0.28	4.62	0.01	0.000004	0.002	0.077	10937.9	31.16
Variedades (V)	2	64.55**	19.73 ns	3.45**	0.0003**	0.01 ns	1.12 ns	2520.51 ns	81.14**
Error (a)	6	0.04	7.28	0.006	0.000003	0.001	0.2	9041.92	16.26
FFN	9	12.57**	638.8**	0.08**	0.0003**	0.01**	5.13**	177 874 **	263.2**
V*FFN	18	5.15**	25.65*	0.18**	0.00004**	0.005 ns	1.36*	2894 ns	53.69*
Error (b)	81	0.45	8.37	0.01	0.000008	0.0018	0.61	16833	17.05
CV (a)	-	1.74	2.95	1.37	3.2	9.58	3.51	8.03	10.22
CV (b)	-	5.91	3.16	2.11	4.6	10.07	6.07	10.95	10.47

*, **= significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad; gl= grados libertad; ns= no significativo; CV= coeficiente de variación; VE= velocidad de emergencia; PE= porcentaje de emergencia; IE= índice de emergencia; ITE= índice de la tasa de emergencia; PSPA= peso seco de la parte aérea; LPt= longitud de plántula; IV-I= índice de vigor I; IV-II= índice de vigor II.

En cuanto a variedades (Cuadro 9), se puede observar que en VE el valor más alto lo obtuvo Nana F2007 con 12.07 Pt d⁻¹, seguido de Gema C2002 y Urbina S2007 con 11.49 y 10.16, respectivamente; para %E Gema C2002 y Nana F2007 fueron estadísticamente iguales con valores de 90.6% y 91.4%, el valor más alto fue de 92% observado en Urbina S2007, el IE mayor fue 5.98 para Urbina S2007, seguido de Gema C2002 y Nana F2007 con 5.64 y 5.39 días; en relación al ITE las variedades Urbina S2007, Gema C2002 y Nana F2007 obtuvieron 0.065, 0.062 y 0.059 y para PSPA el valor más alto lo presentó Gema C2002 con 0.45, entre Nana F2007 y Urbina S2007 no existieron diferencias estadísticas. Para el IV-II Gema C2002 mostró el valor más alto con 40.8; resultados similares fueron reportados por Khabiri *et al.* (2012), al evaluar diferentes genotipos de trigo encontraron diferencias significativas en la velocidad de germinación. Con relación a las variables IE, E, PSPA, Martínez-Solís *et al.* (2010), observaron la misma tendencia entre genotipos

de maíz. Por otro lado, los parámetros LPt e IV-I no mostraron diferencias significativas, estos difieren con lo reportado en el cultivo de maíz por Cervantes *et al.* (2006), quienes encontraron diferencias significativas en todos los parámetros.

Cuadro 9. Vigor de plántula evaluada en invernadero, de las variedades Gema C2004, Nana F2007 y Urbina S2007.

Variedad	VE* (Pt d ⁻¹)	E (%)	IE (d)	ITE (d)	PSPA (g)	LPt (cm)	IV-I	IV-II
Gema C2002	11.49 b	90.6 b	5.64 b	0.062 b	0.45 a	12.96	1175	40.8 a
Nana F2007	12.7 a	91.4 ab	5.39 c	0.059 c	0.41 b	12.99	1186	38 b
Urbina S2007	10.16 c	92 a	5.98 a	0.065 a	0.42 b	12.68	1190	39.4 ab
DMS	0.3	1.28	0.05	0.0013	0.01	--	--	1.83

*= valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, $p \leq 0.05$); VE= velocidad de emergencia; E= porcentaje de emergencia; IE= índice de emergencia; ITE= índice de la tasa de emergencia; PSPA= peso seco de la parte aérea; LPt= longitud de plántula; IV-I= índice de vigor I e IV-II= índice de vigor II.

En los FFN, la comparación de medias indica que existe diferencia significativa en todas las variables evaluadas (Cuadro 10), los mejores PE se presentaron en los fraccionamientos 33-33-33, 30-70-00 y 70-30-00, las plántulas que mostraron mayor PSPA fueron las de los tratamientos 00-30-70, 30-70-00, 00-100-00 y 00-50-50. Las plántulas que alcanzaron mayor altura fueron las correspondientes al fraccionamiento 00-30-70 con 13.7 cm. Con relación a los IV-I y IV-II el tratamiento que mostró los valores mayores fue 30-70-00.

Cuadro 10. Vigor de plántula evaluada en invernadero, de los fraccionamientos de la fertilización-N.

FFN	VE (Pt d ⁻¹)	PE (%)	IE (d)	ITE (d)	PSPA (g)	LPt (cm)	IV-I	IV-II
00-00-00	9.9 f*	77 e	5.6 cd	0.072 a	0.38 de	12.2 d	941e	29.7 e
100-00-00	10.3 ef	86.6 d	5.8 a	0.067 b	0.41 cd	12.5 cd	1083 d	36.1 d
00-100-00	11.4 c	88.6 cd	5.6 cd	0.063 c	0.46 ab	13.2 ab	1178 cd	40.8 bc
50-50-00	12.04 b	96.66 b	5.6 bc	0.059 d	0.42 c	13.2 ab	1361.8 a	40.9 bc
00-50-50	10.9 cd	90.3 c	5.7 ab	0.063 c	0.45 ab	13.1 ab	1190 bc	41.4 bc
70-30-00	12.5 ab	98.6 ab	5.6 cd	0.057 de	0.36 e	11.4 e	1129 cd	35.7 d
30-70-00	13 a	99.3 a	5.5 d	0.055 e	0.47 a	13.2 ab	1318.8 a	47 a
00-30-70	10.6 de	87.66 d	5.7 ab	0.065 bc	0.48 a	13.7 a	1200 bc	42.2 b
00-70-30	11.2 c	88.3 cd	5.6 cd	0.064 c	0.43 bc	13 abc	1154 dc	38.5 cd
33-33-33	12.1 b	100 a	5.7 ab	0.057 de	0.41 cd	12.8 bcd	1285 ab	41.5 bc
DMS	0.574	2.35	0.09	0.002	0.03	0.63	105.39	3.35

*= valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, $p \leq 0.05$); VE= velocidad de emergencia; PE= porcentaje de emergencia; IE= índice de emergencia; ITE= índice de la tasa de emergencia; PSPA= peso seco de la parte aérea; LPt= longitud de plántula; IV-I= índice de vigor I e IV-II= índice de vigor II.

En la interacción variedad*FFN, la comparación de medias nos indica que para el PE Gema C2004 muestra los mejores porcentajes en los fraccionamientos 30-70-00, 70-30,00 y 33-33-33, al igual que Nana F2007 y Urbina S2007, pero estos dos fraccionamientos también obtuvieron resultados estadísticamente iguales en 50-50-00.

Para los valores de PSPA, los mejores fraccionamientos fueron 00-50-50, 30-70-00 y 00-70-30 para Gema C2004, 30-70-00 y 00-50-50 para Nana F2007, y para Urbina S2007, 00-100-00 y 00-30-70. Ninguno de los fraccionamientos coincidió en las tres variedades, esto indica que esta variable puede estar ligada más al genotipo que al FFN, en la variable LPt se observó el mismo comportamiento.

Conclusiones

Al fraccionar el fertilizante-N en 30-70-00 y 33-33-33 se incrementó la cantidad de semillas m², observando mayores rendimientos en la producción de trigo en comparación con la fertilización-N recomendada de 50-50-00 que actualmente se utiliza. El menor porcentaje de germinación estándar lo mostró el testigo, los fraccionamientos que se encuentran dentro de los estándares del SNICS (2013) son 50-50-00, 00-50-50, 70-30-00, 30-70-00 y 33-33-33. Los mejores porcentajes de emergencia se presentaron en los fraccionamientos 33-33-33, 30-70-00 y 70-30-00. Con relación a los IV-I y IV-II, el mejor tratamiento fue 30-70-00. El FFN en el que se observaron los mejores resultados tanto en las variables de rendimiento, calidad fisiológica de semilla y vigor de plántula fue 30-70-00.

Literatura citada

- Cervantes, O. F.; García, S. D.; Carballo, C. A.; Bergvinson, D. A.; Crossa, J. L.; Mendoza, E. M. y Moreno, M. E. 2006. Análisis dialélico para caracteres de vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agric. Téc. Méx.* 32(1):77-87.
- Echeverría, H.; Barbieri, P.; Sainz, R. H. y Covacevich, F. 2005. Fertilización nitrogenada y métodos de diagnóstico de requerimientos de nitrógeno en trigo. *Informaciones Agronómicas.* 26(1):8-15.
- Echeverría, H. y Studdert, G. 1998. El contenido de nitrógeno en la hoja bandera de trigo como predictivo del incremento de proteína en grano por aplicaciones de nitrógeno en espigazón. *Rev. Fac. Agron. La Plata.* 103(1)27-36.
- Fakorede, M. A. B. and Ayoola, A. O. 1980. Relationship between seedling vigor and selection for yield improvement in maize. *Maydica.* 25(3):135-147
- Fakorede, M. A. B. and Ojo, D. K. 1981. Variability for seedling vigor in maize. *Exptal. Agrie.* 17(2):195-201.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1994. World reference base for soil resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 161 p.
- Ferraris, G. N.; Couretot, L.; Toribio, M. y Falconi, R. 2008. Fertilización de Soja: ¿Qué estrategia adoptamos? Ensayo de larga duración en la secuencia maíz-soja-cebada/soja-trigo/soja. Arribeños, partido de general arenales Campaña 2007/08. *Fertilizando.com.* <http://www.fertilizando.com/articulos/Fertilizacion%20Soja%20Estrategia%20Adoptamos.asp>. (20 de febrero de 2018).

- Galantini, J.; Landriscini, M. e Iglesias, J. 2007. Efectos de largo plazo de la siembra directa en el SO Bonaerense: Respuesta a la aplicación de N y su eficiencia de uso. *In: Ciencia y experiencia para una siembra directa sustentable en los ambientes frágiles del S y SO Bonaerense. Revista Técnica Especial AAPRESID.* 96 p.
- International Seed Teesting Association. 1995. Rules. Seed of vigor test methods. 2nd. ed. Zurich. 117 p.
- Khabiri, E.; Alaei, Y.; Moosavi, S. S.; Khanghah, A. M. and Jafari, M. 2012. Effect of biological fertilizers on germination indices in wheat cultivars with drought in greenhouse. *Life Sci. J.* 99 (4):2716-2720.
- Kharb, R. P. S.; Lather, B. P. S. and Deswal, D. P. 1994. Prediction of field emergence through heritability and genetic advance of vigour parameters. *Seed Sci. Technol.* 22(3)461-466.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination. Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2(2)176-177.
- Martínez, S. J.; Virgen, V. J.; Peña, O. M. G. y Santiago, R. A. 2010. Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 13(3):289-304.
- Rivera, R. J. G.; Peraza, L. F. A.; Serratos, A. J. C.; Posos, P. P.; Guzmán, M. S. H.; Cortez, B. E.; Castañón, N. G. y Mendoza, E. M. 2009. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosforada en el contenido de ácido fítico y vigor de la semilla de avena de la variedad Saia en México. *Phyton.* 78(1):37-42.
- SAGARPA e INCA. 2011. Plan rector sistema producto nacional Trigo. Documento validado por el comité sistema producto trigo en sesión del 17 de diciembre de 2011. México. 73 p.
- Salazar, G. M.; Moreno R. O.; Salazar G. R. and Carrillo M. L. 1996. Wheat production as affected by seeding rate x fertilization interaction. *Cereal Res.* 24(2):231-237.
- SIAP. 2014. Cierre de producción agrícola por cultivo/por estado. Ciudad de México, México. <http://www.siap.gob.mx>.
- SNICS. 2013. Sistema Nacional de Inspección y Certificación de semilla. Muñoz, H. J. A. Fase de laboratorio en el proceso de calificación de semillas. [file:///c:/users/inifa/downloads/calificacion-lab%20\(1\).pdf](file:///c:/users/inifa/downloads/calificacion-lab%20(1).pdf).
- Solís, M. E.; Ríos R.; García, N. S.; Arévalo, V. H.; Grageda, C. O.; Vuelvas, C. O.; Díaz de León, T. M.; Aguilar, A. G.; Ramírez, R. A.; Narro, S.; Bujanos, M.; Marin, J. y Peña, M. R. 2007. Producción de trigo en el Bajío. INIFAP, Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. Folleto técnico núm. 3. 92 p.
- Solís, M. E.; De la Cruz, G. M.; Ramírez, R. A. y Suaste, F. M. 2009. Efecto de la fecha de siembra sobre el rendimiento y sus componentes en genotipos de trigo. *In: Galdaméz, G. J.; Guevara, H. L.; Soto P. J.; López, M. y Vázquez, G. (Comp.). Universidad Autónoma de Chiapas, Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible, AC. ISBN: 978-607-8003-17-4.*
- Vázquez, M. M. 2013. Evaluación agroindustrial de tres variedades pre comerciales de trigo. Instituto Tecnológico Superior del Occidente del estado de Hidalgo. *Ciencia y Tecnología.* 13(1):117-132.
- Wuest, S. B. and Cassman, K. G. 1992. Fertilizer nitrogen use efficiency of irrigated wheat:II. partitioning efficiency of preplant versus late season application. *Agron. J.* 84(4):689-694.