

Calidad física de semilla en 24 variedades mejoradas de trigo liberadas en México

Salvador Carranza-González¹
Aguiles Carballo-Carballo¹
Héctor Eduardo Villaseñor-Mir^{2§}
Adrián Hernández-Livera¹
Ma. Elena-Ramírez¹

¹Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas-Colegio de Postgraduados. *Campus* Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. ²Programa de Trigo y Avena-Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera los Reyes- Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250.

§Autor para correspondencia: villasenor.hector@inifap.gob.mx.

Resumen

La calidad de la semilla es un concepto agronómico que considera atributos físicos, fisiológicos, genéticos y sanitarios; los cuales permiten un establecimiento adecuado del cultivo para lograr buena productividad óptima. Alrededor de 95% del trigo cultivado por la humanidad es trigo harinero, producto obtenido por los programas de mejoramiento genético alrededor del mundo. El objetivo de este estudio fue evaluar las características de calidad física de 24 variedades de trigo provenientes de la colección del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. La semilla de las variedades para el análisis de calidad se incrementó en condiciones de campo durante dos ciclos. El diseño experimental empleado fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En la evaluación se agruparon las variedades en ocho décadas de acuerdo con el año de liberación y se analizaron los datos de dos formas, por variedades y años y por décadas. Se evaluaron tres variables y los resultados indican que para peso de mil semillas se aumentó hasta en 30% su valor en variedades modernas; mientras que para peso volumétrico fue de 7%, para porcentaje de humedad no se detectó diferencia entre las variedades generadas en las diferentes décadas. Las 24 variedades evaluadas tuvieron un comportamiento aceptable bajo los estándares que la industria semillera demanda. Se concluye que el mejoramiento genético de trigo en México ha influenciado de manera positiva y de forma significativa en el peso de mil semillas.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., calidad física de semilla, mejoramiento genético, peso de mil semillas, peso volumétrico.

Recibido: enero de 2022
Aceptado: mayo de 2022

Introducción

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el cereal más utilizado en la alimentación humana debido a su alto valor energético y mayor contenido de proteínas en comparación con maíz (*Zea mays* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.). Este cereal se cosecha prácticamente en todo el mundo, aunque el hemisferio norte presenta condiciones más propicias para su cultivo como altitud y bajas temperaturas. La superficie de trigo que se siembra a nivel mundial y su comercio superan a los demás cultivos agrícolas juntos (FIRA, 2015). En México se produjeron en 2020 cerca de tres millones de toneladas, concentradas en los estados de Sonora, Baja California y Guanajuato al aportar en conjunto 72.7% de la producción nacional (SIAP, 2022), el cultivo es considerado como el segundo cereal más importante en la dieta de los mexicanos, que consumen en promedio 57.4 kg per cápita al año.

Durante 2019 se sembraron alrededor de 10 000 ha para producción de semilla, de las cuales se obtuvieron aproximadamente 66 800 t de categoría certificada, la cual cubre 53% de la demanda nacional (Córdova-Téllez *et al.*, 2019), que en su mayoría correspondió a variedades generadas por el mejoramiento genético. El mejoramiento genético de trigo en México se ubica entre los más dinámicos y exitosos en el mundo, ya que a partir de 1946 y mediante diferentes estrategias se ha logrado incorporar los genes *Ppd1* y *Ppd2* para obtención de variedades insensibles al fotoperiodo, la selección del gen *Sr2* que a la fecha sigue dando inmunidad a la roya del tallo, la incorporación de los genes *Rht1* y *Rht2* que causaron reducción en la altura de planta, la translocación 1BL/1RS que acarrió genes favorables como *Lr26*, *Sr31* y *Yr9* que aportaron en la resistencia a royas, los complejos de genes menores *Lr31*, *Lr34* y *Lr36* que han generado variedades con resistencia durable a roya de la hoja, la incorporación en las variedades de los genes *Yr18*, *Yr28* y *Yr29* que han mejorado la resistencia a roya amarilla y se ha mejorado la calidad industrial a través de las mejores combinaciones de gluteninas de alto peso molecular, de bajo peso molecular y gliadinas (Villaseñor, 2015).

También han sido importantes los avances genéticos en el rendimiento de grano, incrementándose aproximadamente de 4 a 7.3 t ha⁻¹ de 1948 al 2014 (Paquini *et al.*, 2016). Los resultados del mejoramiento genético de trigo en México se pueden sintetizar en la liberación de 234 variedades que han sido la base de la producción nacional, los principales objetivos están encaminados hacia: control genético de la roya del tallo, reducción del porte de planta, incremento en el rendimiento, control genético de las royas de la hoja y amarilla, mejoramiento de la calidad industrial, tolerancia a enfermedades foliares y tolerancia a la sequía principalmente (Villaseñor, 2015). En el proceso de mejora genética en México la calidad física de la semilla no ha sido considerada como objetivo en las investigaciones.

Se considera semilla de buena calidad cuando ésta presenta pureza varietal y física, alto desempeño fisiológico y libre de patógenos, atributos que determinan la germinación, vigor y longevidad (Bishaw *et al.*, 2007; Goggi *et al.*, 2008; Courbineau, 2012; ISTA, 2015; García-Rodríguez *et al.*, 2018). En México, con excepción de estudios como el de Gutiérrez *et al.* (2006), Fernández *et al.* (2015) y Noriega *et al.* (2019), se ha realizado poca investigación sobre calidad de semilla en trigo. Fernández *et al.* (2015), determinaron que el ambiente de producción tiene influencia sobre la calidad física y fisiológica de la semilla, en caracteres como el porcentaje de germinación, velocidad de emergencia, longitud de la plúmula, entre otras.

Para el caso de la calidad física de la semilla no se tienen reportes sobre estudios previos expresos que utilicen mejoramiento genético para estudiar dicha característica. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el porcentaje de humedad, peso volumétrico y peso de mil semillas, en 24 variedades de trigo liberadas durante ocho décadas y en función de los resultados, analizar la influencia del mejoramiento genético y su impacto sobre la calidad física de la semilla.

Materiales y métodos

Material genético

El material genético fue proporcionado por el Programa de Trigo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Valle de México, el cual consistió en un lote de veinticuatro variedades de trigo harinero que fueron desarrolladas a través de ocho décadas de investigación (Cuadro 1). Éstas se incrementaron durante los ciclos Otoño- Invierno (O-I), O-I/2018-19 y O-I/2019-20 en parcelas de cuatro surcos de 3 m de largo y con una separación de 30 cm entre surcos bajo condiciones de riego en el Campo Experimental Bajío del INIFAP, la semilla obtenida se utilizó para evaluar su calidad física.

Cuadro 1. Variedades de trigo de la colección nacional de trigo de INIFAP estudiadas y liberadas en diferentes épocas.

Num.	Variedad	Genealogía *	Año de liberación	Década
1	Candéal 48	nd	1948	1
2	Chapingo 48	Newthatch/Marroqui588	1948	
3	Kentana 48	nd	1948	
4	Chapingo 53	Kt48/Y48	1953	2
5	Mexe 53	Y48/Kt48	1953	
6	Bajío 53	Y50/Kt48	1953	
7	Siete Cerros T66	Pj62/Gb55	1966	3
8	Tobari F66	Tzzp/Sn64a	1966	
9	Ciano F67	Pi/Chr//Sn64	1967	
10	Ciano T79	By/Maya/4/Bb//HDd832.5.5/On/3/Cno67/Pj62	1979	4
11	Imuris T79	By/Maya/4/Bb//Hd832.5.5/0n/3/Cno67IPj62	1979	
12	Tesia F79	Pl/3/1nia66/Cno//Cal/4/Bjy	1979	
13	Seri M82	KvzIBuho//Ka1/Bb	1982	5
14	Ópata M85	Bjy/Jup	1985	
15	Bacanora T88	Jup/Bjy//Ures	1988	
16	Baviácora M92	BowlNac/Nee/3/Bjy/Coc	1992	6
17	Borlaug M95	Hahn*2/PrI	1995	
18	INIFAP M97	Hahn12*Weaver	1997	

Num.	Variedad	Genealogía*	Año de liberación	Década
19	Tacupeto F2001	Babax*2/9/KtlBage/IFnIU/3IBza/41Trrn/5/Alda nl6/S Rhlleri/7/Yr/S/Opata	2001	7
20	Kronstad F2004	Vee/Koel//Siren13/Ariv92	2004	
21	Roelfs F2007	Tacupeto F2001 x 2/Kukuna	2007	
22	Borlaug 100 F2014	Roelf07/4/Bow/Nkt//Cbrd/3/Cbrd/5/Fret2/Tukur u//Fret2	2014	8
23	Bacorehuis F2015	Rolf07*2/5/Reh/Hare//2*BCN/3/CROC_1/AE.S quarrosa(213)//PGO/4/Huites	2015	
24	Conatrigo F2015	Thelin/2*Wbll1	2015	

*= Huerta *et al.* (2011); nd= genealogía no disponible.

Variables evaluadas

El porcentaje de humedad (PH) se determinó en base húmeda pesando previamente cajas de aluminio vacías a las que se les colocaron 3 g de semilla, se volvieron a pesar las cajas con la semilla y se utilizó el método de la estufa a 130 °C durante dos horas, empleando una estufa de laboratorio marca Thermo Scientific® OV702G, se establecieron cuatro repeticiones por variedad y una vez concluido el secado se hizo un pesado de la caja con la semilla y con los resultados se hizo el cálculo mediante la siguiente ecuación: $PH (\%) = \left[\frac{P2-P3}{P2-P1} \right] \times 100$. Donde: P1= peso de la caja y su tapa (g); P2= peso de la caja, tapa y semilla (g); P3= peso de la caja, tapa y semilla después del secado en la estufa (g).

El peso volumétrico (PVOL) se determinó vertiendo 50 g de semilla en una probeta de 100 ml, se midió el volumen ocupado por la semilla dentro de la probeta y los resultados se calcularon mediante la siguiente fórmula: $PVOL (kg \text{ hl}^{-1}) = \left(\frac{\text{Peso de semilla (50 g)}}{\text{Volumen ocupado (ml)}} \right) \times 100$

El peso de mil semillas (PMS) se determinó contando y pesando ocho repeticiones de 100 semillas cada una, se calculó el promedio, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Cuando el coeficiente de variación obtenido fue menor de 4, el peso de mil semillas se obtuvo multiplicando la media aritmética de las ocho repeticiones por 10 (ISTA, 2015).

Diseño experimental

Las variedades se agruparon por décadas de acuerdo con el año de liberación, conformando tres variedades una década (Cuadro 1). La evaluación se realizó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar. Se realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de medias para variedades y años y para décadas de las variables respuesta (Tukey, 0.05). Se empleó el programa estadístico SAS versión 9.4 para el procesamiento de la información (SAS, 2019).

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró que para la variable peso de mil semillas (PMS) hubo diferencias significativas para los factores variedades y años y para la interacción variedad \times año, con una media general de 40.06 g. Para PVOL (Cuadro 2), se presentaron diferencias altamente significativas en los factores variedades y años y para su interacción, con una media general de 80.35 kg hl⁻¹, mientras que para PH se obtuvieron diferencias altamente significativas entre variedades, años y su interacción, con una media de 8.23%. El coeficiente de variación para las tres variables fue bajo, por lo que los resultados son confiables.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables de calidad física evaluadas en semilla de 24 variedades de trigo.

FV	gl	PMS (g)	PVOL (kg hl ⁻¹)	PH (%)
Repetición	3	0.54 ns	0.13 ns	0.11 ns
Variedades	23	206.38**	15.24**	1.08**
Años	1	318.72**	557.7**	35.64**
Variedades \times años	23	25.97**	6.48**	0.36**
Error	141	12.54	2.42	0.1
Total	191			
CV (%)		8.84	1.93	3.91
Media		40.06	80.35	8.23

FV= fuente de variación; gl= grados de libertad; CV= coeficiente de variación; PMS= peso de mil semillas; PVOL= peso volumétrico, PH= porcentaje de humedad; **= altamente significativo; ns= no significativo.

En el Cuadro 3 se presenta la comparación de medias para variedades, donde se observa que para la variable PMS, la variedad Conatrigo F2015 presentó el valor más alto (48.41 g), seguidas de Borlaug 100 F2014 y Bacorehuis F2015 con 47.55 y 47 gramos respectivamente; por otro lado, Candeal 48 y Bacanora T88 obtuvieron el menor peso con 29.75 y 34.05 g, respectivamente. Würschum *et al.* (2018) consideran que explorar la variación genética del PMS y sus rasgos relacionados con otros componentes son un enfoque eficaz para aumentar el rendimiento de trigo, los resultados coinciden con lo que indican Valenzuela *et al.* (2018) en referencia a las variedades antes mencionadas como las de mayor rendimiento y con Paquini *et al.* (2016) quienes afirman que PMS se relaciona linealmente y positivamente con la época de liberación de las variedades, indicando que éste carácter ha contribuido significativamente al aumento del rendimiento de grano en el mejoramiento genético de trigo en México.

En la variable PVOL, la variedad Siete Cerros T66 mostró el valor medio más alto respecto a las demás variedades (82.68 kg hl⁻¹); Conatrigo F2015 y Borlaug M95 le siguen con promedios de 82.01 y 82 kg hl⁻¹ respectivamente; por otro lado, variedades como Chapingo 53 y Candeal 48 presentaron los valores más bajos, lo cual coincide con lo expuesto por Gutiérrez *et al.* (2006) quienes afirman que el peso volumétrico no es un parámetro indicativo del peso de mil semillas, ya que variedades con pesos volumétricos altos tuvieron pesos medio y/o bajos de mil semillas, como la variedad Siete Cerros T66 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de medias de las variables de calidad física evaluadas en semilla de 24 variedades de trigo.

Variedades	PMS (g)	PVOL (kg hl ⁻¹)	PH (%)
Conatrigo F2015	48.41 a	82.01 ab	8.28 bcdefg
Borlaug 100 F2014	47.55 ab	79.73 hij	8.01 fgh
Roelfs F2007	47.02 bc	80.21 fghi	8.28 bcdefg
Bacorehuis F2015	47 bc	78.8 jkl	8.03 fgh
Baviácora M92	46.39 cd	80.17 fghi	8.20 cdefgh
Tacupeto F2001	45.36 d	80.34 efgh	8.77 a
Siete Cerros T66	44.05 e	82.68 a	8.51 abcd
INIFAP M97	41.87 f	81.05 cdef	8.04 efgh
Chapingo 53	42.69 f	78.17 l	8.09 defgh
Borlaug M95	40.03 g	82 ab	7.93 ghi
Imuris T79	40.03 g	79.83 hi	7.51 ij
Seri M82	39.54 g	81 cdef	8.6 abc
Kentana 48	39.44 g	81.35 bcd	8.37 abcdefg
Bajío 53	39.1 g	80.85 cdefg	8.12 defgh
Mexe 53	37.45 h	78.82 jkl	8.62 abc
Ópata M85	37.38 h	80.54 defgh	8.72 ab
Kronstad F2004	37.27 h	81.18 bcde	8.49 abcde
Tobari F66	36.6 hi	79.95 ghi	8.29 bcdefg
Chapingo 48	35.65 ij	79.37 ijk	8.26 cdefg
Ciano T79	35.41 j	81.69 bc	7.79 hij
Ciano F67	34.81 jk	78.77 kl	7.97 fgh
Tesia F79	34.55 jk	81.52 bc	7.38 j
Bacanora T88	34.05 k	81.53 bc	8.39 abcdef
Candeal 48	29.75 l	76.94 m	8.81 a
Tukey ($\alpha=0.05$)	1.1195	0.9408	0.4554

PMS= peso de mil semillas; PVOL= peso volumétrico; PH= porcentaje de humedad. Valores con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Para la variable PH, Candeal 48 y Tacupeto F2001 presentaron los valores más altos, mientras que Tesia F79 presentó el valor más bajo; las variedades de reciente liberación, como Borlaug 100 y Bacorehuis F2015, presentaron valores bajos, lo cual indica que se ha mantenido la tendencia de las variedades a tener contenidos de humedad por debajo de lo establecido en las reglas técnicas de

certificación. El porcentaje de humedad influye en las propiedades fisiológicas de la semilla de trigo, provocando que sea más susceptible a la activación enzimática (Faltermaier *et al.*, 2014). Asimismo, este parámetro influye en otras propiedades de la semilla como densidad aparente, densidad real, porosidad, longitud, ancho, espesor y diámetro medio aritmético y geométrico del grano (Sologubik *et al.*, 2013).

En la Figura 1, se muestra el comportamiento medio de la interacción variedad \times año para la variable PMS, se observa que una misma variedad puede presentar valores contrastantes, tal es el caso de Siete Cerros T66, Borlaug M95, Roelfs F2007, Borlaug 100 F2014, Bacorehuis F2015 y Conatrigo F2015, las cuales incrementaron su peso respecto al primer ciclo de producción; esta variación entre ciclos se atribuye a los efectos de la interacción genotipo \times ambiente. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Paquini *et al.* (2016) mencionando que para la misma localidad y sistema de producción (riego normal), se pueden tener diferencias de hasta 30% en el rendimiento en condiciones favorables con respecto al riego limitado.

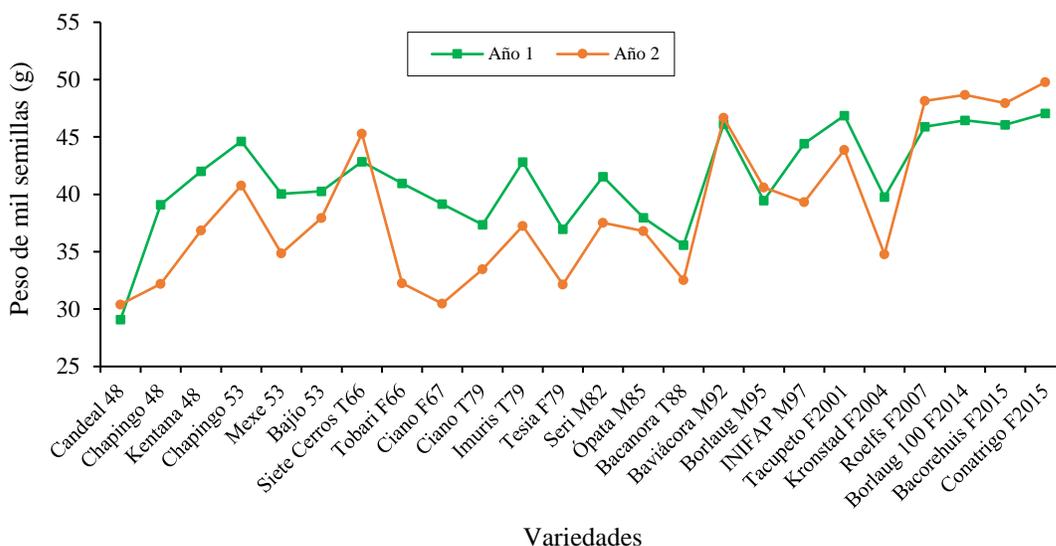


Figura 1. Comportamiento medio de la interacción variedad \times año para la variable peso de mil semillas (PMS).

La Figura 2 muestra el comportamiento medio de la interacción variedad \times año para la variable PVOL, las variedades en el Año 2 obtuvieron valores bajos respecto al primer año, aunque ambos ciclos de producción se realizaron en la misma localidad (Roque, Guanajuato), las condiciones ambientales (temperatura y manejo del cultivo) de cada año influyeron indirectamente en este parámetro de calidad. Tomando en cuenta esta referencia, el PVOL se vio afectado hasta en 7% en promedio, dentro de una misma variedad, por lo que se consideraría al segundo ciclo de producción como un ambiente con condiciones no favorables. Estos resultados apoyan hallazgos previos reportados por Fernández *et al.* (2015); Guzmán *et al.* (2016) al encontrar una influencia positiva por el ambiente de producción favorable a los parámetros de calidad física de la semilla, así como una respuesta diferencial entre variedades a los diferentes ambientes (ciclos) de producción.

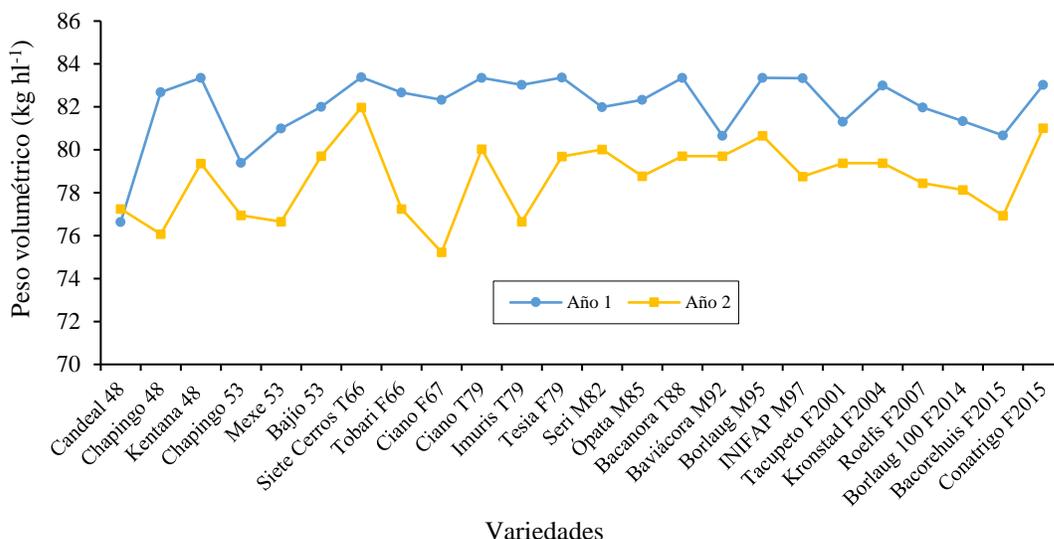


Figura 2. Comportamiento medio de la interacción variedad x año para la variable peso volumétrico (PVOL).

En la Figura 3 se presenta el comportamiento medio de la interacción variedad × año para la variable PH, se puede destacar el segundo ciclo de producción con valores más altos en todas las variedades; sin embargo, para ambos ciclos los contenidos de humedad se encuentran por debajo de los estándares que la industria semillera demanda. Tesia F79 mostró un valor de 6.89% de humedad, lo cual puede resultar desfavorable, ya que valores muy bajos tienden afectar otras características de la semilla como viabilidad, germinación y vigor de la plántula. Al ser parte del proceso de postcosecha, se deben requerir niveles de humedad menores a 12% dependiendo del clima, este parámetro es indispensable monitorearlo ya que permite determinar la duración del transporte, el almacenamiento y el beneficio de la semilla (Christopolus y Ouzounidou, 2020).

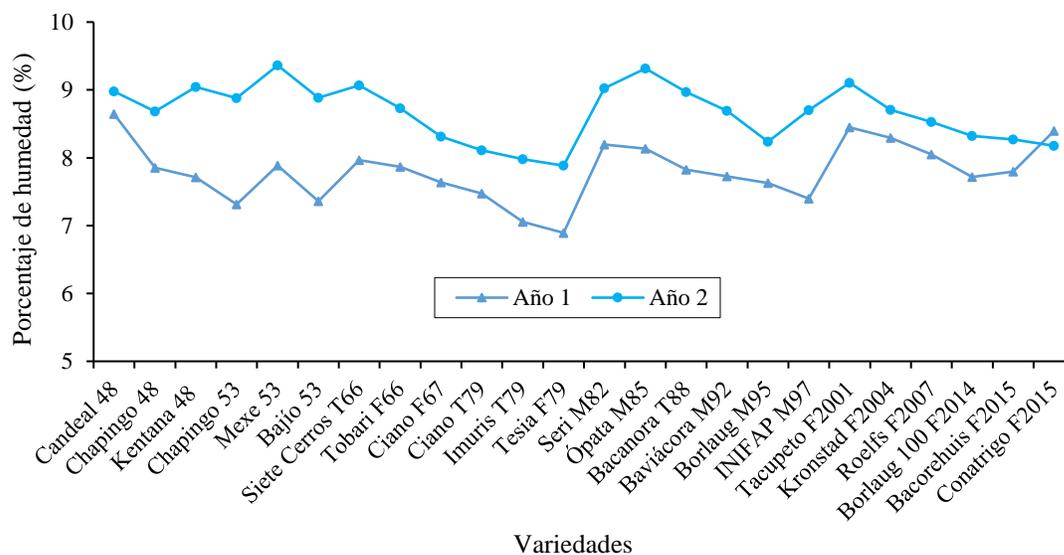


Figura 3. Comportamiento medio de la interacción variedad x año para la variable porcentaje de humedad (PH).

En el Cuadro 4 se presenta el análisis de varianza para comparar la calidad física de la semilla entre las ocho décadas de mejoramiento genético, para PMS se obtuvieron diferencias altamente significativas para décadas y años, mientras que para su interacción se obtuvieron solamente diferencias significativas en PMS, con media general de 40.06 g. En la variable PVOL, se presentaron diferencias altamente significativas para décadas y años, pero no para su interacción, alcanzando una media de 80.35 kg hl⁻¹. Por otra parte, para PH se observan diferencias altamente significativas entre décadas, años y su interacción, con media general de 8.23%.

Cuadro 4. Cuadros medios y significancia estadística para las variables de calidad física de 24 variedades de trigo considerando décadas.

FV	gl	PMS (g)	PVOL (kg hl ⁻¹)	PH (%)
Repetición	3	0.54 ns	0.13 ns	0.11 ns
Décadas	7	427.22**	13.48**	2.59**
Años	1	318.72**	557.7**	35.64**
Décadas × año	7	33.47*	3.13 ns	0.85**
Error	173	12.54	2.42	0.1
Total	191			
CV (%)		8.84	1.93	3.91
Media		40.06	80.35	8.23

FV= fuente de variación; gl= grados de libertad; PMS= peso de mil semillas; PVOL= peso volumétrico, PH= porcentaje de humedad; * = altamente significativo (Tukey $\alpha=0.001$ de probabilidad); ns= no significativo.

En el Cuadro 5 se presenta el comportamiento medio por cada una de las décadas. para la variable PMS. La década 8, conformada por las tres variedades de más reciente liberación, muestran la mayor media con 47.6 g, lo cual coincide con Sehgal *et al.* (2019), quien afirma que PMS es un rasgo hereditario estable y también un objetivo de selección importante para la mejora genética del rendimiento de trigo, lo que se ha obtenido durante el proceso de mejora genética en los trigos mexicanos.

Cuadro 5. Comparación de medias de las variables de calidad física evaluadas en 24 variedades de trigo por década.

Década	PMS (g)	PVOL (kg hl ⁻¹)	PH (%)
8	47.66 a	80.18 ab	8.11 c
7	43.22 b	80.58 ab	8.52 ab
6	42.76 bc	81.07 a	8.06 c
2	39.75 cd	79.28 b	8.28 bc
3	38.49 d	80.47 ab	8.26 bc
5	36.99 de	81.02 a	8.57 a
4	36.66 de	81.02 a	7.56 d
1	34.95 e	79.22 b	8.48 ab

PMS= peso de mil semillas; PVOL= peso volumétrico; PH= porcentaje de humedad. Valores con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Para la variable PVOL, las décadas 4, 5 y 6 fueron estadísticamente iguales obteniendo 81.02, 81.02 y 81.07 g respectivamente (Cuadro 5), estos valores, para las décadas superaron a los reportados por Castañeda *et al.* (2009). En México, se ha enfatizado en incrementar el rendimiento de grano mediante el mejoramiento *per se* de sus componentes; sin embargo, González *et al.* (2010) y Rodríguez *et al.* (2011) consideran que existen otras variables productivas y de manejo agronómico que pueden influir en éste (fuerza de gluten, fecha de siembra, fertilización, etc.). Por otro lado, para PH, la década 5 presentó el valor más alto con una media de 8.57%, mientras que la década 4 arrojó el valor medio más bajo con 7.56%.

De manera general se observó que las tres últimas décadas (6, 7 y 8) mantuvieron valores altos para PMS, Tian *et al.* (2011) atribuyen un aumento lineal por década de mejoramiento en estos parámetros al desarrollo de cultivares desde la década de 1950 hasta el 2000, el PMS principalmente está determinado por factores genéticos, los cuales se ven influenciados por efectos de interacción genotipo \times medio ambiente (Liu *et al.*, 2020), PVOL presentó un comportamiento similar en las últimas décadas (7 y 8), el cual se atribuye a la diferencia de tamaño de grano que existe entre las variedades estudiadas (Su *et al.*, 2016).

Consideran que características como longitud, ancho y grosor de grano actúan como componentes en el peso y tamaño de este, estos rasgos contribuyen indirectamente al rendimiento y al PMS, considerándose como un predictor de la calidad de trigo asociado al proceso de la molienda (Osborne y Anderssen, 2003). El PH es un parámetro que dependiendo de las circunstancias permite la comercialización, el almacenamiento y el uso del grano/semilla, por lo que a la fecha no se ha considerado como un criterio de selección en los programas de mejoramiento genético de trigo en México.

En la Figura 4 se observa una tendencia ascendente de PMS a través de las décadas, por lo que se puede decir que las variedades de trigo liberadas en México han ido incrementando la magnitud de ésta variable a razón del paso del tiempo, Ayoub *et al.* (2002); Qin *et al.* (2015); Liu *et al.* (2020) indican que PMS aumenta significativamente con la liberación y uso de variedades modernas, presentando una relación positiva con otros componentes de rendimiento y consideran que éstos son rasgos controlados por múltiples genes influenciados por las condiciones ambientales.

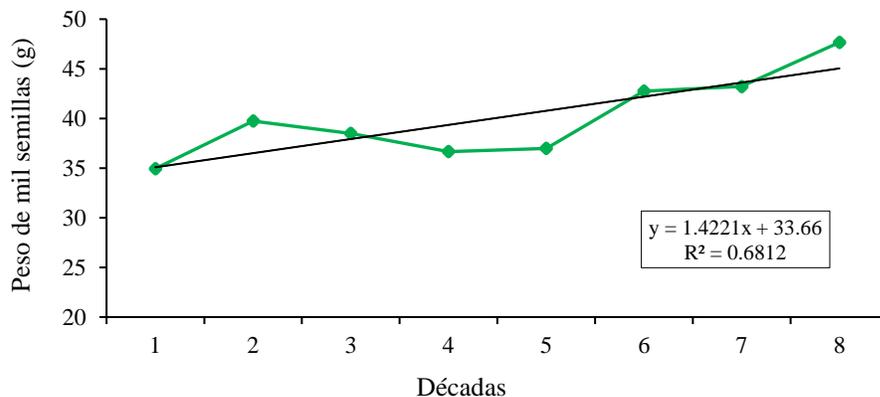


Figura 4. Comportamiento medio del peso de mil semillas (PMS) en 8 décadas.

Por otra parte, la Figura 5 muestra una tendencia creciente respecto a la variable PVOL; sin embargo, para las últimas dos décadas (de 2001 al 2015) se obtuvieron valores bajos. Fernández *et al.* (2015) consideran al peso volumétrico como un indicador de la calidad obtenida en campo en relación con el manejo agronómico y las condiciones ambientales que se presentan durante el desarrollo del cultivo y son expresadas en la semilla, en la presente investigación los valores de PVOL dependieron más de los genotipos que del efecto ambiental, ya que, en los dos ciclos de cultivo, el comportamiento de las décadas fue muy semejante.

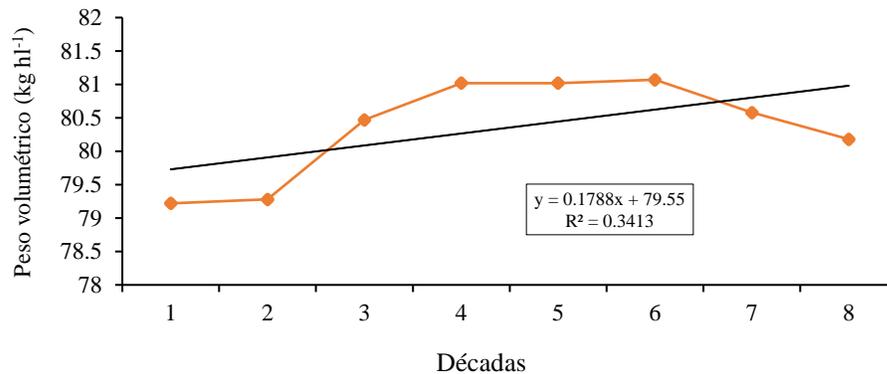


Figura 5. Comportamiento medio del peso volumétrico (PVOL) en 8 décadas.

En la Figura 6 se nota que, a través de las décadas, los valores de PH han mostrado un comportamiento irregular, con valores por debajo de los requerimientos de la industria semillera, en esta variable no se observó un efecto del mejoramiento genético.

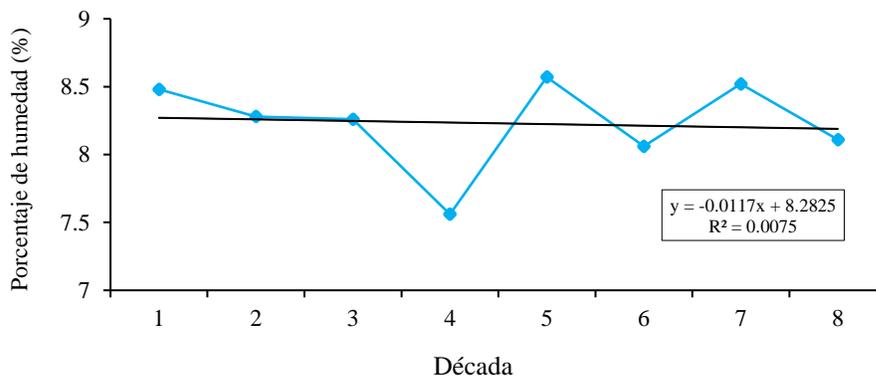


Figura 6. Comportamiento medio del porcentaje de humedad (PH) en 8 décadas.

Conclusiones

El mejoramiento genético de trigo en México ha influenciado de manera positiva y de forma significativa el peso de mil semillas, variable de la calidad física de la semilla que ha sido considerada dentro del proceso de selección de líneas experimentales. El peso volumétrico de la semilla también se ha incrementado por el mejoramiento genético; sin embargo, no muestra una tendencia como el peso de mil semillas. Variedades generadas en la última década (Borlaug 100 F2014, Bacorehuis F2015 y Conatrigo F2015) presentaron mayor peso de mil semillas, por lo que se sugiere su uso como progenitores en el mejoramiento genético para continuar con el incremento del rendimiento de grano.

Literatura citada

- Ayoub, M.; Symons, S. J.; Edney, M. J. and Mather, D. E. 2002. QTLs affecting kernel size and shape in a two-rowed by six-rowed barley cross. *Theor. Appl. Genet.* 105(2-3):237-247. Doi 10.1007/s00122-002-0941-1.
- Bishaw, Z.; Niane A. A. and Gan, Y. 2007. Quality seed production. *In: lentil. An ancient crop for modern times.* Yadav, S. S.; McNeil, D. and Stevenson, P. C. (Ed.). Springer. Dordrecht, the Netherlands. 349-383. pp. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6313-8_21.
- Castañeda, S. M. C.; López, C. C.; Colinas, L. M. T. B.; Molina, M. J. C. and Hernández, L. A. 2009. Rendimiento y calidad de la semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. *Interciencia.* 24(4):286-292. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33911575011>.
- Christopoulos, M. V. and Ouzounidou, G. 2020. Climate change leading to postharvest losses in bread wheat. *In: climate change and food security with emphasis on wheat.* 257-264 pp. Academic press. Lykovrissi, Greece. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819527-7.00017-0>.
- Córdova-Téllez, L.; Caballero, G. M. A.; Hernández, N. N. Y. y Ríos, S. E. 2019. Boletín informativo de producción de semilla calificada por el SNICS. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Ciudad de México, México. 96 p.
- Courbineau, F. 2012. Markers of seed quality: from present to future. *Seed science research.* 22(S1):S61-S68. <https://doi.org/10.1017/S0960258511000419>.
- Faltermaier, A.; Waters, D.; Becker, T.; Arendt, E. and Gastl, M. 2014. Common wheat (*Triticum aestivum* L.) and its use as a brewing cereal: a review. *J. Institute Brewing.* 120(1):1-15. <http://doi.org/10.1002/jib.107>.
- Fernández, S. R.; Carballo, C. A.; Villaseñor, M. H. E. y Hernández, L. A. 2015. Calidad de la semilla de trigo de temporal en función del ambiente de producción. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(6):1239-1251. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S20079342015000600008&lng=es&tlng=es.
- FIRA. 2015. Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura. Panorama agroalimentario. Trigo. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial, FIRA Banco de México. México. 41 p.
- García-Rodríguez, J. J.; Ávila-Perches, M. A.; Gámez-Vázquez, F. P.; O-Olán, M. y Gámez-Vázquez, A. J. 2018. Calidad física y fisiológica de semilla de maíz influenciada por el patrón de siembra de progenitores. *Rev. Fitotec. Mex.* 41(1):31-37. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.31-37>.
- Goggi, A. S.; Caragea, P.; Pollak, L.; Andrews, G.; Vries, M. and Montgomery, K. 2008. Seed quality assurance in maize breeding programs: tests to explain variations in maize inbreds and populations. *Agron, J.* 100(2):337-343. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0151>.
- González, A.; Pérez, D. J.; Sahagún, J.; Franco, O.; Morales, E. J.; Rubí, M.; Gutiérrez, F. y Balbuena, A. 2010. Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle de Toluca Atlacomulco, México. *Agron. Costarricense.* 34(2):129-143.
- Gutiérrez, G. A. S.; Carballo, C. A.; Mejía, C. J. A.; Vargas, H. M.; Trethowan, R. y Villaseñor, M. H. E. 2006. Caracterización de trigos harineros mediante parámetros de calidad física y fisiológica de la semilla. *Agric. Téc. Méx.* 32(1):45-55. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S056825172006000100005&lng=es&tlng=es.

- Guzmán, C.; Mondal, S.; Govindan, V.; Autrique, J. E.; Posadas, R. G.; Cervantes, F.; Crossa, J.; Vargas, M.; Singh, R. P. and Peña, B. R. J. 2016. Use of rapid test to predict quality traits of CIMMYT bread wheat genotypes grown under different environments. *LWT-food Sci. Technol.* 69:327-333. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.068>.
- Huerta, E. J.; Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E.; Solís, M. E. and Van Ginkel, M. 2011. The history of wheat breeding in México. *In: Angus, W. J.; Bonjean, A. P. and Van-Ginkel, G. M. World Wheat. A history of wheat breeding.* Lavoisier publishing. Paris, France. 2(2):275-308.
- ISTA. 2015. International Seeds Testing Association. International rules for seed testing. Introduction to the ISTA rules. International seeds testing association. Zurich, Switzerland. 1-6 pp. <http://doi.org/10.15258/istarules.2015.i>.
- Liu, H.; Zhang, X.; Xu, Y.; Ma, F.; Zhang, J.; Cao, Y.; Li, L. and an, D. 2020. Identification and validation of quantitative trait loci for kernel traits in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *BMC Plant Biol.* 20(1):1-15. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02661-4>.
- Noriega, C. M. A.; Cervantes, O. F.; Solís, M. E.; Andrio, E. E.; Rangel, L. J. A.; Rodríguez, P. G.; Mendoza, E. M. y García, R. J. G. 2019. Efecto de la fecha de siembra sobre la calidad de semilla de trigo en el Bajío, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 42(4):375-384. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci.arttext&pid=S01873802019000400375&lng=es&tlng=es>.
- Osborne, B. G. and Anderssen, R. S. 2003. Single-kernel characterization principles and applications. *Cereal chem J.* 80(5):613-622. Doi: 10.1094/cchem.2003.80.5.613.
- Paquini, R. S. L.; Benítez, R. I.; Villaseñor, M. H. E.; Muñoz, O. A. y Vaquera, H. H. 2016. Incremento en el rendimiento y sus componentes bajo riego normal y restringido de variedades mexicanas de trigo. *Rev. Fitotec. Mex.* 39(4):367-378.
- Qin, X.; Zhang, F.; Liu, C.; Yu, H.; Cao, B.; Tian, S.; Liai, Y. and Siddique, K. H. 2015. Wheat yield improvement in China: past trends and future directions. *Field Crops Res.* 177:117-124. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.013>.
- Rodríguez, G. R.; Ponce, M. J. F.; Rueda, P. E. O.; Avendaño, R. L.; Paz, H. J. J.; Santillano, C. J. y Cruz, V. M. 2011. Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B. C, México. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 14(2):543-558.
- Sehgal, D.; Mondal, S.; Guzmán, C.; Barrios, G. G.; Franco, C.; Singh, R. P. and Dreisigacker, S. 2019. Validation of candidate gene-based markers and identification of novel loci for thousand-grain weight in spring bread wheat. *Frontiers Plant Sci.* 10(1189):2-10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01189>.
- SIAP. 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de información agroalimentaria y pesquera, agricultura. Ciudad de México, México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>.
- Sologubik, C. A.; Campañone, L. A.; Pagano, A. M. and Gely, M. C. 2013. Effect of moisture content on some physical properties of barley. *Industrial Crops and Products.* 43:762-767. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.019>.
- SAS, Institute. 2019. Statistical Analysis System. SAS user's guide. Statistics. Version 9.4. SAS Institute Cary, NC, USA.
- Su, Z.; Jin, S.; Lu, Y.; Zhang, G.; Chao, S. and Bai, G. 2016. Single nucleotide polymorphism tightly linked to a major QTL on chromosome 7A for both kernel length and kernel weight in wheat. *Molecular Breed.* 36(2):2-11. <https://doi.org/10.1007/s11032-016-0436-4>.

- Tian, Z.; Jing, Q.; Dai, T.; Jiang, D. and Cao, W. 2011. Effects of genetic improvements on grain yield and agronomic traits of winter wheat in the Yangtze River basin of china. *Field Crops Res.* 124(3):417-425. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.07.012>.
- Valenzuela, A. J. L.; Benítez, R. I.; Villaseñor, M. H. E.; Huerta, E. J.; Lobato, O. R.; Bueno, A. G. y Vargas, H. M. 2018. Comparación del rendimiento de trigos harineros y cristalinos a través de diferentes ambientes de riego. *Rev. Fitotec. Mex.* 41(2):159-166. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.159-166>.
- Villaseñor, M. H. E. 2015. Sistema de mejoramiento genético de trigo en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp.* (11):2183-2189.
- Würschum, T.; Leiser, W. L.; Langer, S. M.; Tucker, M. R. and Longin, C. F. H. 2018. Phenotypic and genetic analysis of spike and kernel characteristics in wheat reveals long-term genetic trends of grain yield components. *Theoretical and applied genetics.* 131(10):2071-2048.