CALIDAD FÍSICA Y FISOLÓGICA DE SEMILLA DE MAÍZ INFLUENCIADA POR EL PATRÓN DE SIEMBRA DE PROGENITORES

PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL MAIZE SEED QUALITY AS INFLUENCED BY THE PLANTING PATTERN OF PARENTS

Juan J. García-Rodríguez[1], Miguel A. Ávila-Perches[1], Francisco P. Gámez-Vázquez[1], Micaela de la O-Olán[2] y Alfredo J. Gámez-Vázquez[1]**

[1]Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). km 6.5 Carr. Celaya-San Miguel de Allende. 38000, Celaya, Gto., México. [2]Campo Experimental Valle de México, INIFAP. km 13.5 Carr. Los Reyes-Texcoco, Coatlinchán. 56250, Texcoco, Edo. de México. Tel. 01 800 0882222.

**Autor para correspondencia* (gamez.josue@inifap.gob.mx)

RESUMEN

El uso de semilla de calidad para la producción de maíz (*Zea mays* L.) constituye una de las inversiones más rentables para el agricultor y justifica ampliamente la investigación en técnicas adecuadas para generarla. La elección del patrón de siembra (PS) de los progenitores en la producción de semilla híbrida de maíz es importante para lograr un equilibrio entre rendimiento y calidad de semilla. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del PS sobre la calidad física y fisiológica de la semilla del híbrido de maíz H-135. Se evaluaron cinco PS en cuanto a relación hembra-macho, cuatro compactos (PSC) 4:1, 6:1, 8:1, 10:1 y el testigo convencional (6:2); además, se estudió el efecto de tres tamaños (grande, mediana y chica) y dos formas (plana y redonda) de semilla. El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Los resultados mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre PS en la expresión del peso volumétrico (PV), germinación total (GT) y vigor (VS). El mayor VS se obtuvo con el PSC 8:1 ($P \leq 0.05$). Entre formas de semilla se encontraron diferencias en VS, GT y peso de mil semillas (PMS). La semilla redonda superó a la plana en 13 % ($P \leq 0.05$) en PMS; sin embargo, la semilla plana fue superior a la redonda en 6 % en VS. El tamaño de la semilla afectó significativamente el PMS, PV y GT. En PV, la semilla mediana presentó la media más alta (76.1 kg hL^{-1}). La semilla grande fue superior (94.4 %) en GT, mientras que las medianas y chicas presentaron germinación de 93.7 y 91.8 %, respectivamente. Los mejores resultados se obtuvieron con los PSC 4:1 y 8:1, y con la semilla de forma plana y tamaño grande.

Palabras clave: *Zea mays*, germinación, peso de mil semillas, peso volumétrico, vigor.

SUMMARY

The use of quality seed for maize production is one of the most profitable investments by farmers and amply justifies the research on adequate techniques to generate it. The choice of the planting pattern (PP) of parents in the production of hybrid maize seed is important to achieve a balance between yield and seed quality. The objective of this study was to determine the effect of PP on the physical and physiological seed quality of the H-135 maize hybrid. Five PP were evaluated in regard to female-to-male ratio, four of them were compact planting patterns (CPP) 4:1, 6:1, 8:1, 10:1 plus the traditional 6:2 standard pattern, used as a check. In addition, the effect of three seed sizes (large, medium, and small) and two shapes (flat and round) was studied. The experiment was carried out under a completely randomized design with factorial arrangement. Results showed significant differences ($P \leq 0.05$) between PP in the expression of test weight (TW), seed germination (SG) and seed vigor (SV). The highest SV was observed in the 8:1 CPP ($P \leq 0.05$). There were differences between seed shapes for SV, SG, and one-thousand seed weight (TSW). Round seeds surpassed the flat ones by 13 % ($P \leq 0.05$) in TSW; however, flat seeds were 6 % higher than round seeds in SV. Seed size significantly affected TSW, TW and SG, where medium sized seeds showed the highest TW (76.1 kg hL^{-1}). Large seeds were superior in SG (94.4 %) while medium and small seeds germinated 93.7 % and 91.8 %, respectively. The best results were obtained with 4:1 and 8:1 CPPs and with flat-shaped and large-sized seeds.

Index words: *Zea mays,* germination, one-thousand seed weight, test weight, seed vigor,

INTRODUCCIÓN

El uso de semillas de calidad constituye una de las inversiones más rentables en la economía de todo agricultor, y justifica ampliamente la investigación en técnicas adecuadas para producir la máxima cantidad de semilla híbrida de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad. La calidad y rendimiento puede ser aumentada con cambios en las prácticas agrícolas, como el patrón de siembra, referido al número de surcos con plantas hembra en relación al de surcos con plantas macho.

Es posible incrementar la cantidad de semilla cosechada de un lote de multiplicación de semillas híbridas mediante reducciones en el número de surcos del progenitor macho, sin menoscabo de la producción de polen que permita un rendimiento aceptable de semilla (Beck, 2004). En los lotes de producción de semilla híbrida en la faja maicera de Estados Unidos de Norteamérica, el patrón de siembra más común tiene la relación 4:2 de surcos hembra:macho (Ireland *et al.*, 2006). En este sistema, los surcos de hembra y macho están a igual distancia, como consecuencia, la superficie aprovechable para producir semilla se reduce por los surcos ocupados por machos, debido a que la cantidad de semilla cosechada depende solamente del número de surcos ocupados por las hembras. Existe otro patrón denominado patrón de siembra compacto (PSC), que consiste en sembrar entre dos surcos con plantas hembra

Recibido: 17 de Abril de 2017
Aceptado: 30 de Octubre de 2017

y en la zona baja una línea del parental macho, lo cual se puede repetir cada dos, tres o cuatro surcos del progenitor femenino, arreglo que corresponde a las relaciones 2:1, 3:1 ó 4:1 (Wych, 1988). Físicamente, los surcos macho están a la mitad de la distancia que los surcos hembra. Las líneas de plantas macho son removidas una vez que han fecundado al progenitor femenino, para eliminar la competencia por agua, luz y nutrientes. Las ventajas de este tipo de patrón es que se aprovecha el total de surcos de la parcela de multiplicación y que facilita la cosecha mecánica (García *et al.*, 2014; MacRobert *et al.*, 2014). Para el uso del PSC se ha sugerido que el progenitor hembra sea de porte bajo a intermedio, de tal forma que la altura del macho sea igual o supere a la de la hembra para que no se afecte la liberación de polen (Beck, 2004). El PSC se ha recomendado en la producción de semilla de híbridos de cruza simple de maíz, con líneas parentales de vigor y porte semejantes, donde el macho posea raíz y tallo resistentes para evitar problemas de acame (MacRobert *et al.*, 2014). Se ha encontrado que el rendimiento de semilla de maíz del patrón de siembra compacto es igual (García *et al.*, 2014) o superior (Beck, 2004) al sistema convencional; sin embargo, no hay información de su efecto en la calidad física y fisiológica de las semillas obtenidas, por lo cual es necesario evaluar la cantidad y la calidad de las semillas hibridas producidas con base en atributos que favorecen el establecimiento y desarrollo de las plantas en el campo.

La calidad fisiológica se puede evaluar con pruebas de germinación de semillas en laboratorio (Copeland y McDonald, 2001); además, debe complementarse con una adecuada evaluación de la capacidad de emergencia de plántulas en campo, por lo que son importantes las pruebas de vigor (Tillmann *et al.*, 2003). Las pruebas de vigor de las plántulas tratan de determinar el potencial para la rápida emergencia y desarrollo de plántulas bajo un amplio rango de condiciones ambientales (Rajjou *et al.*, 2012). Adicionalmente, la calidad física de la semilla se puede evaluar considerando criterios como contenido de humedad, pureza física, daño mecánico, apariencia, peso de mil semillas y peso volumétrico, entre otros (Tillmann *et al.*, 2003).

El tamaño de semilla obtenido depende del genotipo y de las condiciones ambientales en las cuales se desarrollan las plantas. El tamaño de semilla es importante porque tiene impacto en el porcentaje de emergencia total (Molatudi y Mariga, 2009) y en la sobrevivencia, crecimiento y desarrollo de plántulas (Copeland y McDonald, 2001), por lo que, el tamaño (El-Abady, 2015; Muniz *et al.*, 2011) y forma (Ayala *et al.*, 2000; Martinelli-Seneme *et al.*, 2000) están fuertemente relacionadas con la calidad fisiológica. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del patrón de siembra sobre la calidad física y fisiológica de la semilla del híbrido de maíz H-135, clasificada por forma y tamaño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La producción de semilla híbrida se realizó en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Roque, Celaya, Guanajuato, México (20º 32' Latitud N, 100º 49' Longitud O, 1765 msnm de altitud), en suelo vertisol, ligeramente alcalino (pH 7.4) y de textura franco arcillosa. La temperatura promedio y precipitación acumulada durante el desarrollo del cultivo fueron 18.7 ºC y 414.1 mm, respectivamente.

Material vegetal

Se utilizaron los progenitores del híbrido de maíz H-135, liberado por el INIFAP. El progenitor femenino es la cruza simple B-32 × B-33, cuyas líneas parentales endogámicas pertenecen a la raza Celaya. El progenitor masculino es una línea S_1 (Hidalgo 10-3) de una colecta de la raza Chalqueño, obtenida en Progreso, Hidalgo, México (Espinosa y Carballo, 1987).

Establecimiento y manejo del experimento

Las fuentes de variación y sus niveles de exploración se establecieron en dos etapas. Inicialmente, el 02 de mayo de 2011 se establecieron en campo los lotes para estudiar el efecto del patrón de siembra (PS). Se evaluaron cinco patrones de siembra, cuatro niveles de PSC y uno del sistema convencional como testigo. En los arreglos PSC 4:1, 6:1, 8:1 y 10:1 se alternaron 4, 6, 8 y 10 surcos hembra con uno de la línea macho. En cada PSC el progenitor masculino se estableció en el fondo del surco a una distancia de 45 cm entre los surcos del progenitor femenino. En el sistema convencional el arreglo fue 6:2, donde se alternaron seis surcos del parental hembra y dos surcos del progenitor macho. En todos los patrones de siembra los surcos machos se eliminaron después de la polinización para evitar competencia y favorecer el llenado de semilla del híbrido H-135. Los cinco PS se establecieron cada uno en un lote experimental aislado de 1000 m^2, con riego por gravedad, tal como lo realizan las empresas productoras de semilla, bajo un esquema de certificación de la calidad. En todos los casos se utilizó una distancia entres surcos de 90 cm.

El establecimiento y manejo agronómico de todos los lotes fue uniforme. En la siembra se fertilizó con la dosis 140-40-00; posteriormente, se aplicaron 100 unidades de nitrógeno en la primera escarda. La maleza se controló con 2,4-D amina a razón de 1.0 L ha^{-1} y deshierbes manuales principalmente en los surcos macho. Para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* JE Smith)

se aplicaron 0.5 L ha^{-1} de Ometoato en la etapa V5 (cinco hojas liguladas). El desespigue de las plantas hembra se completó en un lapso de 10 días. El progenitor masculino se eliminó una semana después de la antesis.

La cosecha se realizó en madurez fisiológica, considerada cuando se presentó la capa negra en la semilla. Se tomaron tres muestras de semilla de cada PS en dos surcos de 10 metros de largo (18 m^2) del área central de cada lote de producción. En dicha superficie se cosecharon todas las mazorcas y se mantuvieron por separado. Posteriormente, las mazorcas se secaron a temperatura ambiente bajo la sombra y al final se desgranaron manualmente.

Previo a la etapa de laboratorio, para evaluar el efecto del patrón de siembra, se incorporaron los factores de variación forma y tamaño de semilla. Se utilizaron las formas redonda y plana, y los tamaños de semilla grande, mediana y chica. Toda la semilla obtenida en campo en cada PS y muestreo se separó por su forma y tamaño. Para separar las semillas por forma en redondas y planas se usó una criba de perforaciones oblongas de 5.0 × 19 mm (Mercator Agrícola, Ciudad de México) considerando como semilla redonda la que fue retenida en la parte superior y como semilla plana la que pasó a través de la criba. Posteriormente, en cada forma se separó la semilla por su tamaño en grande, mediana y chica, mediante cribas con perforaciones redondas de 9, 8 y 7 mm de diámetro (Mercator Agrícola, Ciudad de México), respectivamente.

La evaluación en laboratorio se realizó usando un diseño completamente al azar con arreglo factorial (PS, formas y tamaños de semilla) y tres repeticiones, integradas con la semilla procedente de cada muestreo de campo.

Variables respuesta

La evaluación de la calidad se efectuó en el laboratorio de semillas del CEBAJ. Se evaluaron variables físicas y fisiológicas. Las variables de calidad física fueron peso volumétrico (PV), expresado en kg hL^{-1}, de acuerdo con Moreno (1996), y peso de mil semillas (PMS) en g, obtenido con una báscula digital con capacidad de 1200 g. Las variables de calidad fisiológica evaluadas fueron porcentaje de germinación de 400 semillas. La germinación se estimó con el método de la ISTA (2004) y se usó una incubadora Lab-Line Imperial III (Barnstead International®, Dubuque, Iowa, USA) a una temperatura de 25 ºC (± 1 ºC); se registró el número de semillas germinadas a los cuatro y siete días. Se consideró como germinación total (GT) al porcentaje de plántulas con raíz y plúmula bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones al séptimo día; mientras que el vigor de semilla (VS) fue el porcentaje de germinación al cuarto día de la prueba.

Análisis estadístico

Las variables de calidad de semilla se analizaron mediante un análisis de varianza con el modelo lineal correspondiente al diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos como resultado de la combinación de los niveles de patrones de siembra, formas y tamaños de semilla. Los datos en porcentaje de GT y VS se transformaron con la fórmula: *arcoseno* $\sqrt[2]{\%/100}$ y para la comparación de medias se empleó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Los análisis se hicieron con el programa SAS (SAS Institute, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

En el Cuadro 1 se presenta el análisis de varianza (ANAVA). Se observa que existieron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre patrones de siembra en la variable de calidad física PV y variables fisiológicas GT y VS. Entre formas de semillas también existieron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en las variables PMS, GT y VS. También hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre tamaños de semilla en las variables PMS, PV y diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la variable GT. En las interacciones dobles sólo hubo significancia en PS × FS, las diferencias fueron altamente significativas ($P \leq 0.01$) en las variables GT y significativas en VS. La interacción FS × TS fue altamente significativa ($P \leq 0.01$) para PMS y VS.

Medias de variables físicas

Las medias para tratamientos de PS, FS y TS de las variables PV y PMS se presentan en la Figura 1. No obstante que la prueba de medias no detectó diferencias entre los cinco PS, el ANAVA si las detectó (Figura 1a y Cuadro 1). La falta de significancia de la prueba de medias probablemente fue debido a que la metodología de comparación múltiple de medias reduce el error tipo I y es conservadora en identificar diferentes grupos de medias (García-Villalpando *et al.*, 2001). Se puede apreciar que el patrón de siembra compacto 4:1 y el arreglo convencional 6:2 presentaron el mayor PV con un valor superior a 76 kg hL^{-1}. La prueba de medias tampoco detectó diferencias entre los promedios de TS para PV (Figura 1b), aunque numéricamente, las semillas de tamaño mediano superaron en PV a las semillas grandes y chicas (Figura 1b) en PV, lo cual se asemeja a lo reportado por Pérez *et al.* (2006) donde el PV de la semilla grande fue menor al del tamaño mediano.

Entre las medias de los tamaños de semilla hubo diferencias significativas en el PMS (Cuadro 1 y Figura 1c). Las semillas grandes tuvieron una media de 371.6 g y superaron (P ≤ 0.01) a las de tamaño medio en 48.4 % y éstas, a su vez, sobresalieron (P ≤ 0.01) de las semillas pequeñas en 24.3 %. Estas diferencias indican que existe una asociación del peso de la semilla con su tamaño. El tamaño y la forma de la semilla de maíz dependen del genotipo, del ambiente y del desarrollo secuencial de las semillas en la mazorca (Kara, 2011). En este sentido, el mayor tamaño de semilla está relacionado con un mayor contenido de carbohidratos y otros nutrientes (Ambika *et al.*, 2014) y con la presencia de células más grandes (Finch-Savages y Bassel, 2016).

La prueba de medias para FS en PMS mostró que la forma de semilla redonda fue superior (P ≤ 0.01) en 13 % al peso de las semillas planas (Cuadro 1; Figura 1d), resultado similar a lo reportado por Martinelli *et al.* (2000), quienes concluyeron que las semillas redondas presentaron mayor PMS que las planas.

En el caso de la interacción FS × TS en la variable PMS, la prueba de medias (Figura 3) mostró que las semillas redondas y grandes fueron superiores en 16.6 % a las semillas planas y grandes y en 22.7 % a las semillas redondas y medianas. Se observó la tendencia de que en la medida en que se elevó el PMS se incrementó el tamaño de la semilla, tanto en la forma plana como en la redonda.

Medias de variables fisiológicas

El análsis de medias de VS para PS mostró que los patrones de siembra compactos 8:1, 4:1 y el testigo 6:2 (Figura 2b) tuvieron promedios estadísticamente superiores (P ≤ 0.05) a los patrones 6:1 y 10:1, estos últimos tratamientos presentaron valores menores de 90 % en VS.

La prueba de medias de VS para FS mostró que la forma plana de semilla presentó una media de 93.6 % y superó (P ≤ 0.05) a la forma redonda en 7 % (Figura 2d). Estos resultados son semejantes a lo reportado por Martinelli *et al.* (2000), quienes encontraron que las semillas planas tuvieron mayor calidad fisiológica que las redondas, lo cual puede ser debido a que las semillas planas tienen durante la germinación una mayor superficie de contacto para la absorción de humedad que las redondas (Oskouei *et al.*, 2014).

En GT, los patrones compactos 8:1, 4:1 y 10:1, y el convencional 6:2 presentaron promedios de 96.5, 94.5, 91.0 y 95.1 %, respectivamente y superaron (P ≤ 0.05) al patrón 6:1. (Figura 2a). Para esta misma variable las semillas de forma redonda y plana tuvieron una media de 91.5 y 95.1 %, respectivamente (Figura 2c), sin que la prueba de medias detectara diferencias significativas, aunque el ANAVA sí lo hizo, lo que constituye un indicio de una mayor calidad fisiológica de las semillas planas. Al respecto, Ayala *et al.* (2000) encontraron que la semilla plana presenta mayor germinación que la redonda.

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística de los patrones de siembra, forma y tamaño de semilla y sus interacciones en la expresión de la calidad física y fisiológica de semilla del híbrido de maíz H-135.

Fuentes de Variación	GL	PMS	PV	GT	VS
PS	4	743.57	30.73 **	55.09 **	60.52 **
FS	1	26,224.23 **	18.01	95.40 **	385.20 **
TS	2	93,066.02 **	13.99 **	17.35 *	5.85
Error a	18	501.12	6.06	5.61	4.19
PS x FS	4	654.84	3.52	18.03 *	19.47 **
PS x TS	8	245.65	2.78	6.34	3.91
FS x TS	2	3385.44 **	0.46	5.20	20.40 **
PS x FS x TS	8	218.93	1.27	4.86	3.96
Error b	40	177.80	1.44	4.45	4.01
Total	89	194.59	4.31	2.44	5.83
C V (%)		4.2	1.5	4.5	4.4

** y *: Diferencias estadísticas con P ≤ 0.01, y P ≤ 0.05, respectivamente. C.V: coeficiente de variación. GL: grados de libertad; PS: patrones de siembra; FS: formas de semilla; TS: tamaños de semilla; PMS: peso de mil semillas; PV: peso volumétrico; GT: germinación total; VS: vigor de semilla.

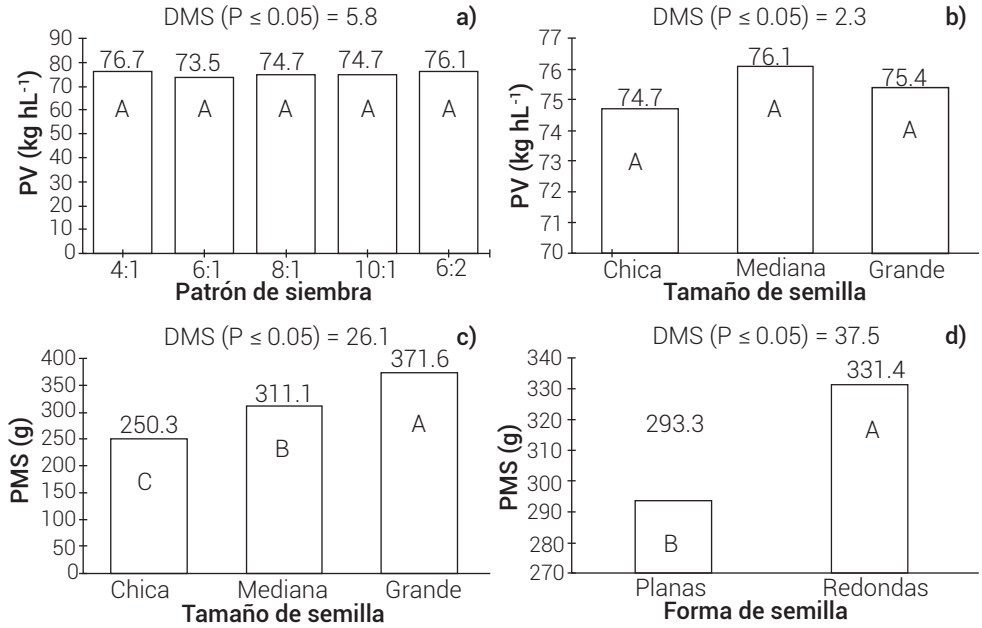


Figura 1. Peso volumétrico (PV) y peso de mil semillas (PMS) de cinco patrones de siembra y dos formas de semilla del híbrido de maíz H-135. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

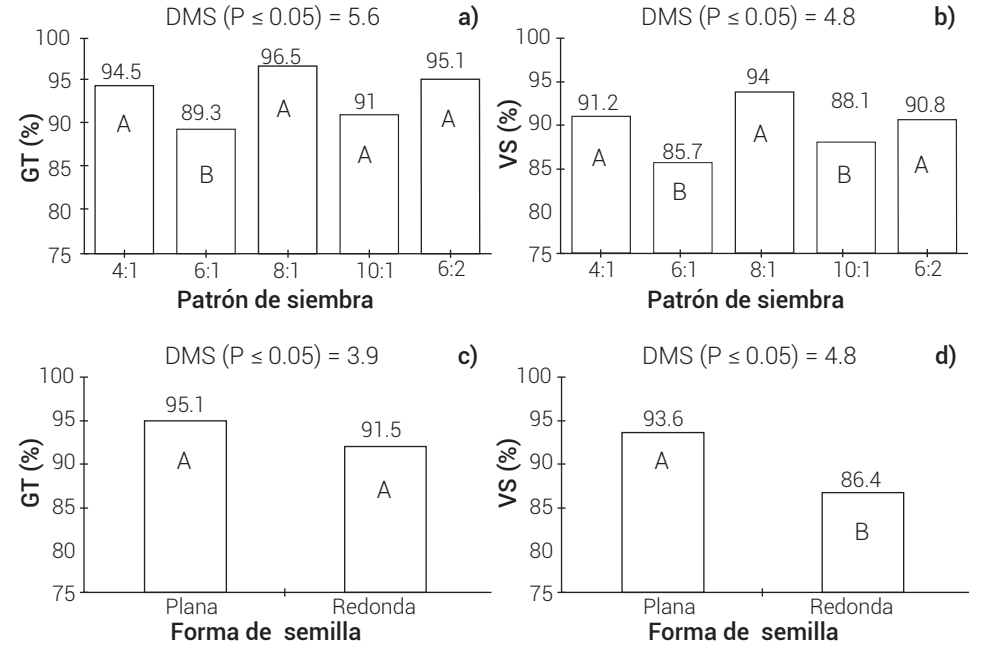


Figura 2. Germinación total (GT) y vigor de semilla (VS) de cinco patrones de siembra y dos formas de semilla del híbrido de maíz H-135. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

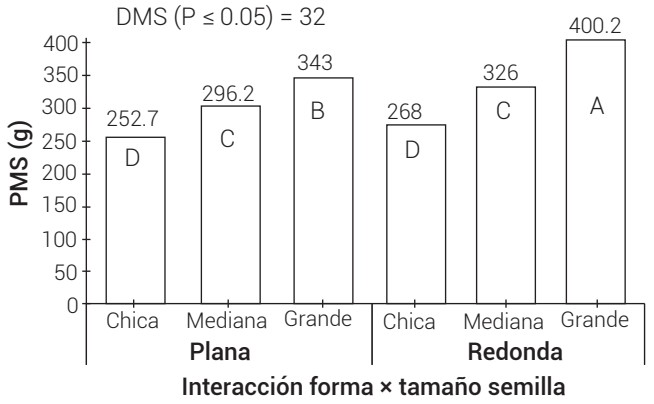


Figura 3. Peso de mil semillas (PMS) de dos formas y tres tamaños de semilla del híbrido de maíz H-135. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En la prueba de medias de la FS en GT se muestra que no hubo diferencias entre formas de semilla, pero el ANAVA si las detectó. Se advierte que el tamaño grande presentó una media más alta. Los tamaños de semilla grande, mediana y chica tuvieron una media de 94.4, 93.7 y 91.8 %, respectivamente.

En cuanto a la interacción FS × TS la prueba de medias de VS mostró que las semillas planas-medianas y planas-grandes fueron superiores (94.6 y 94.5 %, respectivamente) al resto de combinaciones de forma y tamaño (Figura 4). En general, las semillas redondas en los tres tipos de tamaño presentaron los valores más bajos de VS (P ≤ 0.05).

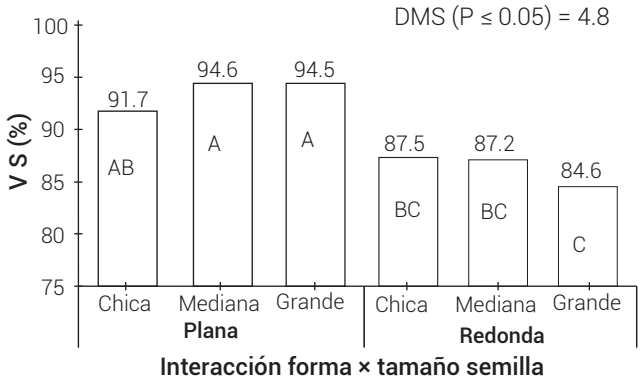


Figura 4. Vigor (VS) de dos formas y tres tamaños de semilla del híbrido de maíz H-135. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En relación con la interacción PS × FS, los patrones de siembra 6:1 y 10:1, combinados con la forma bola presentaron una media de GT de 88.3 y 85 %, respectivamente (Figura 5). Estos valores fueron inferiores (P ≤ 0.05) a los obtenidos por el resto de los tratamientos. Similar respuesta presentó la interacción PS × FS en la variable VS (Figura 6), donde se encontró que en todos los patrones de siembra la forma plana de semilla superó a la redonda, excepto en el patrón 8:1.

Los resultados complementan lo obtenido por García *et al.* (2014), quienes encontraron que en la producción de semilla del híbrido H-135 es factible utilizar los patrones de siembra compactos 4:1 y 8:1. En este caso se encontró que la calidad de semilla de los PS 4:1 y 8:1 es igual a la obtenida con el patrón convencional 6:2, por lo que, además de aprovechar toda la superficie en la multiplicación de semilla del híbrido, se obtuvo buena calidad física y fisiológica en la semilla.

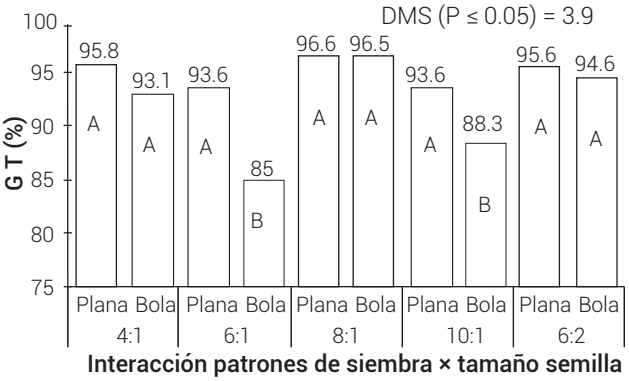


Figura 5. Germinación total (GT) de semilla de cinco patrones de siembra y dos formas de semilla del híbrido de maíz H-135. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

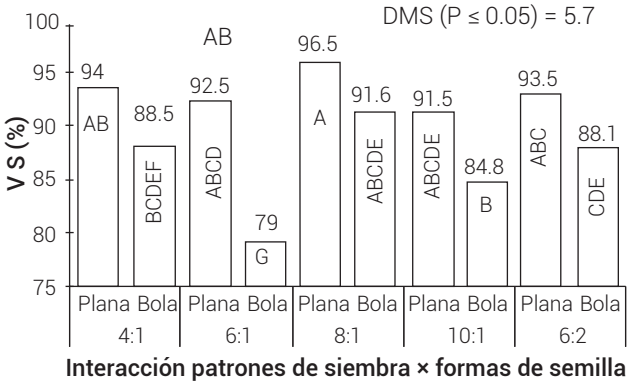


Figura 6. Vigor (VS) con patrones siembra y dos formas de semilla del híbrido de maíz H-135. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

CONCLUSIONES

Los patrones de siembra compactos 4:1 y 8:1 producen semillas de similar calidad física y fisiológica a las del arreglo convencional 6:2, particularmente en peso volumétrico, germinación total y vigor de semilla. La semilla de forma plana tuvo mejor calidad fisiológica que la redonda, aunque esta última mostró mayor peso de mil semillas. La semilla de tamaño grande presentó mayor peso de mil semillas y germinación total. Los mejores resultados se obtuvieron con los PSC 4:1 y 8:1, semilla de forma plana y tamaño grande.

BIBLIOGRAFÍA

Ambika S., V. Manonmani and G. Somasundaram (2014) Review on effect of seed size on seedling vigour and seed yield. *Research Journal of Seed Science* 7:31-38. doi: 10.3923/rjss.2014.31.38.

Ayala A. L., B. Otomar C., W. Luiz C. e I. Lersch J. (2000) Qualidade fisiológica de sementes de milho em função da forma e do tratamento químico das sementes. *Ciencia Rural* 30:211-215.

Beck D. L. (2004) Hybrid corn seed production. *In*: Corn: Origin, History, Technology and Production. C. W. Smith, J. Betrán and E. C. A. Runge (eds.). John Wiley & Sons Inc. Hoboken, New Jersey, USA. pp:565-630.

Copeland L. O. and M. B. McDonald (2001) Principles of Seed Science and Technology. Fourth edition. Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts. 488 p. http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcf127.

El-Abady M. I. (2015) Influence of maize seed size/shape, planted at different depths and temperatures on seed emergence and seedling vigor. *Research Journal of Seed Science* 8:1-11, http://dx.doi.org/10.3923/rjss.2015.1.11

Espinosa C. A. y A. Carballo C. (1987) H-135 nuevo maíz híbrido de riego para la zona de transición de El Bajío-Valle Altos. Folleto Técnico No. 1. Campo Agrícola Experimental Valle de México, INIFAP. Chapingo, Edo. de México. 16 p.

Finch-Savage W. E. and G. W. Bassel (2016) Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany* 67:567-591. doi:10.1093/jxb/erv490.

García R. J. J., M. A. Ávila P., J. De la Torre V. y C. Herrera C. (2014) Diferentes patrones de siembra en la producción de semilla del híbrido de maíz H-135. *AGROFAZ* 14:43-49.

García-Villalpando. J. A., A. Castillo-Morales, M. E. Ramírez-Guzmán, G. Rendón-Sánchez y M. U. Larqué-Saavedra (2001) Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, HSU y Bechhofer para selección de medias. *Agrociencia* 35:79-86.

Ireland D. S., D. O. Wilson, M. E. Westgate, J. S. Burris and M. J. Lauer (2006) Managing reproductive isolation in hybrid seed corn production. *Crop Science* 46:1445-1455. http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2004.0007

ISTA, International Seed Testing Association (2004) International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. 243 p.

Kara B. (2011) Effect of seed size and shape on grain yield and some ear characteristics of maize. *Research on Crops* 12:680-685.

MacRobert J. F., P. Setimela, J. Gethi and M. Worku R. (2014) Maize Hybrid Seed Production Manual. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). México, D. F. 26 p.

Martinelli-Seneme A., M. D. Zanotto e J. Nakagawa (2000) Efeitos da forma e do tamanho na qualidade de sementes de milho, cultivar AL-34. *Revista Brasileira de Sementes* 22:232-238.

Molatudi R. L. and I. K. Mariga (2009) The effect of maize seed size and depth of planting on seedling emergence and seedling vigour. *Journal of Applied Sciences Research* 5:2234-2237.

Moreno M. E. (1996) Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Tercera edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 393 p.

Muniz M. F. B., B. O. Bastos, C. A. Wartha, D. T. Cocco, S. F. T. Fruet e I. C. L. Silva (2011) Relação entre tamanho e potencial fisiológico de sementes de milho crioulo. *Cuadernos de Agroecología* 6:1-4.

Oskouei B., E. M. Hervan, A. Hamidi, F. Moradi and A. Moghadam (2014) Study on seed vigor deterioration in hybrid corn (*Zea mays*), cv. single cross 704. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 3:207-210.

Pérez M. C., A. Hernández L., F. V. González C., G. García S., A. Carballo C., T. R. Vásquez R. y M. R. Tovar G. (2006) Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura Técnica en México* 32:341-352.

Rajjou L., M. Duval, K. Gallardo, J. Catusse, J. Bally, C. Job and D. Job (2012) Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology* 63:507-533, http://dx.doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105550.

SAS, Institute (2010) SAS/IML Software: Usage and Reference. Version 9.3. First edition. SAS Institute, Inc. Cary, NC. USA. 501 p.

Tillmann, M. A. A., V. D. C. de Mello e G. R. M. Rota (2003) Análise de sementes. *In*: Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos. T. S. Peske, M. D. Rosenthal e G. R. M. Rota Editora Rua. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. pp:138-223.

Wych R. D. (1988) Production of hybrid seed corn. *In*: Corn and Corn Improvement. Third edition. G. F. Sprague and J. W. Dudley (eds.). American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. pp:565-607.