

Variación en la calidad física y fisiológica de semilla causada por el origen del híbrido de maíz H-520

Jesús Juárez-San-Juan¹
José A. Mejía-Contreras¹
Pablo Andres-Meza^{2,9}
Juan C. Molina-Moreno¹
Mauro Sierra-Macías³

1 Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas, Campus Montecillo-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230.

2 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba-Córdoba, Universidad Veracruzana. Carretera Peñuela-Amatlán km 177, Córdoba, Veracruz. CP. 94500.

3 Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. Carretera Federal Veracruz-Córdoba km 34.5, Medellín de Bravo, Veracruz. CP. 94270.

Autor para correspondencia: pandres@uv.mx

Resumen

La calidad física y fisiológica de semillas son parámetros que influyen directamente durante el establecimiento en campo, impactando en la viabilidad y en el vigor de semilla y plántula. El objetivo fue evaluar la variación en la calidad física y fisiológica causada por el origen en la producción de semilla del híbrido de maíz tropical de grano blanco H-520. Se obtuvieron muestras de semillas de diferentes empresas semilleras. Se registraron variables físicas y fisiológicas en semillas y plántulas. Los datos analizados mostraron diferencias ($p \geq 0.05$) en la mayoría de las variables físicas y fisiológicas de semillas, excepto para las variables porcentaje de antocianinas en plántula y longitud de plúmula. Los valores medios obtenidos para la prueba de germinación estándar fueron (95.2%), plantas normales (90.5%), plantas anormales (4.6%), semillas sin germinar (4.9%), presencia de antocianinas (50.35%), peso seco de plúmula (36.4 g), longitud de plúmula (11.5 cm), longitud de radícula (15.3 cm), peso seco de radícula (24.7 g), ancho de semilla (8.7 mm), longitud de semilla (11.5 mm), grosor de semilla (4.1 mm), peso de 1 000 semillas (238.7 g), índice de flotación (27.3) y peso hectolítrico (76.6 kg hl⁻¹). Aunque las pruebas realizadas mostraron variaciones en la calidad física y fisiológica de semillas de los orígenes, los valores son aceptables, lo que sugiere que el manejo en la producción de semilla del híbrido de maíz H-520 ha sido efectivo a través del tiempo.

Palabras clave:

Zea mays L., empresas semilleras, híbrido comercial, mantenimiento varietal, prueba de semillas.



Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los tres cultivos de importancia a nivel mundial seguido del trigo (*Triticum* spp.) y el arroz (*Oriza sativa* L.). El principal destino del grano es para la alimentación humana directa, así como en una gran cantidad de derivados que son utilizados para fabricar productos industriales (Adebisi *et al.*, 2013) como lo son las harinas y tortillas de maíz, así como las botanas y los cereales industriales procedentes de ellas (Gouttefanjat, 2021).

A nivel mundial, cada año se obtiene un volumen de producción de 1 163 millones de toneladas producidas en casi 206 millones de hectáreas con un rendimiento promedio de 5 878.6 kg ha⁻¹ (FAOSTAT, 2023). Del total mundial, México aporta cerca del 2.3% (26.6 millones de toneladas) del grano producido, que lo ubica dentro de los primeros seis países con mayor volumen de producción (SIAP, 2023).

Específicamente en el estado de Veracruz, el cultivo de maíz es uno de los más importantes, ya que durante el año 2020-2021 la superficie cosechada fue de 436 222 ha, con un volumen de producción de 1.2 millones de toneladas (INFOSIAP, 2024). De estos valores, el sur de Veracruz que comprende el área de influencia de los Distritos de Desarrollo Rural de San Andrés Tuxtla, Jáltipan y Las Choapas, representaron en su conjunto el 37 y 48% del total estatal (SADER, 2022).

En México, se han hecho esfuerzos para elevar la productividad en los diferentes sistemas de producción a través de la utilización de variedades e híbridos de maíz; sin embargo, solo un 30% de la superficie total se siembra con semillas mejoradas (Turrent *et al.*, 2012; SNICS, 2024) y el resto se siembra con variedades de polinización libre o variedades nativas (Sierra *et al.*, 2008). Por otra parte, la baja productividad se debe al uso de semilla con pobre calidad fisiológica, lo que causa fuertes pérdidas económicas a los agricultores (González-Zertuche y Orozco-Segovia, 1996; Liu *et al.*, 2023).

La calidad fisiológica de una semilla en términos de viabilidad, germinación y vigor es el aspecto más importante que influye directamente en el establecimiento en campo y en su productividad (Olisa *et al.*, 2024). Así, la calidad de semilla es muy importante para aumentar la producción, lo cual es necesario para mantener la pureza varietal de la semilla y el control de su calidad (Kormawa *et al.*, 2019). Por lo tanto, el estudio de la actividad física y fisiológica en la semilla de maíz es importante para asegurar alto rendimiento de grano por unidad de superficie.

Algunos métodos tradicionales para evaluar la calidad de semillas han resultado ser una poderosa herramienta como complemento en los diversos programas de mejoramiento genético y producción de semillas (ISTA, 2024). El estudio preciso de la calidad fisiológica de cualquier lote comercial de semilla (original, básica, certificada y habilitada) es imprescindible para salvaguardar el interés de los productores en obtener semillas de buena calidad para un rendimiento óptimo de sus cultivos. Por ello, en el presente estudio se evaluó la variación en la calidad física y fisiológica causada por el origen en la producción de semilla del híbrido de maíz tropical de grano blanco H-520.

Materiales y métodos

Colección del material vegetal y establecimiento del ensayo

El presente trabajo de investigación se condujo en dos etapas: en la primera etapa se colectaron muestras de semillas en categoría certificada del híbrido de maíz tropical de grano blanco H-520 y producidas durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2020. Los orígenes fueron del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (testigo) (en lo sucesivo INIFAP-testigo), Terra Semillas SA, Semillas Iyadilpro SA de CV, Maíces del Trópico y Semillas La Ejidal. Durante esta primera etapa se evaluó la calidad fisiológica de las semillas. La información se analizó bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones.

En la segunda etapa, el remanente de semilla certificada se utilizó para el establecimiento de dos ensayos en la localidad de Piedras Negras y Cotaxtla, Veracruz, con el grano cosechado en ambos ambientes, se midieron características físicas del grano. Todas las pruebas se realizaron siguiendo

los procedimientos descritos por la Asociación Internacional de Ensayos de Semillas (ISTA) (ISTA, 2024). El diseño experimental utilizado para la prueba física en grano fue un completamente al azar con cuatro repeticiones de 25 semillas.

Prueba de germinación estándar

Se utilizaron 400 semillas de cada origen (en lo sucesivo tratamiento), cada tratamiento se arregló en cuatro repeticiones de 100 semillas. Cada replica se sembró en papel ancho húmedo y enrollado en forma de taco; posteriormente, se colocaron por seis días en una cámara de germinación controlada a una temperatura de 25 °C y en ausencia de luz. Visualmente a los siete días después de la siembra (dds) se contabilizó el número de semillas que produjeron plántulas normales y anormales, número de semillas sin germinar y número de plántulas con presencia de antocianinas en el tallo.

Prueba de vigor de semillas

Del lote original de plántulas germinadas mediante el método estándar de prueba de germinación. A los 7 dds se cosecharon diez plántulas normales por replica donde se midió la longitud de plúmula (LPLUM), longitud de radícula (LRAD) ambos se registraron en mm con el apoyo de una regla. Asimismo, se determinó el peso seco de plúmula (PSPLUM) y peso seco de radícula (PSRAD), ambos se registraron en g con la ayuda de una balanza analítica Seedburo-Model 8800® con margen de precisión de 0.001g.

Características física

Durante la segunda etapa del experimento, se registraron variables físicas en semillas como: ancho de semilla (ASEM), longitud de semilla (LSEM), grosor de semilla (GRSEM), todas las variables se registraron en mm con el apoyo de un Calibrador vernier digital®. Peso de 1 000 semillas (P1000SEM), se realizó con una balanza analítica Seedburo-Model 8800®.

Se determinó el índice de flotación (IFLOT) siguiendo el procedimiento de acuerdo con la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (Secretaría de Economía, 2002). El peso hectolítrico (PHEC) se determinó mediante una balanza hectolítrica de granos marca DICKEY-john, modelo mini Gac® Plus. Todos los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Semillas del Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Análisis estadísticos

Con los datos recopilados se probaron los supuestos del análisis de varianza (normalidad, homocedasticidad e independencia de los errores). Aquellas variables registradas en porcentaje se transformaron mediante raíz cuadrada (%) para cumplir con los supuestos del análisis de varianza. Posteriormente, todas las variables se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). El paquete estadístico utilizado fue Sas/Stat® versión 9.1 (Castillo, 2007).

Resultados y discusión

Calidad fisiológica

El análisis de varianza (Andeva) individual arrojó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) para el factor de variación origen en todas las variables evaluadas, excepto para las variables PAN y LPLU (Cuadro 1). Lo anterior indica que los orígenes evaluados difieren en la calidad fisiológica de la semilla. Estos resultados se pueden atribuir al proceso de formación que cada empresa integra dentro de sus esquemas de multiplicación de semillas, los cuales pueden ir desde la eliminación de plantas fuera de tipo durante el desarrollo del cultivo hasta la emasculación de la planta durante el periodo de antesis.

Por otro lado, los coeficientes de variación obtenidos fueron de 1.87 hasta 23.31% lo que sugiere que la conducción y el manejo del experimento son confiables, de calidad y precisos (Meneses-Márquez et al., 2006). Se constató que las variables PAN y SSGE presentaron los coeficientes de variación más elevados; sin embargo, no fue suficiente para indicar una fuerte variación entre los orígenes para estas dos variables (Rojas y Flores, 2017).

La prueba de medias asociadas a las variables fisiológicas (Cuadro 1) demostró que los orígenes Semillas La Ejidal, INIFAP-testigo y Terra Semillas presentaron el mayor porcentaje para PNO; asimismo, se observaron valores aceptables para PAN ($\leq 10\%$). Las plántulas anormales son aquellas que germinaron, pero presentaron anomalías en el desarrollo de sus estructuras esenciales debido principalmente a genes deletéreos (Musito et al., 2008).

Cuadro 1. Cuadrados medios, significancia estadística y comparación de promedios en nueve variables fisiológicas evaluadas en cinco orígenes del híbrido de maíz tropical de grano blanco H-520.

Origen	PNO (%)	PAN (%)	SSGE (%)	PANT (%)	PGE (%)	PPLU (g)	PRAD (g)	LPLU (cm)	LRAD (cm)
INIFAP-testigo	92.3ab	3.3b	4.5ab	44.3a	95.5ab	59.3a	37.3a	12.7a	18.3a
Terra Semillas	91ab	4b	5ab	64.8a	95ab	25.3c	20.7b	11.2a	13.2b
lyadilpro	88.8bc	4.3b	7a	50a	93b	27.3c	15b	11.1a	14.5b
Maíces del Trópico	83.5c	10a	6.5a	47.5a	93.5b	26.3c	16.7b	10.7a	13.7b
Semillas La Ejidal	97.3a	1.5b	1.3b	45.3a	98.8a	43.7b	34a	11.9a	17.1ab
Media general	90.5	4.6	4.85	50.4	95.2	36.4	24.7	11.5	15.3
CMO	403.7 ^{**}	164.3 ^{**}	81.8 ^{**}	1115.3ns	81.8 ^{**}	663.6 ^{**}	315.7 ^{**}	1.8ns	15.1 ^{**}
CV (%)	3.47	23.31	14.26	12.09	1.87	13.29	11.39	7.92	4.51

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); * = significativo; ** = altamente significativo; ns= no significativo; CV (%)= coeficiente de variación; PNO= plántulas normales; PAN= plántulas anormales; SSGE= semillas sin germinar; PANT= presencia de antocianinas; PGE= porcentaje de germinación; PPLU= peso de plúmula; PRAD= peso de radícula; LPLU= longitud de plúmula; LRAD= longitud de radícula.

Por otra parte, el origen Terra Semillas se logró diferenciar de los demás orígenes por presentar alto porcentaje de PAN ($\geq 64\%$). Para la variable SSGE se observaron valores desde 1.2 a 7%. Estos valores son bajos si se comparan con otros trabajos donde se han reportado valores de 12 a 78% (Durán-Hernández et al., 2011); en contraste, Ruiz-Torres et al. (2012) reportan valores menores al 5% en dos poblaciones de maíz criollo mejorado en Celaya, Guanajuato, México. La SSGE, son aquellas semillas embebidas que no presentaron germinación debido a daños físicos o fisiológicos y que impacta directamente en campo con una baja densidad de población (Ramírez et al., 2020).

Ninguno de los orígenes presentó germinación igual o inferior a 90% (Cuadro 1). Lo anterior, sugiere que los orígenes cumplen con la norma estándar establecida por el SNICS, que es de 85% (SNICS, 2024). Nuevamente los orígenes Semillas La Ejidal, INIFAP-testigo y Terra Semillas presentaron el mayor PGE con 98.75, 95.5 y 95%, respectivamente (Cuadro 1). Lo anterior resulta coherente dado que se presentó un bajo porcentaje de semillas sin germinar. De acuerdo con George et al. (2003) reportan que el porcentaje de germinación disminuye cuando la cosecha se efectúa antes de la madurez fisiológica.

No obstante, para mejorar la calidad, muchas compañías han adoptado tratamientos pre germinativos, lo que resulta en un incremento significativo de la calidad fisiológica de las semillas.

Al respecto García-Rodríguez et al. (2020) demostraron que los patrones de siembra y el tamaño de semilla pueden afectar el porcentaje de germinación. Por otra parte, Olisa et al. (2022) reportan que el porcentaje de germinación permitido va de 80 a 90% para variedades de polinización libre, lo que indica que los valores registrados entre los orígenes fueron satisfactorios (Cuadro 1).

Con relación al PPLU los valores oscilaron de 25.33 a 59.33 g, destacando el origen INIFAP-testigo que presentaron los pesos más altos para esta variable. En este mismo orden de ideas, PRAD presentó valores de 15 a 37.33 g, observando de nuevo altos valores para el origen INIFAP-testigo. En cuanto a la LPLU se obtuvieron valores de 13.17 a 18.27 cm; sin embargo, la prueba de medias no detectó variación entre los orígenes.

Esta característica es determinante para el vigor de la semilla ya que posteriormente se reflejará en la consistencia y firmeza del tallo (Salinas et al., 2013). Una plúmula larga y bien desarrollada indica que la planta tiene suficiente energía almacenada en la semilla y que los procesos metabólicos y fisiológicos funcionan correctamente (Pérez et al., 2006).

En relación con la LRAD los orígenes INIFAP-testigo y Semillas La Ejidal obtuvieron raíces más largas. Raíces largas indican que las plantas tendrán un buen anclaje al suelo, lo anterior representa una ventaja en lugares donde los eventos de lluvia son escasos, permitiendo a la planta aprovechar mejor el agua disponible (Sierra et al., 2008; Magdaleno-Hernández et al., 2020). Un sistema de raíces fuerte y extenso permite que la planta obtenga los recursos necesarios para sostener su crecimiento, especialmente en las primeras etapas de desarrollo cuando la demanda de nutrientes es alta (Navarro et al., 2012).

Calidad física

Se observó que los orígenes presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en todas las variables evaluadas ASEM, LSEM, GRSEM, P1000SEM, IFLOT, y PHEC. Asimismo, para el factor de variación ambiente, el ANDEVA arrojó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) para todas las variables, excepto para P1000SEM y ASEM, lo cual indica que estas últimas no fueron afectadas de la misma manera por el ambiente. Los coeficientes de variación obtenidos son bajos y aceptables, sugiriendo confiabilidad en los experimentos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Andeva combinado en seis variables físicas evaluadas en cinco orígenes del híbrido de maíz tropical H-520.

QFuente de variación	Origen	Ambiente	Error	Total	CV (%)
GL	4	1	114	119	
Peso hectolítrico	26.53 [*]	838.87 ^{**}	7.39		3.55
Grosor de semilla	0.37 [*]	0.48 [*]	0.08		7.02
Peso de mil semillas	6 521.67 ^{**}	163.33 ns	360.85		7.96
Ancho de semilla	2.59 ^{**}	0.01 ns	0.15		4.49
Longitud de semilla	7.65 ^{**}	1.47 [*]	0.37		5.32
Índice de flotación	323.88 ^{**}	2 050.13 ^{**}	74.64		31.67

(Tukey, 0.05) ^{*} = significancia a 5%; ^{**} = significancia a 1%; ns= no significativo.

Resultados como los de Pérez de la Cerda et al. (2007) mencionan que el genotipo juega un papel importante en la composición de la semilla. La calidad de la semilla de maíz es importante para los agricultores y la industria de semillas. Para este último, es trascendente la calidad de la semilla por la gran variación en tipo de grano que exhiben las variedades e híbridos de maíz.

Para identificar el comportamiento del promedio de las variables en cada uno de los orígenes, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey (Cuadro 3). Entre los orígenes, el grano con el PH más elevado correspondió a Terra Semillas y Maíces del Trópico con valores de 77.75 y 77.49 kg hl⁻¹. En el IF, el origen INIFAP-testigo, Maíces del Trópico e Iyadilpro fueron las que tuvieron los mayores valores con 29.54, 29.21 y 29.13%.

Cuadro 3. Características físicas de semilla de maíz provenientes de cinco orígenes del híbrido tropical de grano blanco H-520.

Origen	PH (kg hl ⁻¹)	GS (cm)	P1 000S (g)	AS (cm)	LS (cm)	IF (%)
INIFAP (t)	75.14 b	3.91 b	255 a	8.95 a	11.9 a	29.54 a (D)
Terra Semillas	77.75 a	4.06 ab	220.83 c	8.49 bc	10.67 c	20.83 b (D)
lyadilpro	76.19 ab	4.13 ab	239.17 b	8.61 b	11.27 b	29.13 a (D)
Maíces del Trópico	77.49 a	4.21 a	223.33 c	8.21 c	11.34 b	29.21 a (D)
Semillas La Ejidal	76.64 ab	3.95 b	255 a	9 a	12.1 a	27.71 ab (D)
Promedio	76.642	4.052	238.666	8.652	11.456	27.284
Ambiente						
Piedras Negras	74 b	4.11 a	239.83 a	8.64 a	11.57 a	31.42 a
Cotaxtla	79.29 a	3.99 b	237.5 a	8.66 a	11.35 b	23.15 b
Promedio	76.645	4.05	238.665	8.65	11.46	27.285

Medias con letras iguales, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). Valores entre 13 y 37% corresponden a textura dura (D) y de 38 a 62% a textura intermedia (I). PH= peso hectolítrico; GS= grosor de semilla; P1000G= peso de 100 granos; AS= ancho de semilla; LS= longitud de semilla; IF= índice de flotación.

Un indicador de calidad para el maíz destinado a la elaboración de productos nixtamalizados es la dureza del grano, que se estima indirectamente con los valores de PH e IF (Salinas et al., 2013), variables que se correlacionan inversamente entre sí (Salinas et al., 1992). Es importante resaltar que, el nivel de mantenimiento varietal ha sido efectivo para estas características dado que en la descripción varietal para el H-520 se reportaron valores de IF de 30% y una densidad de 77 kg hl⁻¹, caracterizándolo como un tipo de grano duro (Sierra et al., 2008).

Para el P1000S los orígenes INIFAP-testigo y Semillas La Ejidal presentaron altos valores para esta variable con 255 g (Cuadro 3), lo que sugiere que tienen mejor calidad porque tienen un mayor peso en 1000 semillas (Magdaleno-Hernández et al., 2020). El P1000S es una variable que está estrechamente relacionado con el tipo, composición y dureza del grano (Figueroa et al., 2013).

Algunos autores han reportado valores para el P1000S que oscilan entre 272 hasta 427.9 g (Salinas et al., 2013; Virgen-Vargas et al., 2016; Guillen-de la Cruz et al., 2018; Ramírez et al., 2020). Mauricio et al. (2004) reportan que el P1000S es un indicador del tamaño y de la densidad del grano, característica importante para los productores de harina porque estos granos contienen mayor proporción de endospermo que los pequeños, de modo que tienen mayor rendimiento.

Por otro lado, el origen Semillas La Ejidal presentó el valor más alto de AS y LS con 9 y 12.1 mm, respectivamente (Cuadro 3). Estos datos se encuentran dentro de los valores reportados por Gutiérrez-Coronado et al. (2009) para híbridos de maíz de calidad proteínica mejorada, que van de 6.9 a 8.73 mm para AS y de 7.95 a 11.32 mm para LS. Para la variable GS se observaron tres grupos estadísticos, siendo el origen Maíces del Trópico que presentó las semillas con mayor grosor.

Algunos autores consideran que características como longitud, ancho y grosor de semillas actúan como componentes en el peso y tamaño de este, que contribuyen indirectamente al rendimiento de semilla y que se asocia al proceso de nixtamalización (Carranza-González et al., 2022). Por otro lado, la dureza del endospermo está relacionada con la capacidad de absorción de agua (Mauricio et al., 2004), una máxima capacidad de absorción de agua está relacionada con mayor rendimiento de masa (Vázquez et al., 2010).

Finalmente, el tamaño de grano es una variable de interés en el procesamiento de nixtamalización, por su impacto en el procesamiento de cocción y absorción de agua (Sánchez et al., 2007; Salinas et al., 2013). Con relación a los ambientes de evaluación, se puede observar que el ambiente de

Piedras Negras mostró los mejores valores en las variables evaluadas, excepto para PH donde fue ligeramente menor al ambiente de Cotaxtla (Cuadro 3).

Asimismo, se constató que el ambiente no influyó en las variables P1000S y AS; es decir, su expresión no fue afectada de manera diferencial ante el cambio de genotipos a través de ambientes. Estos resultados se atribuyen en parte a que los orígenes estuvieron representados por diferentes tamaños de muestra y por otra parte, a que el proceso de producción primaria de semillas es diferente. Esto es importante ya que garantiza una mayor uniformidad en las semillas producidas y facilita la predicción del comportamiento de las plantas en diferentes ambientes.

Es importante mencionar que la pureza genética es un requerimiento esencial en la calidad en sus diferentes niveles, y esta se logra, manteniendo a la variedad en su área de adaptación para minimizar la influencia del estrés ambiental (Zeven, 2002). La multiplicación de semillas en condiciones desfavorables resulta en una deriva genética que provoca desviaciones en el tipo de planta como: variación en la madurez, bajo rendimiento de semilla, susceptibilidad a plagas y enfermedades, poca adaptación a condiciones ambientales específicas, entre otras (Sundareswaran et al., 2022).

Finalmente, es necesario que los mejoradores hagan selección de variedades con alta calidad física y fisiológica; asimismo, debe de ir seguido de un buen programa de multiplicación de semillas y prestar total atención en las estrategias y procedimientos de producción de semillas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos sugieren que ha sido efectivo el esquema de control de pureza genética durante el proceso de producción de semilla utilizadas por los mejoradores y empresas productoras de semillas del híbrido de maíz de grano blanco H-520. Las diferencias en calidad fisiológica entre orígenes de semillas se pueden atribuir a los procesos intrínsecos que se llevan a cabo durante el proceso de germinación, lo cual se refleja en el vigor de plántula. Los rasgos morfológicos de semilla y de plántula causados por el origen nos ayudó a deducir que las empresas cumplen con los estándares de certificación establecidos por el SNICS.

Es necesario complementar las pruebas de calidad de semilla aplicando técnicas bioquímicas y moleculares de acuerdo con las normas internacionales vigentes. Finalmente, para asegurar la calidad y pureza de la semilla híbrida, es necesario llevar a cabo evaluaciones periódicas de rendimiento y calidad de semilla. Este proceso garantizará la conservación de las características deseables del híbrido a lo largo de las generaciones.

Bibliografía

- 1 Adebisi, M. A.; Kehinde, T. O.; Porbeni, J. B. O.; Oduwaye, O. A.; Biliaminu, K. and Akintunde, S. A. 2013. Seed and seedling vigour in tropical maize inbred lines. *Plant breeding and seed science*. 67(1):87-102. <http://archive.sciendo.com/PLASS/plass.2013.67.issue-1/v10129-011-0072-4/v10129-011-0072-4.pdf>.
- 2 Carranza-González, S.; Carballo-Carballo, A.; Villaseñor-Mir, H. E.; Hernández-Livera, A. y Elena-Ramírez, M. 2022. Calidad física de semilla en 24 variedades mejoradas de trigo liberadas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(5):827-840. Doi: 10.29312/remexca.v13i5.3003.
- 3 Castillo, M. L. E. 2007. *Introducción al SAS para Windows*, 3^{ra} Ed. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Texcoco, Estado de México. 295 p.
- 4 Duran-Hernández, D.; Gutiérrez-Hernández, G. F.; Arellano-Vázquez, J. L.; García-Ramírez, E. y Virgen-Vargas, J. 2011. Caracterización molecular y germinación de semillas de maíces criollos azules con envejecimiento acelerado. *Agronomía Mesoamericana*. 22(1):11-20.

- 5 Figueroa, C. J.; Narváez, G. D. E.; Mauricio, S. A.; Taba, R. S.; Gaytán, M. M.; Véles, M. J. J.; Rincón, S. F. y Aragón, C. F. 2013. Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36(3-a):305-314. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sciarttext&pid=S018773802013000500007&lng=es&tlng=es>.
- 6 FAO/STAT. 2023. Food and Agriculture Organization. Situación Alimentaria Mundial. Disponible: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>.
- 7 George, D. L.; Gupta, M. L.; Tay, D. and Parwata, I. G. M. A. 2003. Influence of planting date, method of handling and seed size on supersweet sweet corn seed quality. *Seed Sci. & Technol.* 31(2):351-366. Doi: 10.35196/rfm.2018.1.31-37.
- 8 González-Zertuache, L. and Orozco-Segovia, A. 1996. Métodos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachys*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 58:15-30. Doi: 10.17129/botsci.1484.
- 9 Gouttefanja, F. 2021. La industria agro-alimentaria en México: ¿Hacia una nueva relación metabólica hombre-maíz? *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional* París, Francia. 31(58):7-15. <https://doi.org/10.24836/es.v31i58.1167>.
- 10 Guillen-de la Cruz, P.; Velázquez-Morales, R.; De la Cruz-Lázaro, E.; Márquez-Quiroz, C. y Osorio-Osorio, R. 2018. Germinación y vigor de semillas de poblaciones de maíz con diferente proporción de endospermo vítreo. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Science*. 34(2):108-117. Doi: 10.4067/S0719-38902018005000304.
- 11 Gutiérrez-Coronado, M. L.; Coronado-Amaya, E.; Vázquez-Ortiz, F. A.; López-Franco, Y. L. and Ortega-Corona, A. 2009. Caracterización física y química de maíz de calidad proteínica mejorada. *Journal of Food*. 7(2):111-118. Doi: 10.1080/19476330902940416.
- 12 ISTA. 2024. International rules for seed testing. Richtiarkade 18, CH-8304 Wallisellen, Switzerland. <https://www.seedtest.org/en/international-rules-for-seed-testing-rubric-3.html>.
- 13 Kormawa, P.; Okorji, E. and Okechukwu, R. 2019. Assessment of seed-sub sector policy in Nigeria, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. <https://www.interreseaux.org/wpcontent/uploads/pdf-nigeria-seed-sector-policy-analysis.pdf>. 31-34 pp.
- 14 Liu, X.; Wang, Z.; Xiang, Y.; Tong, X.; Wojtyla, #. and Wang, Y. 2023. Editorial: molecular basis of seed germination and dormancy. *Front. Plant Sci.* 14(21):1-3. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1242428>.
- 15 Magdaleno-Hernández, E.; Magdaleno-Hernández, A.; Mejía-Contreras, A.; Martínez-Saldaña, T.; Jiménez-Velázquez, M. A.; Sánchez-Escudero, J. y García-Cué, J. L. 2020. Evaluación de la calidad física y fisiológica de semilla de maíz nativo. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 17(3):569-581. <https://doi.org/10.22231/asyd.v17i3.1372>.
- 16 Mauricio, S. R. A.; Figueroa, C. J. D. D.; Taba, S. R.; Reyes, V. M.; Rincón, S. F. y Mendoza, G. A. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27(3):213-222. <https://doi.org/10.35196/rfm.2004.3.213>.
- 17 Meneses-Márquez, I.; Villanueva-Verduzco, C.; Mejía-Contreras, J. A.; Molina-Galán, J. D. y Miranda-Colín, S. 2006. Tamaño óptimo de parcela en calabaza asociada con maíz. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 12(1):27-31. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60912105>.
- 18 Musito, R. N.; Espinoza, V. J.; González, V. V. M.; Gallegos, S. J. E. y León, C. H. 2008. Características de plántulas en familias derivadas de una población de maíz poliembriónico. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(4):399-402. <https://doi.org/10.35196/rfm.2008.4.399>.
- 19 Navarro, B. M.; Febles, G. V. y Torres, N. V. 2012. Bases conceptuales para la estimación del vigor de las semillas a través de indicadores del crecimiento y el desarrollo inicial. *Pastos y Forrajes*. 35(3):233-246. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269125186001.pdf>.

- 20 Olisa, B. S.; Ojo, P. O.; Ishiak, K. O.; Agboola, A. A.; Towolawi, O. and Dahiru, R. 2022. Quality requirement for seed production in Nigerian seed industry. *Seed Science and Technology*. 50(1):27-39. Doi: 10.15258/sst.2022.50.1.04.
- 21 Olisa, B. S.; Awosanmi, F. M.; Ajayi, S.; Olakojo, S.; Akintunde, F. C. and Olasunkanmi, T. M. 2024. Assessment of physiological quality of commercial maize-seed lots for quality assurance in the nigerian seed industry. *Seed Science and Technology*. 52(1):29-39. Doi: 10.15258/sst.2024.52.1.04.
- 22 Pérez-Mendoza, C.; Hernández-Livera, A.; González-Cossio, F. V.; García-Santos, G., Carballo-Carballo, A.; Vásquez-Rojas, T. R. y Tovar-Gómez, M. D. R. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura Técnica en México*. 32(3):341-352. <https://www.redalyc.org/pdf/608/60832310.pdf>.
- 23 Pérez, C. F. J.; Carballo, C. A.; Santacruz, V. A.; Hernández, L. A. y Molina, M. J. C. 2007. Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura Técnica en México*. 33(1):53-61. <https://www.redalyc.org/pdf/608/60832310.pdf>.
- 24 Ramírez, R. O.; Escobar, A. J. L.; Maldonado, P. M.; Rojas, G. A. R.; Hernández, C. E. y Valenzuela-Lagarda, J. L. 2020. Calidad de mazorca y grano en maíces criollos de la Costa Chica, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(24):239-346. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2374>.
- 25 Rojas, J. C. V. y Flores, J. R. N. 2017. Determinación del tamaño y la forma de unidad experimental, con el método de curvatura máxima, para ensayos de rendimiento de maíz (*Zea mays* L.), Guanacaste, Costa Rica. *UNED. Research Journal*. 9(1):135-144. <https://www.redalyc.org/journal/5156/515653587018/html/>.
- 26 Ruíz-Torres, N. A.; Rincón-Sánchez, F.; Bautista-Morales, V. M.; Martínez-Reyna, J. M.; Dávila, H. C. B. y Olvera-Esquivel, M. 2012. Calidad fisiológica de semilla en dos poblaciones de maíz criollo mejorado. *Revista Agraria*. 9(2):43-48. Doi: 10.59741/agraria.v9i2.478.
- 27 Salinas, M. Y.; Aragón, C. F.; Ybarra, M. C.; Aguilar, V. J.; Altunar, L. B. y Sosa, M. E. 2013. Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36(1):23-31. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802013000100003&script=sci-arttext>.
- 28 Salinas, M. Y.; Martínez, B. F. y Gómez H. J. 1992. Comparación de métodos para medir dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 42(1):59-63. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-120752>.
- 29 Sánchez, F. C.; Salinas, M. Y.; Vázquez, C. G.; Velázquez, C. G. A. y Aguilar, G. N. 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 57(3):295-301. <https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222007000300013&script=sci-arttext>.
- 30 SADER. 2022. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Tecnologías de producción de maíces nativos en la zona sur de Veracruz circunscrita al Istmo de Tehuantepec. <https://www.gob.mx/agricultura/veracruz/documentos/tecnologiasdeproducciondemaices-nativos-en-la-zona-sur-de-veracruz-circunscrita-al-istmo-de-tehuantepec>.
- 31 SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Panorama agroalimentario. 220 p. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>.
- 32 SNICS. 2024. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Boletín informativo de producción de semilla calificada por el SNICS. Ciclos agrícolas. 64 p. <https://www.gob.mx/snics/documentos/boletininformativodeproducciondesemillacalificada-por-el-snics-ciclos-agricolas-pv-2023-oi-2023-2024-ano-6-no-1>.
- 33 Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F. A.; Espinosa, C. A.; Gómez, M. N.; Caballero, H. F.; Barrón, F. S.; Sandoval, R. A. y Vázquez, C. G. 2008. H-520, híbrido trilineal de maíz

- para el trópico húmedo de México. *Agricultura Técnica en México*. 34(1):119-122. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172008000100015&script=sci-arttext>.
- 34 Sundareswaran, S.; Ray, C. R.; Chinnapaiyan, V. and Yadava, D. K. 2022. Seed quality: variety development to planting-an overview. *Seed science and technology, biology, production, quality*. 1-16 pp. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-19-5888-5>.
- 35 Turrent, F. A.; Wise, A. T. y Garvey, E. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Woodrow Wilson International Center for Schollars*. 12(3):14-20. <http://www.ase.tufts.edu/gdae/Pubs/wp/12-03TurrentMexMaize.pdf>.
- 36 Vázquez, C. M. G.; Pérez, C. J. P.; Hernández, C. J. M.; Marrufo, D. M. L. y Martínez, R. E. 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y valle del mezquital, México *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33(4):49-56. <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial-4.49>.
- 37 Virgen-Vargas, J.; Zepeda-Bautista, R.; Ávila-Perches, M. A.; Espinosa-Calderón, A.; Arellano-Vázquez, J. L. y Gámez-Vázquez, A. J. 2016. Producción y calidad de semilla de maíz en Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*. 27(1):191-206. <https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21899>.
- 38 Zeven, A. C. 2002. Traditional maintenance breeding in landraces: practical and theoretical considerations on maintenance of varieties and landraces by farmers and gardeners. *Euphytica*. 123(2):147-158. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1014940623838>.



Variación en la calidad física y fisiológica de semilla causada por el origen del híbrido de maíz H-520

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 March 2025
Date accepted: 01 June 2025
Publication date: 18 June 2025
Publication date: May-Jun 2025
Volume: 16
Issue: 4
Electronic Location Identifier: e3699
DOI: 10.29312/remexca.v16i4.3699

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Zea mays L.

empresas semilleras

híbrido comercial

mantenimiento varietal

prueba de semillas

Counts

Figures: 0

Tables: 3

Equations: 0

References: 38

Pages: 0