Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ASOCIACIÓN DE CARACTERES DE CALIDAD FISIOLÓGICA EN EL ALMACENAMIENTO DE CEREALES

Rocío Edelmira Hernández-Caldera[1], Luis Octavio Rubio[2], Miguel Ángel Ávila-Perches[1], Alfredo Josué Gámez-Vázquez[1], Mirna Bobadilla Melendez[1], Griselda Yunuen Rodríguez de Velazco[2]

[1]Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Bajío. Km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende. C. P. 381105, Celaya, Guanajuato, México; [2]Universidad Tecnológica de San Miguel de Allende. Camino a San Julián No. 8 Colonia, Casco de Landeta, C.P. 37700, San Miguel de Allende, Guanajuato, México; Autor de correspondencia: avila.miguel@inifap.gob.mx.

RESUMEN

El proceso de producción de semilla es costoso, por los insumos, mano de obra y certificaciones, entre otros conceptos que se requieren para que el producto sea de calidad; por lo que el almacenamiento desempeña un papel esencial para conservar el vigor y germinación de la semilla. El objetivo de este trabajo fue evaluar el material con que se construyen los envases para el almacenamiento de La semilla de maíz y trigo con la finalidad de identificar aquellos que mejor conservan la calidad fisiológica de la semilla, así como determinar la correlación entre las variables de calidad. El trabajo se realizó en el laboratorio de semillas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Celaya, Guanajuato. Los factores de estudio evaluados fueron: a) dos variedades (V): Luminaria de trigo, producida en el ciclo otoño-invierno 2024-2025 y de maíz V-322, producida en el ciclo primavera-verano 2024; y b) cuatro tipos de envases (E): 1) costal de tres capas de papel y una de plástico (CPP), 2) lata de aluminio (LA), 3) costal de polipropileno (CP) y 4) frasco de vidrio hermético (FV); se sometieron a una temperatura de 35 °C durante 50 días. Se utilizó un diseño experimental generalizado con arreglo bifactorial con cuatro repeticiones. Se realizaron análisis de componentes principales para identificar la asociación entre caracteres de calidad fisiológica de semilla de maíz y trigo. Las variables evaluadas fueron: emergencia de radícula mayor a un milímetro a las 48 hrs (R), emergencia de plúmula a los 96 hrs (P), germinación estándar (GE) y longitud de plúmula (LP), de radícula (LR), peso seco de plúmula (PSP) y peso seco de radícula (PSR). Las variables de mayor importancia fueron la LP y R; y las variables más correlacionadas fueron LP, con interdependencia negativa con PSR; PSP con GE, relacionadas positivamente y P con LR negativamente. El mejor envase para almacenar maíz es el costal de tres capas de papel y una de plástico, envase utilizado para la venta de semilla en el INIFAP; y para trigo la lata de aluminio.

Palabras clave: germinación, vigor, componentes principales, maíz, trigo

ABSTRACT

The seed production process is costly due to inputs, labor, and certifications, among other factors required to ensure product quality. Therefore, storage plays a crucial role in preserving seed vigor and germination. The objective of this study was to evaluate the materials used to construct containers for storing corn and wheat seeds in order to identify those that best preserve the physiological quality of the seed, as well as to determine the correlation between quality variables. The work was carried out in the seed laboratory of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), located in Celaya, Guanajuato. The study factors evaluated were: a) two varieties (V): Luminaria wheat, produced in the fall-winter cycle 2024-2025 and V-322 corn, produced in the spring-summer cycle 2024; and b) four types of containers (E): 1) three-layer paper and one-layer plastic sack (CPP), 2) aluminum can (LA), 3) polypropylene sack (CP) and 4) airtight glass jar (FV); they were subjected to a temperature of 35 °C for 50 days. A generalized experimental design with a two-factor arrangement and four replicates was used. Principal component analyses were performed to identify the association between physiological quality traits of maize and wheat seed. The variables evaluated were: radicle emergence greater than one millimeter at 48 hours (R), plumule emergence at 96 hours (P), standard germination (EG), and plumule length (PL), radicle length (RL), plumule dry weight (PDW), and radicle dry weight (RDW). The most important variables were PL and R; and the most correlated variables were PL, with a negative interdependence with RDW; PDW with EG, positively related; and P with RDW, negatively related. The best container for storing corn is the three-layer paper and one-layer plastic sack, the container used for selling seed at INIFAP; and for wheat, the aluminum can.

Keywords: *germination, vigor, principal components, maize, wheat*

INTRODUCCIÓN

La producción a nivel nacional del grano de maíz fue de 7, 068, 915 ha y 312, 460 ha de trigo (SIAP, 2025), por lo que son los cereales de mayor importancia para la alimentación en México. La semilla con calidad, es un insumo necesario para la producción de cualquier cultivo; ya que debe llevar el mayor potencial genético que con calidad dará lugar a un desarrollo vigoroso en campo; sin embargo, la semilla requiere de muchos factores intrínsecos, además de los ambientales; entre los aspectos inherentes a la semilla están su calidad fisiológica, que es de gran importancia; principalmente las características de vigor y germinación, relacionadas con el establecimiento en campo. Sin embargo, la semilla tiene que almacenarse por periodos cortos o prolongados, como reservas para programas de mejoramiento y semilla lista para su comercialización. Su forma de almacenamiento dependerá de si son semillas ortodoxas o recalcitrantes; sin embargo, para conservar su viabilidad los factores más importantes a considerar son la temperatura, humedad relativa del ambiente donde se almacena y el contenido de humedad de la semilla (Dadlani *et al*., 2023). La semilla es un ente vivo, que requiere se conservada bajo condiciones favorables, por lo que, con la finalidad de mantener su mejor calidad,

se debe seleccionar un tipo de envase adecuado, especialmente en relación con la germinación, vigor y salud de la semilla. Una de las técnicas que permiten predecir, identificar y asociar variables son los análisis multivariados, el análisis de componentes principales es un método de combinaciones lineales de las variables originales que expliquen al máximo la variabilidad de todos los caracteres evaluados (Lattin et al., 2011|), son métodos útiles para estudiar relaciones entre variables además de ayudar a determinar el comportamiento de genotipos a través de diferentes ambientes (Ali et al 2015). El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes tipos de envases para el almacenamiento de maíz y trigo e identificar aquellos que conserven mejor el vigor y la germinación, así como cuantificar la correlación entre las diferentes variables.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el laboratorio de semillas del Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Celaya, Guanajuato. Los factores de estudio evaluados fueron: a) dos variedades (V): luminaria de trigo, producida en el ciclo otoño – invierno 2024-2025 y de maíz V-322, producida en el ciclo primavera - verano 2024; y b) cuatro tipos de envases (E): 1) costal de tres capas de papel y una de plástico (CPP), 2) lata de aluminio (LA), 3) costal de polipropileno (CP) y 4) frasco de vidrio hermético (FV). Cada tratamiento se sometió a una temperatura de 35 °C durante 50 días en una incubadora. Se utilizó un diseño experimental generalizado con arreglo bifactorial, los factores de estudio fueron V y E para almacenar semilla. Se utilizaron cuatro repeticiones de 50 semillas cada una. Se realizaron análisis de componentes principales para determinación la asociación entre caracteres de calidad fisiológica de semilla de maíz y trigo, utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS, 2011). Las variables evaluadas fueron: emergencia de radícula mayor a un milímetro a las 48 hrs (R, %), emergencia de plúmula a los 96 hrs (P, cm), germinación estándar (GE, %) y longitud de plúmula (LP, cm), de radícula (LR, cm), peso seco de plúmula (PSP, mg) y peso seco de radícula (PSR, mg). En total se emplearon 500 semillas de cada genotipo; 100 se colocaron en cada uno de los envases y se sellaron con cinta plástica adherible; con las 100 semillas restantes se realizó una evaluación de germinación estándar inicial. Enseguida los envases se colocaron en incubadora a una temperatura de 35 ± 1 °C y una humedad relativa de 100 % por 50 días. Después del tratamiento, se extrajeron las muestras de semilla de cada tipo de envase y se realizó la siembra de los genotipos en el método entre papel, conocidos como rollos o “tacos”, estos se colocaron en una cámara de germinación, a una temperatura de 23 ± 1 °C; para evaluar el vigor y germinación de las semillas; al segundo día se evaluó cuidadosamente, evitando daños de raíces, al desenrollar los tacos y sobre el papel se contó el número de semillas que presentaban una longitud de radícula mayor a 1mm (R); posteriormente volvieron a enrollar los tacos que se colocaron nuevamente en la cámara germinadora. Al cuarto día (96 h) se procedió a contabilizar la semilla que presentaba plúmula (P); a los siete días, se evaluó la germinación estándar (GE), de acuerdo a las recomendaciones de la ISTA (2005); al considerar las plántulas normales con base en aquellas

que tenían raíz, coleóptilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones; R, P y GE se expresaron en porcentaje. La LP y LR se midió en centímetros con una regla de la parte media del grano; en el caso de PSP y PSR se procedió a separar del resto del grano la radícula y plúmula de las plántulas normales, se colocaron por separado en bolsas Kraft (15x10 cm) perforadas, que se sometieron a una temperatura de 70 °C por 72 h, finalmente se pesaron en miligramos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de componentes principales (Cuadro 1), se observó que la CP1 explica el 63 % y el CP2 el 21 % de la variabilidad total de los datos originales; por lo que en conjunto explican el 84% de la variabilidad total medida de las variables. Con base en el valor absoluto de los vectores propios se determinó la importancia de las variables dentro de cada componente; la longitud de plúmula (-0.452075), fue la variable con mayor ponderación en el componente 1 y en el componente 2 el porcentaje de semillas con una longitud de radícula (R) mayor de 1 mm evaluada a las 48 h (0.718552) después de la siembra, variables no correlacionadas.

Dentro del componentes 1 las variables con mayor interdependencia fueron longitud de plúmula negativamente con peso seco de radícula (0.438804); y peso seco de plúmula (0.412892) con germinación estándar (0.416335); y semillas con plúmula evaluada a las 96 h (0.339969) con longitud de radícula, pero negativamente (-0.34776). El porcentaje de semillas con una longitud de radícula (R) mayor de 1 mm evaluada a las 48 h (0.718552) después de la siembra no mostro interdependencia con el resto de las variables (Tabla 1).

Cuadro 1. Análisis de componentes principales de las variables de germinación y vigor de cereales.

Variable	CP1	CP2
Semillas con Radícula (R)	0.150829	0.718552
Semillas con Plúmula (P)	0.339969	0.342024
Longitud Plúmula (LP)	-0.452075	0.233416
Longitud Radícula (LR)	-0.34776	-0.05542
Peso Seco Plúmula (PSP)	0.412892	-0.378716
Peso Seco Radícula (PSR)	0.438804	-0.257908
Germinación Estándar (GE)	0.416335	0.31497
Valor propio	4.42	1.46
% de varianza acumulada	63	84
Nombre del componente	Longitud de plúmula	Radícula

En la Figura 1, se presenta el plano cartesiano conformado por el CCP1 y CP2, donde se observa que los envases presentaron diferente comportamiento en los cultivos de maíz y trigo; sin embargo, se puede observar que existe una diferenciación entre estos dos cultivos. En el cuadrante I se puede observar que cultivo de maíz presentó el mejor comportamiento almacenado cuando se conservó en el costal de 3 capas de papel y una de plástico, ya que presentó la mayor expresión de peso seco de radícula y con menor longitud de plúmula, seguido por el envase de la lata de aluminio; sin embargo, este genotipo en los envases de costal de polipropileno y frasco de vidrio presentaron valores inferiores en estas variables. En comparación con el trigo se puede observar que este genotipo presentó un mejor comportamiento en longitud de plúmula y menor peso seco de radícula, pero mayor número de semillas con radícula a las 48 h después de ser conservada la semilla en los envases de aluminio y polipropileno. En trigo la lata de aluminio permitió una mayor numero de semillas con longitud de radícula mayor a 1 mm, variable considerada como la de mayor importancia en el componente 2. Por lo que se puede considerar el mejor envase para almacenar maíz es el costal de tres capas de papel y una de plástico; ya que sobresalió en la expresión de peso seco de radícula y para trigo la lata de aluminio por la longitud de radícula mayor a un milímetro a los 48 h.

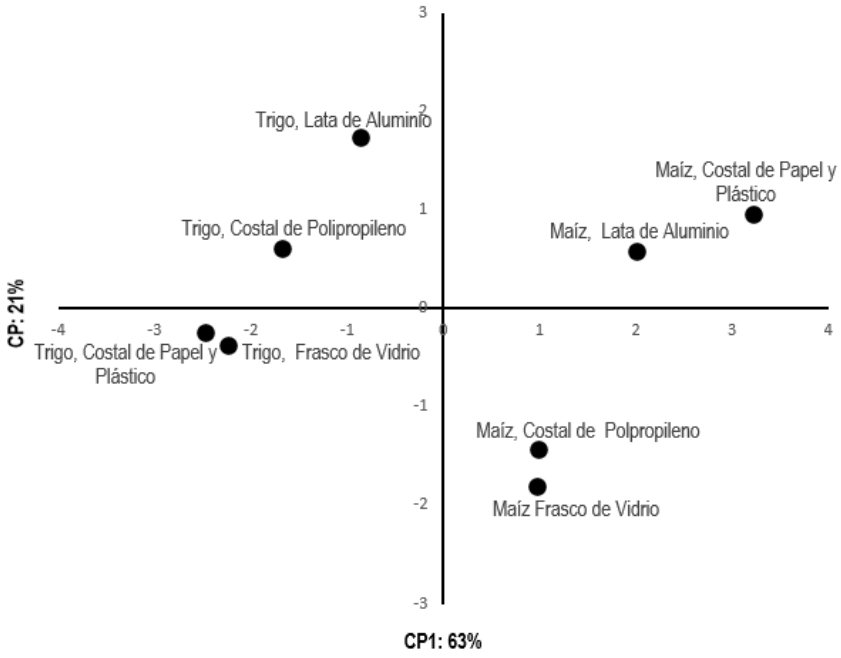

Figura 1. Análisis de componentes principales entre envases (ambientes) y genotipos de cereales.

CONCLUSIONES

Las variables de mayor importancia fueron la longitud de plúmula y la longitud de radícula mayor a 1 mm evaluadas a las 48 h; y las variables más correlacionadas fueron longitud de plúmula que presentó interdependencia negativamente con el peso seco de radícula; el peso seco de plúmula con interdependencia

positiva con germinación estándar y semillas con plúmula evaluada a las 96 h con longitud de radícula, variables que se relacionaron negativamente.

El mejor envase para almacenar maíz es el costal de tres capas de papel y una de plástico, envase utilizado para la venta de semilla en el INIFAP; y para trigo la lata de aluminio. Ambos son una buena opción para el almacenamiento de semilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali, F., Kanwal N., Ahsan M., Ali Q., Bibi I., Niazi N.K. (2015). Multivariate analysis of grain yield and its attributing traits in different maize hybrids grown under heat and drought stress. Scientifica. 563869 https://doi.org/10.1155/2015/563869.

Dadlani M., Gupta, A., Sinha, S.N., Kavali, R. (2023). Seed Storage and Packaging. In: Dadlani, M., Yadava, D.K. (eds) Seed Science and Technology. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_1 239-266 pp

ISTA, (2015) International Rules for Seed Testing, Vol. 215, Introduction, i-1-6 (10). The International Seed Testing Asociación, Bassersdorf.

Lattin J., Carroll J.D., Green, P.E. (2011). Análise de dados multivariados. São Paulo: Cengage Learning,. 475p.

SAS, Institute, Statistical Analysis System (2011) SAS/STAT@9.3 User´s Guide. Software Release V 9.3. SAS Institute Inc. Cary, N. C., USA.

SIAP, (2025). Producción agrícola. https://nube.agricutura.gob.mx/agroprograma

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE CEBADA Y TRIGO, ALMACENADAS EN DIFERENTES ENVASES

Mirna Bobadilla Meléndez[1§], Rocío E. Hernández Caldera[1], Miguel A. Avila Perches[1], Alfredo Josué Gámez Vázquez[1], Juan Pablo Rivera Moreno[2] y Luis Octavio Rubio Sánchez[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Bajío. Carretera Celaya-San Miguel de Allende Km 6.5, Celaya, Gto, CP 38110. [2]Universidad Tecnológica de San Miguel de Allende. Camino a San Julián No. 8, Casco de Landeta, San Miguel de Allende, Gto. CP 37700. [§]Autor de correspondencia: bobadilla.mirna@inifap.gob.mx

RESUMEN

El envase juega un papel esencial en la conservación de la calidad de semilla, al protegerla contra daños físicos y ambientales. El objetivo del presente, fue evaluar el efecto de cuatro tipos de envase sobre la germinación y el vigor de semillas de cebada y trigo almacenada a 35 ºC y 80 % de humedad relativa, por un periodo de 50 días. Se colocaron 600 semillas en cada envase (bolsa de polipropileno, bolsa de papel multicapa, frascos herméticos de vidrio y botes herméticos de lámina.). Las pruebas de germinación se llevaron a cabo en una cámara a ± 23 ºC por siete días. Las variables evaluadas fueron emergencia de radícula (ER), emergencia de plúmula (EP), germinación estándar (GE), longitud de radícula (LR), longitud de plúmula (LP), peso seco de radícula (PSR) y peso seco de plúmula (PSP). El análisis estadístico se efectuó mediante un diseño completamente al azar bifactorial (genotipos y envases) y comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Además, se realizó un análisis de componentes principales. El análisis de varianza evidenció diferencias significativas entre genotipos ($P \leq 0.01$), los envases influyeron significativamente en la LP, PSP ($P \leq 0.01$) y con $P \leq 0.05$ en ER y GE. La semilla de cebada conservó mayor calidad fisiológica en comparación con el trigo. Los envases herméticos: frasco de vidrio y lata de aluminio, aceleraron el deterioro de la semilla. La bolsa de polipropileno y bolsa de papel conservaron mejor la calidad de semilla.

Palabras clave: *Hordeum vulgare L., Triticum aestivum L., componentes principales, almacenamiento.*

ABSTRACT

Container plays an essential role in preserving seed quality by protecting it from physical and environmental damage. The objective of this study was to evaluate the effect of four types of containers on the germination and vigor of barley and wheat seeds stored at 35°C and 80% relative humidity for 50 days. Six hundred seeds were placed in each type of container (polypropylene bag, multi-layer paper bag, airtight glass jars, and airtight foil containers). Germination tests were conducted in a chamber at approximately 23°C for seven days. The variables evaluated were radicle emergence (RE), plumule emergence (PE), standard germination (EG), radicle

length (RL), plumule length (PL), radicle dry weight (RDW), and plumule dry weight (RDW). Statistical analysis was performed using a two-way completely randomized design (genotypes and container) and Tukey's test for mean comparisons ($p \leq 0.05$). A principal component analysis was also conducted. Analysis of variance revealed significant differences between genotypes ($P \leq 0.01$). Container significantly influenced germination potential (GP) and seed yield (SY) ($P \leq 0.01$), and germination rate (GR) and germination efficiency (GE) ($P \leq 0.05$). Barley seed maintained higher physiological quality compared to wheat. Airtight container (glass jars and aluminum cans) accelerated seed deterioration. Polypropylene bags and paper bags better preserved seed quality.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L., *main components, storage*

INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de cereales de grano pequeño como la cebada y el trigo se desarrolla tanto en condiciones de temporal, en los Valles Altos en el ciclo agrícola primavera-verano; como en riego, en el ciclo otoño-invierno en la región del Bajío y Noroeste del país. La producción de ambos granos se destina principalmente para la industria alimentaria, en el caso de la ceba para la producción de malta y el trigo para la elaboración de harina y sémola (González *et al*., 2021; Villaseñor *et al*., 2021). Con la finalidad de cubrir la demanda de grano, en 2024 se destinaron 301, 729 ha para la producción de cebada y 492, 403 ha para trigo. Los principales estados productores de ambos cultivos en condiciones de temporal son Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca y México, con un rendimiento promedio aproximado de 2 t ha^{-1}; mientras que, para riego son Guanajuato, Michoacán, Chihuahua y Sonora, donde se siembran en otoño – invierno, con rendimientos promedio de 6 t ha^{-1} (SIAP, 2026).

La producción de semilla certificada para abastecer la demanda en el país es escasa, parte del grano que se produce se destina como semilla, en algunos casos este grano carece de los componentes de calidad, a) Genética, como son la pureza varietal; b) Física: peso y tamaño de la semilla uniforme; c) Fisiológica: vigor y germinación y d) Sanitaria: libre de patógenos. Una semilla con alta viabilidad y vigor garantiza una emergencia uniforme, plántulas fuertes y un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, agua y nutrientes que se encuentran en el suelo; lo que se traduce en un sistema productivo eficiente. El vigor determina la capacidad de las semillas para mantenerse viables en el tiempo y obtener adecuadas densidades de población (Doria, 2010).

Durante el proceso de almacenamiento, las semillas se encuentran expuestas a diversos factores que influyen negativamente en su calidad fisiológica, entre los que destacan la temperatura, humedad relativa, tiempo de conservación y tipo de envase utilizado a lo largo del almacenamiento. Cuando estos factores no son controlados adecuadamente, se acelera el proceso de deterioro, lo que disminuye la capacidad germinativa y el vigor, que afectan directamente el establecimiento de los cultivos (Doria, 2010; Muñoz-Gutiérrez *et al*., 2022) lo que genera pérdidas económicas para los productores.

El envase para el almacenamiento de semilla, constituye un componente fundamental en el sistema de producción, manejo y comercialización de semillas, debido a que su función principal es preservar la integridad genética, física, fisiológica y fitosanitaria desde su procesamiento hasta la siembra. Asimismo, un envase adecuado contribuye a mantener la calidad del lote al prevenir daños mecánicos, contaminación y alteraciones ocasionadas por factores abióticos (Muñoz-Gutiérrez *et al*., 2022). Además, el envase desempeña diversas funciones, entre las que destacan la protección física, al resguardar la semilla de golpes, compresión y fricción durante el transporte y almacenamiento; la protección ambiental, al reducir la exposición a la humedad, temperatura y luz; así como a la identificación y trazabilidad en su manejo, al contener información relevante sobre el origen, las características y el tratamiento de la semilla (ISTA, 2024).

Existen diversos tipos de envases utilizados por la industria semillera. Entre los más comunes se encuentran los sacos de papel multicapa, que permiten una adecuada transpiración y se utilizan principalmente para semillas certificadas; y los envases herméticos, como bolsas plásticas especializadas, silos portátiles, recipientes de vidrío o plástico, cuyo nivel de hermeticidad limitan el intercambio de gases y humedad, lo que favorece la conservación de la semilla bajo condiciones controladas. En este contexto, las características del envase deben cumplir con ciertos requerimientos para garantizar la conservación de la calidad de la semilla. Este debe ser resistente a la manipulación y al transporte, permitir un grado adecuado de ventilación en sistemas convencionales para evitar la acumulación de humedad y, en algunos casos, ofrecer condiciones herméticas que prolonguen la vida útil del producto. Asimismo, el material del envase debe ser inerte; es decir, no debe reaccionar con los tratamientos químicos aplicados a la semilla (Doria, 2010; Mendoza *et al*., 2016). Existe poca información sobre el efecto del envase en el almacenamiento de semillas de grano pequeño, es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto mediante pruebas de laboratorio, del tipo de envase sobre la germinación y el vigor de semillas de cebada y trigo en condiciones ambientales de almacenamiento a 35 ºC y 80 % de humedad relativa por un periodo de 50 días; mediante pruebas de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Calidad fisiológica de la semilla. Las pruebas fisiológicas se llevaron a cabo en el laboratorio de semillas del Campo Experimental Bajío (CEBAJ), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Celaya, Guanajuato, ubicado a 20°34'40" Latitud Norte, 100°49'37" Longitud Oeste y 1,765 metros de altitud.

En envases de almacenamiento se colocaron 600 semillas de cebada de la variedad Alina, material de seis hileras de grano, producida en el ciclo agrícola O-I 2023/2024 y semilla de trigo variedad Luminaria, obtenida en el ciclo agrícola O-I 20024/2025. Los envases utilizados fueron: 1) bolsa de polipropileno (15x15 cm); 2) bolsa de papel, con 5 capas, 4 de papel y una de plástico intermedia (15 x 15 cm); 3) frascos herméticos de vidrio con tapa rosca (500 ml) y 4) bote hermético de lámina (500 ml). Después de colocar las semillas en cada uno de los envases se procedió a sellar herméticamente cada uno, para el frasco de vidrio y el bote de lata se colocó cinta plástica adhesiva alrededor de la tapa, para evitar la entrada de oxígeno y humedad. En las bolsas de papel y polipropileno se realizó un doblez en la parte superior y se engraparon. Los envases se colocaron en una cámara de crecimiento a 35 ± 1 °C con 80 % de humedad relativa por 50 días. Trascurrido el tiempo de almacenamiento se llevó a cabo la siembra de 200 semillas por el método entre papel, que consiste en extender dos hojas de papel para germinación (21x35 cm), humedecido con agua destilada (cantidad equivalente a tres veces el peso del papel seco) sobre una superficie plana, en las cuales se colocaron 50 semillas por repetición, con los embriones orientados hacia la parte inferior, distribuidas en diez columnas y cinco filas; posteriormente, las semillas se cubrieron con dos hojas de papel, y se enrollaran en forma de “taco”; los rollos previamente identificados se depositaron en forma vertical en una bolsa de plástico y se colocaron en una cámara de germinación, a 23± 2 °C. (ISTA, 2024)

Variables evaluadas

Emergencia de radícula (ER): que se evaluó a las 48 h, al cuantificar las semillas que presentaron una radícula mayor a 1 mm. Emergencia de plúmula (EP): a las 96 h, al registrar el número de semillas que presentaban una plúmula mayor a 1 mm. Germinación estándar (GE): de acuerdo a las recomendaciones de la ISTA (2024) excepto por el número de semillas a evaluar; a los siete días se cuantificaron las plántulas normales con base en aquellas que tenían radícula, coleóptilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones. Para el conteo de semillas anormales: se consideraron las semillas que solo presentaron plúmula o radícula y las que mostraron deformaciones en las mismas. Se consideraron semillas muertas aquellas que no presentaron radícula y plúmula (no germinaron). Longitud de radícula (LR) y longitud de plúmula (LP): a los siete días, con una regla, se midió en cm, en diez plántulas normales, desde la parte media del grano donde emerge la radícula y plúmula, hasta la punta de la misma. Peso seco de radícula (PSR) y peso seco de plúmula (PSP): a diez plántulas se les separó la plúmula y radícula del resto de grano, se colocaron por separado en bolsas de papel

kraft (15x10 cm) perforadas, las cuales se acomodaron en un horno de secado a 60 °C por 72 h. Después se pesaron en una balanza analítica (mg), por separado.

Análisis estadístico

Con la finalidad de identificar diferencias entre los factores de estudio se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con base en un diseño completamente al azar bifactorial (genotipos y envases). La prueba de comparación de medias fue por la metodología de Tukey ($P \leq 0.05$). Con la finalidad de explorar la variación existente e identificar los variables de mayor impacto, se realizaron análisis de componentes principales. Los datos se procesaron con el Software SAS ® ver 9.4 (2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias significativas, entre los genotipos, con $P \leq 0.01$, en todas las variables evaluadas, excepto en el peso seco de radícula (PSR). Los envases mostraron diferencias ($P \leq 0.01$) en longitud de plúmula (LP) y peso seco de plántula (PSP), y diferencias con $P \leq 0.05$ en emergencia de radícula (ER) y germinación estándar (GE), el resto de las variables no mostraron diferencias estadísticas. En la interacción genotipos por envases, solo la variable ER presentó diferencias ($P \leq 0.01$), mientras que las variables emergencia de plúmula (EP), LP y GE mostraron diferencias con $P \leq 0.05$. El análisis refleja que los envases no mostraron un efecto negativo en los componentes de calidad fisiológica como se esperaba, esto se puede atribuir a que el tiempo de almacenamiento fue corto, en estudios realizados con semillas de *Tithonia diversifolia* almacenadas en cuatro tipos diferentes de envases no se encontró efectos significativos a los 60 días (Rodríguez *et al*., 2021).

Cuadro 1. Cuadrados medios del diseño experimental completamente al azar en los componentes de calidad fisiológica de semilla de trigo y cebada.

FV	Gl	ER		EP		LP		LR		PSP		PSR	GE	
Genotipos(G)	1	7320.5	**	12090.1	**	50.0	**	75.0	**	603.8	**	3.8	5886	**
Envases(E)	3	129.5	*	97.1		3.4	**	2.6		395.9	**	111.3	117.8	*
G*E	3	316.833	**	180.79	*	2.4	*	2.6		23.5		30.0	126.5	*
Error		33.8		39.5		0.69		1.6		68.4		39.3	30.4	
C. V. (%)		9.5		9.9		4.8		9.6		7.2		7.1	8.1	

FV= Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$), ** = Diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$), ns = No existe diferencia significativa estadística ($P \geq 0.05$), CV (%) = Coeficiente de variación; ER= emergencia de radícula; EP= emergencia de plúmula; LP= Longitud de plúmula; LR= Longitud de radícula; PSP= Peso seco de plúmula; PSR= Peso seco de radícula; GE= Germinación estándar.

Pruebas de medias

La prueba de medias para genotipos (Cuadro 2) muestra que la cebada tiene una mejor respuesta en las variables ER, EP, LP, PSR y GE; mientras que trigo predominó solo en las variables LR y PSP. La semilla de

cebada mantuvo sus características de germinación y vigor, este comportamiento coincide con lo reportado por Castañeda-Saucedo *et al.* (2009) al comparar la calidad fisiológica de la semilla de cebada y trigo producidas en campo e invernadero, mencionan que la cebada presenta mayor resistencia a condiciones de estrés térmico. Los bajos porcentajes de germinación en trigo se debe a que presentó el mayor número de semillas muertas (37.9 %, datos no presentados). La cebada mostró un mejor vigor inicial al obtener 76.3 % de exposición de radícula a las 48 h y 83.1 % de exposición de plúmula a las 96 h. El trigo mostró mayor longitud de radícula (14.8 cm) y peso seco de plántula (119.3 mg) características que favorecen el vigor de las plántulas, sin embargo, mostró menor germinación (54.4 %). La semilla de cebada fue producida en el ciclo otoño-invierno 2023/2024 unos meses antes que el trigo, por lo que probablemente las condiciones de alta humedad relativa durante el almacenamiento estimularon la actividad metabólica del embrión lo que provocó una mayor germinación, este efecto coincide con lo reportado por Suma *et al*. (2013), en estudios realizados con semilla de *Brassica* rapa. y *B. juncea*, donde las semillas presentaron una viabilidad inusualmente mejor al incrementar la humedad relativa durante el almacenamiento por periodos cortos.

Cuadro 2. Prueba de medias de los componentes de calidad fisiológica en semilla obtenidos en semilla de trigo y cebada. Celaya, Guanajuato.

Genotipos	ER (%)		EP (%)		LP (cm)		LR (cm)		PSP (mg)		PSR (mg)		GE (%)	
Cebada	76.3	a	83.1	a	18.7	a	11.7	B	110.6	b	88.3	a	81.5	a
Trigo	46	b	44.3	b	16.2	b	14.8	A	119.3	a	87.6	a	54.4	b

Los valores de la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales, ER=Emergencia de radícula; EP=Emergencia de plúmula; LP=Longitud de radícula; LP=Longitud de plúmula; PSP=Pesos seco de plúmula; PSR=Peso seco de radícula; GE=Germinación estándar.

En cuanto a los envases (Cuadro 3) la bolsa de polipropileno afectó en menor medida la calidad de los genotipos, seguido de la bolsa de papel, esto es debido probablemente al ligero intercambio de oxígeno que existe en estos envases que evitò el rápido deterioro de la semilla.

El frasco de vidrio aceleró el daño en la semilla bajo condiciones de 35 °C y 80 % de humedad relativa, al reflejar los valores más bajos en los componentes de vigor y germinación (ER, EP, PSP y GE), seguido por el bote de lámina que limitó el desarrollo de la radícula (LR) y por consiguiente el peso de la misma (PSR). El mayor número de semillas muertas se registró en el envase de vidrio (31 %, datos no presentados). Los envases herméticos son una buena opción de almacenamiento de semilla en condiciones de refrigeración, debido a que la respiración de la semilla se ve limitada por el bajo intercambio de oxígeno que existe en los envases herméticos, la cual incrementa con temperaturas altas (Muñoz-Gutiérrez *et al*., 2022)

Cuadro 3. Prueba de medias de los componentes de calidad fisiológica en semilla de trigo y cebada, almacenadas en cuatro tipos de envases. Celaya, Guanajuato.

Envases	ER (%)		EP (%)		LP (cm)		LR (cm)		PSP (mg)		PSR (mg)		GE (%)	
Bolsa papel	63.0	Ab	67.3	a	18.4	a	13.9	A	119.1	A	89.3	a	68.3	ab
Bolsa polipropileno	65.8	A	65.0	a	16.9	b	13.4	A	120.4	A	92.6	a	72.0	a
Frasco vidrio	56.8	B	59.0	a	17.3	ab	13.1	A	104.9	B	85.6	a	62.8	b
Bote lámina	59.0	Ab	63.5	a	17.3	ab	12.5	A	115.3	Ab	84.4	a	68.8	ab

Los valores de la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales , ER=Emergencia de radícula; EP=Emergencia de plúmula; LP=Longitud de radícula; LP=Longitud de plúmula; PSP=Pesos seco de plúmula; PSR=Peso seco de radícula; GE=Germinación estándar.

El análisis de componentes principales indica que las variables EP y GE son las de mayor importancia en el componente principal 1 (CP1), para el componente principal 2 (CP2) es PSR y PSP. El análisis explica el 90.12% de la variación total (Tabla 4). La dispersión de los genotipos con relación a su respuesta a las variables de estudio se puede observar en la Figura 1, donde la semilla de cebada muestra menor afectación en cuanto a su calidad fisiológica después de haber estado 50 días almacenada a 35 °C con 80 % de humedad relativa, al quedar agrupados en los Cuadrantes I y IV, probablemente por tener una mayor rusticidad que el cultivo de trigo. Los envases de bolsa de polipropileno y bolsa de papel, agrupados en los Cuadrantes II y III son los que mejor conservaron las características de vigor y germinación, lo que retrasó el deterioro de la semilla de ambos cultivos.

Tabla 4. Vectores característicos de los componentes principales para la calidad fisiológica de semilla de cebada y trigo. Celaya, Guanajuato.

Variable	**Componentes principales (CP)**	
	CP1	**CP2**
Emergencia de plúmula (EP)	0.4454	0.1360
Germinación estándar (GE)	0.4431	0.1671
Peso seco de radícula (PSR)	0.0228	0.7778
Peso seco de plúmula (PSP)	-0.2670	0.5294
Valor característico	4.81	1.49
Varianza explicada (%)	68.82	21.29

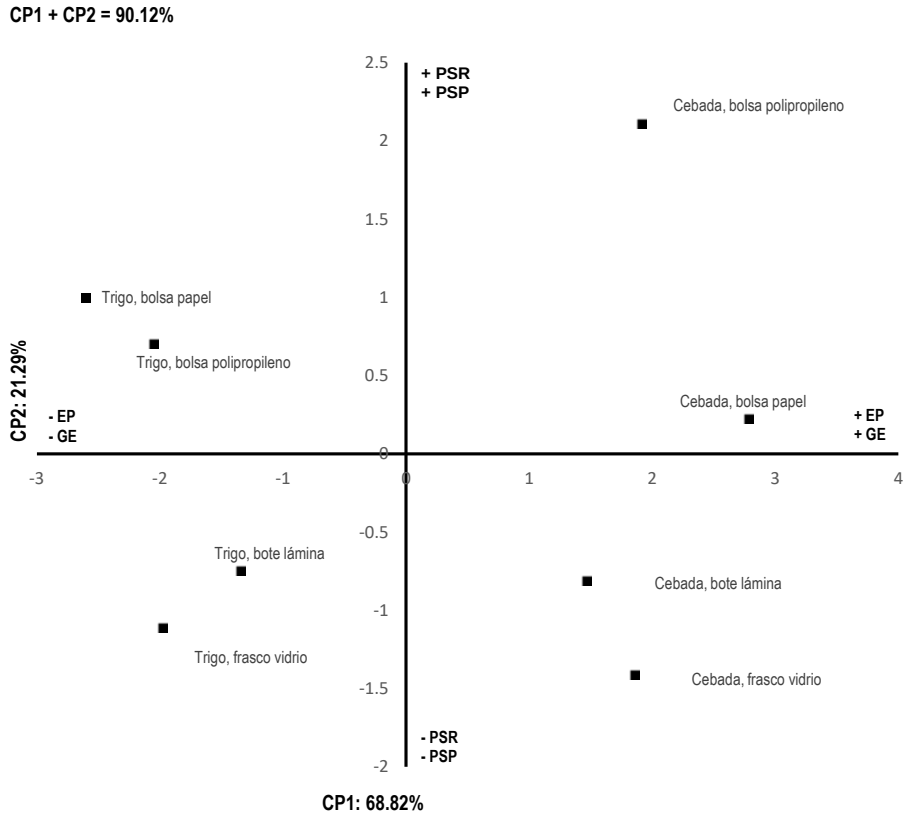

Figura 1. Dispersión de los genotipos de cebada y trigo por su respuesta a diferentes envases de almacenamiento en los componentes de calidad fisiológica de semilla.

CONCLUSIONES

La semilla de cebada mostró mayor resistencia al estrés térmico y humedad relativa alta, durante un periodo corto de almacenamiento, al conservar sus características de calidad fisiológica. El envase de bolsa de polipropileno permitió conservar los atributos de calidad fisiológica de las semillas de cebada y trigo. El envase de vidrio con tapa hermética aceleró el deterioro de la semilla, al presentar el menor porcentaje de germinación y vigor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castañeda-Saucedo M. C., López-Castañeda C., Colinas-De León M. T. B., Molina-Moreno J. C., Hernández-Livera A. 2009. Rendimiento y calidad de la semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. Interciencia. 34(4):286-292.

Doria J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Revisión bibliográfica. Cultivos Tropicales. 31(1):74-85.

González G., M., Zamora Díaz M. R., Solano H. S., Huerta Z. R., Gómez M. R. y Rojas M. I. 2021. Mejoramiento genético de cebada en el INIFAP (1985-2020). Ensayo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Publicación especial no. 25:15-20.

ISTA. International Seed Testing Association. 2024. International rules for seed testing. Richtiarkade 18, CH-8304 Wallisellen, Switzerland.

Mendoza R. C. R., Alfaro D. J. D., Paternina A. C. D. 2016. Manual práctico para gestión logística: envase y embalaje, transporte y cadena de frío, preservación de productos del agro. Editorial Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia. 106 pp.

Muñoz-Gutiérrez L., Ríos-Saucedo J. C., García-García D.A., Hernández-Pérez C. A. 2022. Efecto del almacenamiento sobre la calidad fisiológica de semillas de Prosopis laevigata (H. & B.) Johnst. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(2):1-7.

Rodríguez G. I., Padilla C.R., Torres V., Herrera M. y Medina M. Y. 2021. Efecto del tipo de envase y el ambiente de almacenamiento en la germinación de las semillas de Tithonia diversifolia (Hemsl.) Gray. Livestock Research for Rural Development. 33(6).

SAS. Statistical Analysis System. 2025. Software Release V 9.4. SAS/STAT®9.4. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2026. Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la producción agrícola. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/. Consultado el 08 de mayo de 2026.

Suma A., Sreenivasan K., Singh A.K., Radhamani J. 2013. Role of relative humidity in processing and storage of seeds and assessment of variability in storage behaviour in *Brassica* spp. and *Eruca sativa*. Scientific World Journal.

Villaseñor M. H. E., Huerta E. J., Solís M. E., Rodríguez G. M. F., Martínez C. E. y Espitia R. E. 2021. Mejoramiento genético en trigo realizado por el INIFAP desde 1985 a 2020. Ensayo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Publicación especial no. 25:27-31.