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

EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL ALMACENAMIENTO Y CALIDAD FISIOLÓGICA EN CEREALES

Rocío Edelmira Hernández-Caldera[1]; Diana Noemi Jiménez Pérez[2]; Miguel Ángel Ávila-Perches[1]; Alfredo Josué Gámez-Vázquez[1]; Mirna Bobadilla Melendez[1]; Juan Pablo Rivera Moreno[2]

[1]Campo Experimental Bajío (CEBAJ), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 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

La producción de cereales es básica para la alimentación, que depende del costoso proceso de producción de semilla, la cual, a su vez, requiere conservar su calidad fisiológica durante su almacenamiento de tal forma que conserve y garantice su viabilidad; por tal motivo, es importante identificar envases que permitan conservar la máxima germinación y vigor, para evitar pérdidas económicas y lograr finalmente un buen establecimiento en campo. El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la conservación de la calidad fisiológica de la semilla de cereales al almacenarla en diferentes contenedores, para lo cual, en el laboratorio de semillas del Campo Experimental Bajío, del INIFAP localizado en Roque, Celaya, Guanajuato. Se evaluaron dos genotipos (G): la variedad Luminaria de trigo producida en el ciclo otoño-invierno 2024-2025 y la variedad de maíz V-322, producida en primavera-verano de 2024; en cuatro tipos de envase (E): a) costal de tres capas de papel y uno de plástico (CPP), b) lata de aluminio (LA), c) costal de polipropileno (CP) y d) frasco de vidrio (FV), todos almacenados a 35 °C durante 50 días. Se utilizo un diseño experimental generalizado bifactorial con cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza y prueba de medias (Tukey, ≤ 0.05). 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, cm), de radícula (LR, cm), peso seco de plúmula (PSP, mg) y radícula (PSR, mg). La variedad de maíz V-322 presentó mayor vigor en comparación de la variedad Luminaria de trigo. Los mejores envases para almacenar semilla fueron CPP y LA; que lograron mantener el mayor vigor y germinación en semillas de maíz y trigo bajo el estrés de temperatura y humedad relativa.

Palabras clave: *maíz, trigo, envases, vigor, germinación.*

ABSTRACT

Cereal production is fundamental to food security, which depends on the costly seed production process. This seed, in turn, requires maintaining its physiological quality during storage to preserve and guarantee its viability.

Therefore, it is important to identify containers that allow for maximum germination and vigor, to avoid economic losses and ultimately achieve good establishment in the field. The present work was carried out with the objective of evaluating the conservation of the physiological quality of cereal seeds when stored in different containers, for which purpose, in the seed laboratory of the Bajío Experimental Field, of INIFAP located in Roque, Celaya, Guanajuato. Two genotypes (G) were evaluated: the Luminaria wheat variety produced in the 2024-2025 fall-winter cycle and the V-322 corn variety, produced in the 2024 spring-summer; in four types of packaging (E): a) three-layer paper and one-layer plastic bag (CPP), b) aluminum can (LA), c) polypropylene bag (CP) and d) glass jar (FV), all stored at 35 °C for 50 days. A generalized two-factor experimental design with four replicates was used. An analysis of variance and a mean comparison test (Tukey, ≤ 0.05) were performed. The variables evaluated were radicle emergence greater than one millimeter at 48 hrs (R, %), plumule emergence at 96 hrs (P, %), standard germination (GE, %) and plumule length (LP, cm), radicle length (LR, cm), plumule dry weight (PSP, mg) and radicle dry weight (PSR, mg). The V-322 corn variety exhibited greater vigor compared to the Luminaria wheat variety. The best containers for seed storage were CPP and LA, which maintained the highest vigor and germination rates in corn and wheat seeds under temperature and relative humidity stress.

Keywords: *corn, wheat, packaging, vigor, germination*

INTRODUCCIÓN

Los cereales son la fuente de alimentos más importante en el mundo para satisfacer las necesidades alimentarias de los humanos y del ganado; son ricos en fibras, proteínas y nutrientes, lo que los hace parte esencial de una alimentación balanceada (SADER, 2016). El trigo es el cereal que más se consume a nivel global, en México supera los 3 millones de toneladas y el 80 % de este grano se destina a la industria del pan. En México el maíz y trigo son los pilares fundamentales de la alimentación, siendo el maíz además un patrimonio cultural e histórico, mientras el trigo el segundo grano más consumido (SIAP, 2023). Ambos cultivos son básicos en la seguridad alimentaria; por lo que reducir las pérdidas postcosecha de semilla se ha convertido en una prioridad para asegurar la producción (Li & Song, 2022). Conservar la calidad fisiológica de la semilla es importante para reducir riesgos en la densidad de población y establecimiento del cultivo en el campo y así evitar reducciones en el potencial productivo del cultivo (Vilela Reis *et al*., 2022); esta calidad depende del manejo y condiciones ambientales durante su crecimiento y desarrollo; así como, del almacenamiento de la semilla a través de envases adecuados y durante un periodo durante el cual se pueden presentar factores bióticos y abióticos que pueden deteriorar la semilla y su calidad. Mantener las características fisiológicas, físicas sanitarias y genéticas de la semilla de estos cereales después de la cosecha, es esencial para garantizar su calidad. La temperatura de almacenamiento y el contenido de humedad son factores importantes que afectan la calidad del grano durante el almacenamiento (Zaho *et al*., 2024); lo que lleva al crecimiento y reproducción

de insectos, ácaros y hongos, que afectan la calidad; derivado de lo anterior es indispensable evaluar envases que permitan conservar la capacidad de vigor y germinación de la semilla, para proteger las semillas de las altas temperaturas y alta humedad relativa, con la finalidad de evitar su deterioro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se estableció en el laboratorio de semillas del Campo Experimental Bajío (CEBAJ), del INIFAP localizado en Roque, municipio de Celaya, Guanajuato, ubicada a 20°34'40" Latitud Norte, 100°49'37" Longitud Oeste y con 1,765 metros de altitud. Los factores de estudio evaluados fueron a) dos genotipos (G): la variedad Luminaria de trigo del ciclo otoño – invierno 2024-2025 y la variedad de maíz V-322 del ciclo primavera-verano 2024; y b) los cuatro tipos de envase (E): a) costal de tres capas de papel y una de plástico (CPP); b) lata de aluminio (LA); c) costal de polipropileno (CP) y d) frasco de vidrio hermético (FV; todos, sometidos a una temperatura de 35 °C en una incubadora durante 50 días. Se utilizó un diseño experimental generalizado bifactorial, los factores de estudio fueron G y E para almacenar semilla. Se utilizaron cuatro repeticiones de 50 semillas cada una. Se realizó un análisis de varianza para determinar si existen diferencias ($P \leq 0.01$ o ≤ 0.05) entre E, G y en la interacción E*G; se realizaron pruebas de rango múltiple de medias (Tukey, ≤ 0.05), para determinar cuál es el mejor G y envase para almacenar semilla. Los análisis estadísticos fueron realizados con 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, %), 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). Se utilizaron 500 semillas de cada genotipo; de las cuales, 100 se colocaron en cada uno de los envases y se sellaron en la parte superior, con cinta plástica adherible (emplayado); con las 100 semillas restantes se realizó una evaluación de germinación estándar inicial. Enseguida los envases se introdujeron en una incubadora a una temperatura de 35 ± 1°C y una humedad relativa de cercana al 100 % en la que se mantuvieron por 50 días. Después del tratamiento, se extrajeron las muestras de semilla de cada tipo de envases y se llevaron a cabo la siembra de los genotipos en el método entre papel, conocidos como rollos o “tacos”, que 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 lastimar las 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 enrollas 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); y 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 varianza (Cuadro 1) la expresión de plúmula con longitud de 1 mm a los 48 h después de la siembra (P), peso seco de radícula (PSR) y germinación estándar (GE) mostraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) entre envases (E), genotipos (G) y en la interacción G*E; así como longitud de plúmula (LP), longitud de radícula (LR) y peso seco de plúmula (PSP) en genotipos. La radícula (1 mm a las 46 h) y Longitud de radícula (LR a los 7 días) mostraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre envases; el resto de las interacciones no presentaron diferencias.

La fuente de variación de mayor importancia con base en la magnitud de sus cuadrados medios fue G, seguida de envases y de la interacción G*E para todas las expresiones evaluadas a excepción de R. Con 45.0, 99.4, 70.7, 99.3, 96.4, 68.2% para genotipos; 32.6,0.3,22.8,0.4,1.9,17.5% para envases y 22.3, 0.3, 6.4, 0.3, 1.7, 14.3% para la interacción G*E. En la variable R la fuente de variación de mayor importancia fue la interacción G*E, Envases y Genotipos (55.4, 44.6 y 0.03%). Los coeficientes de variación expresaron precisión en la dispersión de los datos con respecto a la media.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de germinación y vigoren cereales.

FV	GL	R	P	LP	LR	PSP	PSR	GE
Envases (E)	3	169.45 *	624.12 **	1.08	4.87 *	1839.25	4891.66 **	447.00 **
Genotipos (G)	1	0.125	861.12 **	325.12 **	15.12 **	462722 **	252050.00 **	1740.50 **
G*E	3	210.37	427.12 **	1.04	1.37	1571.41	4461.83 **	365.50 **
Error	24	54.87	56.45	0.77	1.41	809.83	719.2	30.50
R^2		0.35	0.74	0.94	0.49	0.96	0.94	0.85
C.V. (%)		16.12	15.19	6.75	8.46	11.88	15.2	8.94

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación; gl = grados de libertad, R^2 = coeficiente de determinación, C.V. = coeficiente de variación, $\bar{x}$ = media, R = radícula con 1mm de longitud a las 48 h, P = semillas con plúmula, LP = longitud de plúmula, LR = longitud de radícula, PSP = peso seco de plúmula, PSR = peso seco de radícula, GE = germinación estándar.

En relación al efecto de envases (ambientes) costal de papel y plástico (CPP), lata de aluminio (LA), costal de polipropileno (CP) y frasco de vidrio hermético (FV) se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$), para las variables de vigor R, PN, LR, PSR y GE (Tabla 2). El mejor comportamiento lo presentó el CPP en el las expresiones PN, LR, PSR y GE; seguido de LA para R; el resto de los ambientes no sobresalieron en los rasgos evaluados por lo que se considera que los mejores envases para almacenar semillas de acuerdo a esta evaluación son CPP y LA ya que protegieron mejor la calidad fisiológica de la semilla de los factores abióticos de temperatura y humedad Cavalcante *et al*. (2023) mencionan que las altas temperaturas en al ambiente de

almacenamiento aumenta la actividad de las enzimas asociadas con la respiración, proceso que contribuye significativamente a la perdida de viabilidad de las semillas; lo ideal es almacenar la semilla en ambientes controlados de temperatura y humedad relativa (Oliveira *et al*., 2011) para mantener el valor mínimo de germinación (90%) establecido para la comercialización de semillas.

Cuadro 2. Prueba de medias entre envases para las variables de germinación y vigor de cereales.

Envases	R(> 1 mm %)		P (%)		LP (cm)		LR (cm)		PSP (mg)		PSR (mg)		GE (%)	
Costal papel y plástico (CPP)	46	b	61	a	13	a	15	a	230	a	205	a	69	a
Lata de aluminio (LA)	53	a	51	b	13	a	13	d	231	a	156	c	66	b
Costal polipropileno (CP)	44	b	46	c	14	a	14	b	262	a	155	c	61	c
Frasco de vidrio hermético (FV)	42	c	40	d	13	a	14	c	235	a	189	b	52	d
DMSH	10.2		10.4		1.2		1.6		39.3		37.0		7.6	

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. R: radícula con 1mm de longitud a las 48 h, P: porcentaje de semillas con plúmula a las 96 h, LP: longitud de plúmula, LR: longitud de radícula, PSP: peso seco de plúmula, PSR: peso seco de radícula, GE: germinación estándar.

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los genotipos de maíz y trigo (Tabla 3); el genotipo que presentó el mejor comportamiento al ser sometido a una temperatura de 35 °C y una humedad relativa de 100 % por 50 días fue el maíz para las expresiones de P, PSP, PSR y GE variables de mayor importancia por su correlación con el establecimiento en campo. El trigo sobresalió en LP y LR; de acuerdo a estos resultados el efecto mayor se dio al disminuir la longitud de plúmula y radícula en el caso de maíz a diferencia del trigo que presento mayor daño en las expresiones de vigor y germinación evaluadas.

Cuadro 3. Prueba de medias entre genotipos para las variables de germinación y vigor de cereales.

Genotipos	R (> 1 mm)		P (%)		LP (cm)		LR (cm)		PSP (mg)		PSR (mg)		GE (%)	
V-322	46	a	55	a	9.8	b	13	b	360	a	265	a	69	a
Luminaria	46	a	44	b	16.2	a	15	a	119	b	88	b	54	b
DMSH	5.4		4.5		0.6		0.9		20.8		19.6		4.0	

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. R: porcentaje de radícula con 1mm de longitud a las 48 h, P: porcentaje de semillas con plúmula a las 96 h, LP: longitud de plúmula, LR: longitud de radícula, PSP: peso seco de plúmula, PSR: peso seco de radícula, GE: germinación estándar.

CONCLUSIONES

La variedad de maíz V-322 presentó mayor vigor en comparación de la variedad luminaria de trigo al ser sometido a una temperatura de 35°C por 50 días.

Los mejores envases para almacenar semilla fueron el costal de tres capas de papel y una de plástico; y la lata de aluminio; ya que lograron mantener el mejor comportamiento de vigor en las semillas sometidas a un estrés con temperaturas de 35 °C por 50 días con 80 % de humedad relativa; siguen siendo una buena opción para el almacenamiento de semilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cavalcante J.A., Silva A.h., Gogotti G.I., Araújo Á.S., Monteiro R.D. (2023) Stabilization o fan WQ-3 Sensor for Ethanol Meaurement in Cowpea Seeds. Engenharia Agricola 43 (2): e20200046. https://doig.org/10.1590/18094430-Eng.Agric.v43n2e20200046/2023.

Li J. & Song W. (2022) Food Security Review Based on Bibliometrics from 1991 to 2021. Journal Food. 11(23), 3915; https://doi.org/10.3390/foods11233915.

Oliveira, A.C.S.D., Coelho F. C., Vieira H.D., Rubim R.F. (2011). Armazenamento de sementes de milho em embalagens reutilizáveis, sob dois ambientes. RevistaBrasileira de Milho e Sorgo 10 (1): 17-28. https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v10n1p17-28

SADER, Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (2016). ¿Por qué el trigo en grano es tan valioso?. https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/por-que-el-trigo-en-grano-es-tan-valioso

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, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023). La importancia de los cereales en el sector agroalimentario. https://www.gob.mx/agricultura%7Cdgsiap/articulos/la-importancia-de-los-cereales-en-el-sector-alimentario.

Vilela Reis V. U., Carvalho P.A., Reis C.E., Kelli R.D., Vilela R.L., Zanqueta S.P.H. (2022). Vigor of maize seeds and its effects on plant stand establishment, crop development and grain yield. Jornal of seed Science 44: 1-12 e202244020, 2022 https://doi.org/10.1590/2317-1545v44257527

Zhao Y, Qi T., Cui Ch, Liu X., Liu R., Liu S., Song Y., Li Y., Lv H. (2014) Effects of different storage temperatures on the quality and metabolome of maize with high moisture content. Food Science and Technology. 214, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117117.