

## Calidad y vigor en semilla de cebada *cv.* Brennus

### Quality and vigor of barley *cv.* Brennus seeds

Pablo Alfredo Domínguez-Martínez<sup>1,2</sup> , José Isidro Alejos-de la Fuente<sup>3</sup> , Humberto Vaquera-Huerta<sup>4</sup> , Arturo Pro-Martínez<sup>1</sup> , Glafiro Torres-Hernández<sup>1</sup> , Sergio Iban Mendoza-Pedroza<sup>1,3\*</sup> , Jorge Armando Villarreal-González<sup>5</sup> 

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad - Ganadería. Carretera México - Texcoco km 36.5, CP. 56264, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango - El Mezquital km 4.5, CP. 34170, Durango, Durango, México.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia. Carretera México - Texcoco km 38.5, CP. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

<sup>4</sup>Colegio de Postgraduados, Postgrado en Socioeconomía, Estadística e Informática – Estadística. Carretera México - Texcoco km 36.5, CP. 56264, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

<sup>5</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carretera Tecamachalco - Cañada Morelos km 7.5, CP. 75460, Tecamachalco, Puebla, México.

\*Autor de correspondencia: [sergiomp@colpos.mx](mailto:sergiomp@colpos.mx)

#### Artículo científico

Recibido: 27 de marzo 2024

Aceptado: 3 de octubre 2024

**RESUMEN.** La cebada en México es un cultivo importante para la industria cervecera y alimentación animal. Se evaluó la calidad física, fisiológica y vigor de un lote de semilla *cv.* Brennus. La semilla se dividió por tamaño (chica y grande) con un tamiz de 2.5 mm y se sometió a distintos acondicionamientos (envejecimiento y sin envejecimiento). Las variables de estudio fueron pureza de semilla (SP), peso de mil semillas (P1000S), peso volumétrico (PV), contenido de humedad (H), porcentaje de germinación, velocidad de emergencia, largo de la plúmula, materia seca en la plúmula e índice de vigor de plántula. El análisis de varianza se realizó bajo un diseño experimental completamente aleatorio con arreglo factorial y cuatro repeticiones. La comparación de medias se hizo mediante la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ). El lote presentó 98% SP, 1.8% de material inerte y 0.2% de otras semillas, el P1000S fue 42 g, PV 68 kg hL<sup>-1</sup> y H fue 7%. Hubo diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre tamaño de semilla, acondicionamiento de la semilla e interacción de ambos factores para la mayoría de las variables. Las semillas chicas y grandes sin envejecer presentaron similitud en su germinación, velocidad de emergencia, longitud de la plúmula e índice de vigor de la plántula. El tratamiento de envejecimiento tuvo un efecto negativo sobre estas variables sin importar el tamaño; sin embargo, se aprecia el daño más extenso sobre las semillas grandes. El lote de semilla posee calidad física, fisiológica y vigor deficiente.

**Palabras clave:** Envejecimiento acelerado, germinación, *Hordeum vulgare* L., velocidad de emergencia.

**ABSTRACT.** Barley in Mexico is an important crop for the brewing industry and animal feed. The physical and physiological quality and vigor of a batch of seed *cv.* Brennus was evaluated. The seed was divided by size (small and large) with a 2.5 mm sieve and subjected to different conditioning (aging and non-aging). The study variables were seed purity (SP), thousand seed weight (P1000S), volumetric weight (PV), moisture content (H), germination percentage, emergence speed, plumule length, dry matter in the plumule and seedling vigor index. The analysis of variance was performed under a completely randomized experimental design with factorial arrangement and four replications. Means were compared using Tukey's test ( $P < 0.05$ ). The lot presented 98% SP, 1.8% inert material and 0.2% other seeds, P1000S was 42 g, PV 68 kg hL<sup>-1</sup> and H was 7%. There were statistical differences ( $P < 0.05$ ) between seed size, seed conditioning and interaction of both factors for most variables. Small and large unaged seeds showed similarity in germination, emergence speed, plumule length and seedling vigor index. The aging treatment had a negative effect on these variables regardless of size; however, the most extensive damage was seen on the large seeds. The seed lot has poor physical and physiological quality and vigor.

**Key words:** Accelerated ageing, germination, *Hordeum vulgare* L., speed of emergence.

**Como citar:** Domínguez-Martínez PA, Alejos-de la Fuente JI, Vaquera-Huerta H, Pro-Martínez A, Torres-Hernández G, Mendoza-Pedroza SI, Villarreal-González JA (2024) Calidad y vigor en semilla de cebada *cv.* Brennus. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios Núm. Esp. IV: e4110. DOI: 10.19136/era.a11nIV.4110.

## INTRODUCCIÓN

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) en México es un cultivo importante para la industria cervecera y en la alimentación animal (Rodríguez-García *et al.* 2023), entre 1980 y 2021 en promedio se cosecharon 309 000 ha año<sup>-1</sup>, durante este periodo 92% de la superficie cosechada se destinó a la producción de grano y solo 8% se aprovechó como forraje. El rendimiento de forraje seco durante estos 41 años osciló entre 5 y 25 t ha<sup>-1</sup>, los principales estados productores de cebada forrajera son Sonora, Hidalgo y Guanajuato (SIAP 2024).

La semilla establece el potencial productivo de los cultivos y en la actualidad ninguna práctica agrícola es capaz de incrementar el rendimiento más allá de ese límite (Camargo y Vaughn 2021); pero la siembra a menudo se realiza en condiciones subóptimas. Algunos parámetros individuales, como el porcentaje de germinación, son incapaces de mostrar la emergencia y establecimiento de plántulas de lotes de germoplasma bajo condiciones adversas (Reed *et al.* 2022). Además, se espera que el efecto negativo del cambio climático sobre la germinación y establecimiento de las plántulas sea más severo (Lloret *et al.* 2004, Fernández-Pascual *et al.* 2015). El cambio climático aumentará la variabilidad en el tiempo de establecimiento de las semillas debido a la reducción de su vigor (Reed *et al.* 2022). Lo anterior, conduce a heterogeneidad en el crecimiento, desarrollo y menor rendimiento de los cultivos (Ebene *et al.* 2020). Por lo tanto, es necesario buscar semillas robustas con alto vigor para mejorar la homogeneidad en el establecimiento (Finch-Savage y Bassel 2016) de los cultivos bajo condiciones de estrés; lo que, en última instancia incrementa la cantidad de plantas disponibles para cosecha y mejora el rendimiento. Con base en lo anterior, el vigor de las semillas es una característica agronómica que cobra mayor importancia ante el escenario de cambio climático y seguridad alimentaria (Reed *et al.* 2022).

Entre la madurez fisiológica y la madurez de cosecha ( $\leq 12\%$  de humedad) las semillas están en la planta madre expuestas a temperatura y niveles de humedad variables que pueden deteriorar su calidad (Copeland y McDonald 2001). Una vez que la semilla se cosecha, beneficia y se almacena la temperatura y humedad relativa del almacén son los factores que más influyen sobre la longevidad de las semillas (Roberts 1972, Ellis 2022). Es importante conocer la calidad y vigor de los lotes de semilla después de un periodo de almacenamiento para garantizar el éxito de cultivos forrajeros. Sobre esta base, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad física, fisiológica y vigor de un lote semilla de cebada *cv.* Brennus.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (19° 27' 38" LN, 98° 54' 11" LO). El sitio se encuentra a 2 250 m de altitud y el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es 15 °C y la precipitación promedio es de 645 mm (García 1998).

Se evaluó un lote de semilla de cebada *cv.* Brennus que se produjo durante el ciclo otoño-invierno 2021 en categoría Declarada. El lote de semilla se encontraba almacenado a temperatura y humedad ambiente al momento de la adquisición. Del lote de semilla se tomaron cuatro muestras primarias

para integrar una muestra compuesta de 1 kg. El contenido de humedad se determinó en una muestra de 300 g que se obtuvo de forma paralela a las muestras primarias. La muestra compuesta fue homogenizada en el laboratorio y se pesaron 500 g para usarse en la evaluación la calidad física y fisiológica del lote de semilla.

### Calidad física

Para la evaluación de la calidad física se determinaron las siguientes variables: cantidad de semilla pura (SP), peso de mil semillas (P1000S), peso volumétrico (PV) y porcentaje de humedad (H). La medición de todas estas variables se hizo conforme a las metodologías del International Seed Testing Association (ISTA 2018).

### Calidad fisiológica

La calidad fisiológica y vigor de la semilla se midió con el porcentaje de germinación (ISTA 2018), tratamiento de envejecimiento acelerado (Delouche y Baskin 1973) con algunas modificaciones (72 h a 41°C y 100% de humedad relativa; Huber y MacDonald 1982, Kim *et al.* 1985) y velocidad de emergencia (Maguire 1962). Catorce días después de la siembra (DDS) se realizó un muestreo destructivo en 10 plántulas elegidas al azar por repetición. En cada plántula se determinó el contenido de materia seca (MS) y longitud de la plúmula, para después calcular el índice de vigor de plántula (IVP) con la ecuación:

$$IVP = LP \times \sum \left( \frac{n_i}{t_i} \right)$$

En donde LP es la longitud de la plúmula 14 DDS,  $n_i$  es el número de semillas germinadas en un día dado y  $t_i$  es el tiempo (días) transcurrido desde la siembra (Steiner *et al.* 2017).

### Tratamientos

La semilla se separó por tamaño con un tamiz de 2.5 mm, la que pasó a través del tamiz se consideró como chica (C) y la que se retuvo se catalogó como grande (G). El acondicionamiento de envejecimiento acelerado (E) se aplicó a 400 semillas de cada tamaño; mientras que, 400 semillas más se mantuvieron sin envejecer (S). La combinación de ambos factores (tamaño x acondicionamiento) resultó en cuatro tratamientos con cuatro repeticiones y 100 semillas en cada repetición.

### Prueba de germinación en almacigo

La siembra se realizó en un almacigo de 2.5 m por 1 m, como sustrato se usó arena de río esterilizada, cada repetición se sembró en cuatro hileras con 25 semillas cada una. La distancia entre semillas e hileras fue de 3 cm. La distribución de los tratamientos y repeticiones se aleatorizó dentro del almacigo. El riego se aplicó a saturación cada 48 h para mantener la humedad adecuada para la germinación de las semillas.

### Análisis estadístico

El análisis de varianza se realizó utilizando un diseño experimental completamente aleatorio con arreglo factorial y cuatro repeticiones. La comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey

( $P < 0.05$ ). Todos los datos se analizaron con ayuda del paquete estadístico SigmaPlot 15 (Systat Software Inc. San Jose, CA, USA).

## RESULTADOS

### Calidad física

En el análisis de calidad física de la semilla de cebada *var.* Brennus se encontró que el lote presenta 98% de semilla pura, 1.8% de material inerte y 0.2% de otras semillas. El P1000S fue 42 g y el PV 68 kg hL<sup>-1</sup>. Mientras que el contenido de humedad fue del 7%.

### Calidad fisiológica

Se encontraron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre tamaño de semilla, acondicionamiento de la semilla e interacción de ambos factores para la mayoría de las variables (Tabla 1).

**Tabla 1.** Resumen del análisis de varianza en germinación, velocidad de emergencia, largo de la plúmula, materia seca en la plúmula e índice de vigor de plántula en semillas de cebada *cv.* Brennus separadas por tamaño y sometidas a dos tipos de acondicionamiento.

Fuente de variación	Probabilidad > F				
	GM (%)	VE (plantas d <sup>-1</sup> )	LP (cm)	MSP (mg planta <sup>-1</sup> )	IVP
Tamaño (T)	<0.001	<0.001	0.262	<0.001	0.027
Acondicionamiento (A)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Interacción (T x A)	<0.001	<0.001	0.023	<0.001	<0.001

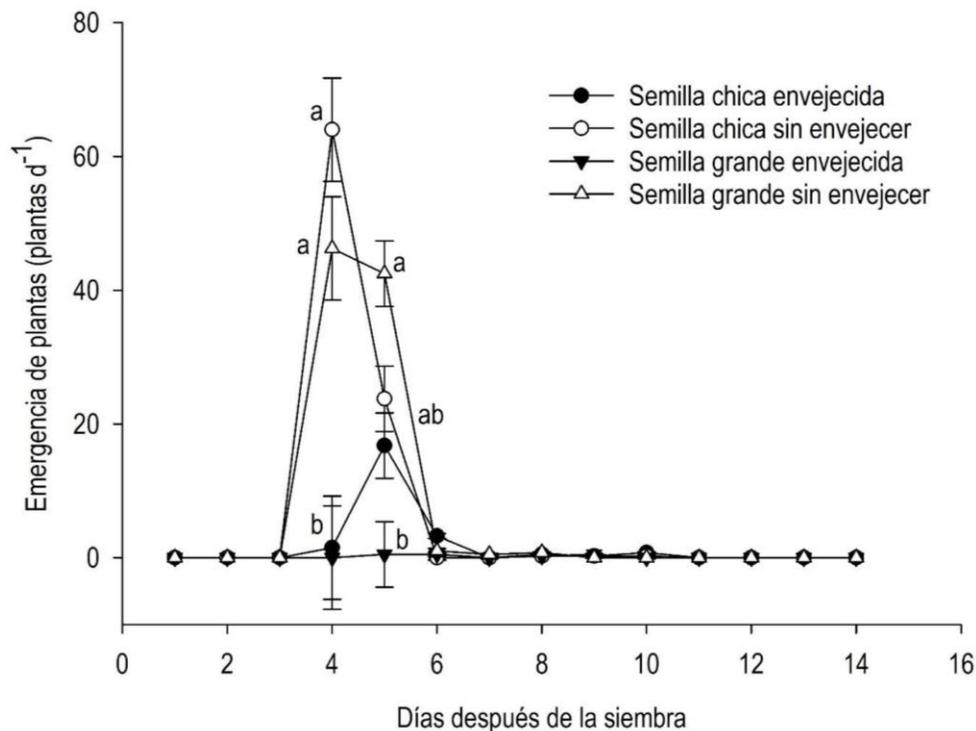
GM: germinación, VE: velocidad de emergencia, LP: largo de la plúmula, MSP: materia seca de la plúmula, e IVP: índice de vigor de plántula.

Las semillas chicas germinaron 9.4% más que las semillas grandes (Tabla 2). El envejecimiento acelerado redujo la germinación 77% en comparación con las semillas sin acondicionar. Las semillas sin envejecer chicas y grandes germinaron más que las semillas envejecimiento acelerado de ambos tamaños (Figura 1). La VE en semillas chicas fue ~2 plantas d<sup>-1</sup> mayor que en las grandes. El envejecimiento redujo la VE hasta ~18 plantas d<sup>-1</sup>; sin embargo, el tratamiento de semillas grandes sufrió la reducción más notable en VE. El tamaño de la semilla no afectó el largo de la plúmula; mientras que, el tratamiento con envejecimiento acelerado redujo ~5 cm. Al igual que en las variables anteriores, el tratamiento G x E fue el más afectado. La acumulación de materia seca fue 0.4 mg planta<sup>-1</sup> más en las semillas grandes y 4.3 mg planta<sup>-1</sup> en las semillas sin envejecer. La combinación G x E acumuló menos materia seca por planta en comparación con el resto de las combinaciones. Por último, las semillas chicas tuvieron ~23 puntos más en el IVP que las semillas grandes y las semillas sin envejecer registraron ~360 puntos más que las con envejecimiento acelerado. La combinación de factores G x E tuvo el menor IVP.

**Tabla 2.** Germinación, velocidad de emergencia, largo de la plúmula, materia seca en la plúmula e índice de vigor de plántula en semillas de cebada *cv.* Brennus separadas por tamaño y sometidas a dos tipos de acondicionamiento. Montecillo, Texcoco, Méx. 2022.

Fuente de variación		Variables de estudio				
		GM (%)	VE (plantas d <sup>-1</sup> )	LP (cm)	MSP (mg planta <sup>-1</sup> )	IVP
Tamaño	C	55.8 <sup>a</sup>	12.6 <sup>a</sup>	17.0 <sup>a</sup>	2.4 <sup>b</sup>	227.9 <sup>a</sup>
	G	46.4 <sup>b</sup>	10.3 <sup>b</sup>	16.0 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	204.7 <sup>b</sup>
	EE	1.1	0.2	0.6	0.1	6.5
Acondicionamiento	E	12.4 <sup>b</sup>	2.4 <sup>b</sup>	13.8 <sup>b</sup>	0.4 <sup>b</sup>	36.1 <sup>b</sup>
	S	89.8 <sup>a</sup>	20.6 <sup>a</sup>	19.2 <sup>a</sup>	4.7 <sup>a</sup>	396.5 <sup>a</sup>
	EE	1.1	0.2	0.6	0.1	6.5
	C x E	23.0 <sup>b</sup>	4.4 <sup>b</sup>	15.5 <sup>b</sup>	0.8 <sup>c</sup>	68.6 <sup>b</sup>
Interacción	C x S	88.5 <sup>a</sup>	20.8 <sup>a</sup>	18.6 <sup>a</sup>	3.9 <sup>b</sup>	387.2 <sup>a</sup>
	G x E	1.8 <sup>c</sup>	0.3 <sup>c</sup>	12.1 <sup>c</sup>	0.1 <sup>d</sup>	3.5 <sup>c</sup>
	G x S	91.0 <sup>a</sup>	20.4 <sup>a</sup>	19.9 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>	405.9 <sup>a</sup>
	EE	1.6	0.3	0.9	0.1	9.2

GM: germinación, VE: velocidad de emergencia, LP: largo de la plúmula, MSP: materia seca de la plúmula, IVP: índice de vigor de plántula, C: semilla chica, G: semilla grande, E: semilla envejecida, S: semilla sin envejecer, C x E: semilla chica envejecida, C x S: semilla chica sin envejecer, G x E: semilla grande envejecida, G x S: semilla grande sin envejecer, EE: error estándar. Las medias de GM y VE son el resultado de cuatro observaciones. Las medias de LP, MSP e IVP son el resultado de 40 observaciones. Literales distintas por columna y fuente de variación indican diferencias estadísticas (Tukey, P<0.05).



**Figura 1.** Emergencia de plántulas de cebada *cv.* Brennus separadas por tamaño y sometidas a dos tipos de acondicionamiento.

## DISCUSIÓN

### Calidad física

En México, el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas indica que las semillas de cereales de grano pequeño en categoría Declarada o Comercial deben cumplir con los estándares de la categoría de semilla Certificada, el lote evaluado cumple con la pureza de semilla (98%) para cebada en la categoría Declarada; sin embargo, la cantidad de material inerte y de otras semillas en la muestra de trabajo excede el límite establecido (SNICS 2014). El contenido de humedad del lote estuvo por debajo del límite máximo (13%) permitido. Al respecto, se sabe que el contenido elevado de humedad es el factor que más daña a los granos durante el almacenamiento (Pomeranz 1992) y reduce la vida de anaquel de los granos (Chala y Bekana 2017).

En una evaluación de tres años se reporta que el P1000S para la variedad Brennus oscila entre 35 y 59 g (Kovaleva y Likina 2021), estos hallazgos coinciden con el resultado obtenido en el presente estudio para dicha variable (42 g). En otro trabajo se estudiaron siete variedades de cebada y se reporta que el P1000S va desde 30 hasta 42 g (López *et al.* 2005). Además, se reporta que el P1000S de 10 genotipos establecidos en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas mostraron valores de 36 a 44 g (Pérez-Ruiz *et al.* 2016). Por otro lado, se reportan valores de PV en los rangos 60-77 kg HI<sup>-1</sup> (López *et al.* 2005) y 61 – 66 kg HI<sup>-1</sup> (Pérez-Ruiz *et al.* 2016). El PV encontrado en la presente investigación supera por 10 kg HI<sup>-1</sup> el mínimo (58 kg HI<sup>-1</sup>) señalado en la NMX-FF-043-SCFI-2003 para cebadas de dos hileras. Los granos, utilizados como semilla, se prefieren de mayor tamaño debido a que con frecuencia están provistos de embriones más desarrollados y poseen reservas suficientes para su sustento (Carvalho y Nakagawa 2000). Además, mayor PV se asocia con mayor rendimiento y calidad industrial de la cebada maltera (López *et al.* 2005, González *et al.* 2013). El genotipo tiene influencia sobre la calidad física del grano (Soleymani y Shahrajabian 2012); sin embargo, el ambiente y la interacción genotipo  $\times$  ambiente modifican la respuesta final de la planta (Copeland y McDonald 1995, Pržulj *et al.* 1998). En consecuencia, la meta debería ser obtener los granos más grandes tanto para germoplasma como para uso industrial.

### Calidad fisiológica

La germinación de tres variedades de cebada dividida en cuatro categorías de tamaño osciló entre 97.5 y 98.5%, sin diferencias estadísticas entre tratamientos (Rukavina *et al.* 2002). Al respecto, Massimi (2018) evaluó cuatro lotes de semilla provenientes de dos variedades y separó la semilla en grande (> 2.75 mm), mediana (2.5 – 2.75 mm) y chica (<2.5 mm); la germinación antes del envejecimiento acelerado fue superior para los granos grandes y medianos (99%) en comparación con el grupo de grano chico (96%). El tratamiento de envejecimiento redujo la capacidad germinativa de las tres categorías de tamaño, pero las semillas chicas germinaron significativamente menos (48%) que los grupos restantes. En el mismo estudio se encontraron diferencias significativas para IVP entre los grupos de tamaño. Las semillas grandes presentaron el índice más grande (2220), las medianas un valor intermedio (1828) y las pequeñas el índice más bajo (1423). Mientras que Lafond y Baker (1986a) al comparar nueve genotipos de trigo encontraron que las plántulas provenientes de semillas más grandes acumulan más materia seca en su plúmula. Por otro lado, se reporta que las semillas pequeñas emergen con mayor velocidad en comparación con las grandes (Lafond y Baker 1986b). En la Figura 1 se puede constatar que las semillas C  $\times$  S y

G x S emergieron con mayor velocidad en comparación con los grupos C y G envejecidos. El período de retraso en el inicio de la germinación indica la severidad del daño experimentado durante el envejecimiento y el alcance de los procesos de reparación que llevó a cabo la semilla (Matthews y Khajeh-Hosseini 2007).

En el presente estudio, las semillas chicas y grandes sin envejecer presentaron similitud en su germinación, velocidad de emergencia, longitud de la plúmula e índice de vigor de la plántula. El tratamiento de envejecimiento tuvo un efecto negativo sobre estas variables sin importar el tamaño, sin embargo, se aprecia el daño más extenso sobre las semillas grandes. Lotes de semilla que mantienen buena germinación ( $\geq 80\%$ ) después del tratamiento de envejecimiento acelerado tienen larga vida de anaquel; mientras que, los que pierden capacidad germinativa son de corta vida de anaquel (Delouche y Baskin 1973). En semilla de soya sometida a envejecimiento acelerado se considera que el grano tiene alto vigor si conserva más del 85% de germinación, vigor medio 70 a 84% y bajo vigor menos del 70% (Mathias y Coelho 2021). El lote de semilla de cebada utilizado en el presente trabajo se puede clasificar como de bajo vigor y corta vida de anaquel debido al daño que sufrió después del envejecimiento acelerado. La calidad fisiológica en un lote de semilla es transcendental para el establecimiento del cultivo (Padilha *et al.* 2022). El uso de grano de alta calidad fisiológica favorece la emergencia uniforme de las plántulas y en última instancia contribuye a maximizar el rendimiento (Abati *et al.* 2017).

El principio de la prueba de envejecimiento acelerado es aumentar la rapidez con la que se deteriora una semilla. Por lo que someter el grano a 40 °C y 100% de humedad relativa durante 72 h, reúne los factores que determinan la severidad del daño (Ohlson *et al.* 2010). Los principales compuestos de reserva en las semillas son lípidos, proteínas y carbohidratos. El envejecimiento de las semillas afecta estas reservas a nivel celular. Lo anterior, resulta en la degradación de las membranas celulares, cambios en el metabolismo, uso reducido de reservas, modifica proteínas y enzimas, degrada lípidos y carbohidratos (Onder *et al.* 2020). El menoscabo de las semillas tiene una relación estrecha con la producción y acumulación de especies reactivas de oxígeno (Ebene *et al.* 2019). Estas moléculas tienen efectos negativos sobre ADN, RNA, proteínas y lípidos (Mittler 2017, Soares *et al.* 2019). La interacción entre estas moléculas y las especies reactivas de oxígeno comprometen la calidad fisiológica del germoplasma y perjudica su desempeño durante el proceso de germinación (Ebene *et al.* 2019). La reducción en el porcentaje de germinación y vigor son resultado de la acumulación del daño que sobrellevó la semilla a nivel celular (Onder *et al.* 2020).

## CONCLUSIONES

La semilla cumple con la pureza de grano y contenido de humedad establecidos para semilla en categoría Declarada; sin embargo, supera el límite de material inerte y otras semillas. El tratamiento de envejecimiento afecta la germinación, velocidad de emergencia, largo de la plúmula, materia seca en la plúmula e índice de vigor de plántula sin importar el tamaño de semilla. Las semillas grandes sufren el mayor daño durante el proceso de envejecimiento acelerado. El lote de semilla tiene calidad física, fisiológica y vigor deficiente. Con base en lo anterior, se recomienda evitar el

almacenamiento prologando del lote de semilla para evitar que su desempeño en campo sea mermado por el envejecimiento natural del grano.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la LGAC: Ganadería eficiente con precisiones biotecnológicas, bienestar sustentable y cambio climático por el apoyo y facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## LITERATURA CITADA

- Abati J, Brzezinski CR, Foloni JSS, Zucareli C, Bassoi MC, Henning FA (2017) Seedling emergence and yield performance of wheat cultivars depending on seed vigor and sowing density. *Journal of Seed Science* 39(1): 58-65. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v39n1171002>
- Camargo CP, Vaughn C (2021) Effect of seed vigor on field performance and yield of grain sorghum. *Seed Technology* 52: 135-147.
- Carvalho NM, Nakagawa J (2000) *Seeds: Science, Technology and Production*. 4ed. FUNEP, Jaboticabal, SP, Brazil
- Chala M, Bekana G (2017) Review on seed process and storage condition in relation to seed moisture and ecological factor. *Journal of Natural Sciences Research* 7(9): 84-90.
- Copeland LO, McDonald MB (1995) *Principles of seed science and technology*. 3rd ed. Chapman and Hall. New York. United States. 393p.
- Copeland LO, McDonald MB (2001) Seed vigor and seed vigor testing. *Principles of seed science and technology* 165-191. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1619-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1619-4_8)
- Delouche JC, Baskin CC (1973) Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology* 1: 427-452.
- Ebone LA, Caverzan A, Chavarria G (2019) Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. *Plant Physiology and Biochemistry* 145(12): 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.10.028>
- Ebone LA, Caverzan A, Tagliari A, Chiomento JLT, Silveira DC, Chavarria G (2020) Soybean seed vigor: Uniformity and growth as key factors to improve yield. *Agronomy* 10: 545
- Ellis RH (2022) Seed ageing, survival and the improved seed viability equation; forty years on. *Seed Science and Technology* 50(1): 1-20. <https://doi.org/10.15258/sst.2022.50.1.s.01>
- Fernández-Pascual E, Seal CE, Pritchard HW (2015) Simulating the germination response to diurnally alternating temperatures under climate change scenarios: Comparative studies on *Carex diandra* seeds. *Annals of Botany* 115: 201-209
- Finch-Savage WE, Bassel GW (2016) Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany* 67: 567-591. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv490>

- García E (1998) Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad de México, México. 90p.
- González GM, Zamora DM, Huerta ZR, Solano HS (2013) Eficacia de tres fungicidas para controlar roya de la hoja en cebada maltera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(8): 1237-1250.
- Huber TA, MacDonald MB Jr (1982) Gibberellic acid influence on aged barley seed germination and vigor. *Agronomy Journal* 74: 386-389.
- ISTA (2018) International rules for seed testing. ISTA. Zurich, Switzerland. 448p.
- Kim J, Bin Y, Choe Z, Kim S (1985) Influence of the accelerated aging of barley seed on the germinability and seedling growth. *Journal of International Agricultural Research* 19: 1-5.
- Kovaleva O, Lukina K (2021) Characteristics of the Western European ecological group barley varieties in the North-Western region of the Russian Federation. *BIO Web of Conferences* 36: 01025. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213601025>
- Lafond GP, Baker RJ (1986a) Effects of genotype and seed size on speed of emergence and seedling vigor in nine spring wheat cultivars. *Crop Science* 26: 341-146.
- Lafond GP, Baker RJ (1986b) Effects of temperature, moisture stress, and seed size on germination of nine spring wheat cultivars. *Crop Science* 26: 563-567.
- Lloret F, Penuelas J, Estiarte M (2004) Experimental evidence of reduced diversity of seedlings due to climate modification in a Mediterranean-type community. *Global Change Biology* 10: 248-258
- López PP, Guzmán OFA, Santos LEM, Prieto GF, Román GAD (2005) Evaluación de la calidad física de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum* Jess) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala, México. *Revista Chilena de Nutrición* 32(3): 1-10.
- Maguire JD (1962) Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2(2): 176-177.
- Massimi M (2018) Impact of seed size on seeds viability, vigor and storability of *Hordeum vulgare* (L.). *Agricultural Science Digest*. 38(1): 62-64.
- Mathias V, Coelho CMM (2021) Correlação entre o vigor pelo envelhecimento acelerado em pré-semeadura e emergência de plântulas de soja a campo. *Semina: Ciências Agrárias* 42(2): 455-470. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n2p455>
- Matthews S, Khajeh-Hosseini M (2007) Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize (*Zea mays*). *Seed Science and Technology* 35: 200-212.
- Mittler R (2017) ROS are good. *Trends in Plant Science* 22(1): 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002>
- Ohlson OC, Krzyzanowski FC, Caieiro JT, Panobianco M (2010) Teste de envelhecimento acelerado em sementes de trigo. *Revista Brasileira de Sementes* 32(4): 118-124. <https://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222010000400013>
- Onder S, Tonguç M, Guvercin D, Karakurt Y (2020) Biochemical changes stimulated by accelerated aging in safflower seeds (*Carthamus trinatorius* L.). *Journal of Seed Science* v.42 e202042015. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v42227873>
- Padilha MS, Coelho CMM, Ehrhardt-Brocardo NCM (2022) Viability and performance of wheat seedlings after artificial seed aging. *Journal of Seed Science* 44: e202240037. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v44261925>
- Pérez-Ruiz JA, Zamora-Díaz M, Mejía-Contreras JA, Hernández-Livera A, Solano-Hernández S (2016) Evaluación de 10 genotipos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas. *Agrociencia* 50: 201-2013.
- Pomeranz Y (1992) Biochemical, functional and nutritive changes during storage. In: Sauer DB (ed) Storage of cereal grains and their products. 4th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. pp. 55-142.

- Pržulj N, Dragović S, Malešević M, Momčilović V, Mladenov N (1998) Comparative performance of winter and spring malting barleys in semiarid growing conditions. *Euphytica* 101: 377-382.
- Reed RC, Bradford KJ, Khanday I (2022) Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity* 128(6): 450-459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>
- Roberts EH (1972) Storage environment and the control of viability. In: Roberts EH (ed) *Viability of seeds*. Springer- Dordrecht. pp. 14-58.
- Rodríguez-García MF, González-González M, Mandujano-Bueno A (2023) Variability of *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*, resistance and agronomic behavior of two-row barley germplasm. *Mexican Journal of Phytopathology* 41(1): 5-25.
- Rukavina H, Kolak I, Sarcevic H, Satovic Z (2002) Seed size, yield and harvest characteristics of three Croatia spring malting barleys. *Bodenkultur* 53(1): 9-12.
- SIAP (2024) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México, México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 5 de enero de 2024.
- SNICS (2014) Regla para la calificación de semilla de avena, cebada, centeno, trigo y triticale. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas – SAGARPA. México. 15p.
- Soares C, Carvalho ME, Azevedo RA, Fidalgo F (2019) Plants facing oxidative challenges-A little help from the antioxidant networks. *Environmental and Experimental Botany* 161: 4-25. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.12.009>
- Soleymani A, Shahrajabian MH (2012) Changes in seed yield and yield components of elite barley cultivars under different plant populations and sowing dates. *Journal of Food Agriculture and Environment* 10: 596-598.
- Steiner F, Zuffo AM, Zoz T, Zoz A, Zoz J (2017) Drought tolerance of wheat and black oat crops at early stages of seedling growth. *Revista de Ciências Agrárias* 40(3): 576-586.