

AUSENCIA DE LATENCIA EN SEMILLA DE GENOTIPOS MEXICANOS DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) PARA MALTA

NO SEED DORMANCY IN MEXICAN MALTING BARLEY (*Hordeum vulgare* L.) GENOTYPES

Juan A. Pérez-Ruiz^{1, 2*}, José A. Mejía-Contreras¹, Adrián Hernández-Livera¹ y Mauro Zamora-Díaz²

¹Postgrado en Producción de Semillas, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. ²Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 18.5 Carr. Los Reyes-Lechería. 56250, Coatlinchán, Texcoco, Edo. de México, México.

*Autor de correspondencia (juan.perez@colpos.mx)

RESUMEN

La latencia se considera como la nula germinación de semillas viables cuando son colocadas en condiciones óptimas para su germinación; una semilla recién madurada puede no germinar en condiciones favorables pero puede hacerlo después de un periodo de almacenamiento. En la industria cervecera la capacidad de germinación de las semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) está relacionada con la calidad de malta obtenida al finalizar el proceso de malteado. En esta investigación se estudió el proceso de germinación de diez genotipos de cebada para malta en muestras de semillas colectadas a partir de la madurez fisiológica, hasta que alcanzaran una germinación superior a 90 %. La prueba de germinación estándar se realizó en una cámara de germinación a temperatura constante de 25 °C, en cuatro repeticiones de 100 semillas por muestreo; además se determinó el contenido de humedad de la semilla antes de cada prueba de germinación. Se empleó un diseño experimental completamente al azar. Los resultados mostraron diferencias ($P < 0.05$) entre genotipos y entre los muestreos tomados a partir de madurez fisiológica en el porcentaje de germinación. Se infiere que los genotipos de cebada para malta aquí evaluados no presentan latencia, debido a que sus semillas pudieron germinar desde la madurez fisiológica; el tiempo de almacenamiento para obtener más de 90 % de germinación fue de 21 d, con excepción de los genotipos M-173, Alina y Armida que requirieron 28 d.

Palabras clave: *Hordeum vulgare*, germinación, malta, almacenamiento.

SUMMARY

Dormancy is considered as null germination of viable seeds, although they are placed under optimum conditions for germination. A newly ripened seed cannot germinate under favorable conditions, but it can do so after a short storage period. In the brewing industry, germination capacity of barley seeds is related to the quality of malt obtained at the end of the malting process. In this research the germination process of ten malting barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes was studied from physiological maturity until they reached a germination percentage above 90 %. The standard germination test was established in a germination chamber under continuous temperature of 25 °C, using four replications of 100 seeds per sample; the seed moisture content was also determined before the germination test. A randomized complete experimental design was used. Results showed a different germination rates among genotypes and among samplings started from physiological maturity. Therefore, the malting barley genotypes evaluated here have no seed dormancy because seed germination occurred even at physiological maturity. The storage time

for obtaining more than 90 % germination was 21 d after physiological maturity, except for the genotypes M-173, Alina and Armida that required 28 d.

Index words: *Hordeum vulgare*, germination, malting, storage.

INTRODUCCIÓN

La cebada para malta (*Hordeum vulgare* L.) es uno de los pocos cultivos donde se requiere que la semilla germine rápido y uniformemente para poder producir malta (Barrero *et al.*, 2010). La incapacidad de la semilla de cebada para germinar a un nivel aceptable puede causar problemas durante el proceso de malteado. Por tanto, el conocimiento del nivel de latencia es crítico en términos de la calidad de malta obtenida (Fox, 2010). La alta exigencia de poder germinativo se debe a que el proceso de malteo se basa en la germinación, ya que cada semilla funciona como una fábrica de malta, de modo que semilla que no germine es una que no producirá malta.

La germinación de una semilla representa el proceso en el cual se producen las transformaciones metabólicas necesarias para el completo desarrollo de la plántula; la germinación comprende las fases de imbibición de agua, elongación celular, división celular y diferenciación de células y tejidos (Doria, 2010). La ausencia de germinación puede tener varias causas, entre ellas que la semilla no sea viable, que el ambiente no sea óptimo para la germinación, o que la semilla presente latencia (Hilhorst, 2011).

La latencia de una semilla se refiere al estado en el cual una semilla viable no germina, a pesar de colocarse en condiciones favorables de humedad, temperatura, luz y concentración de oxígeno necesarias para su germinación (Baskin y Baskin, 2007). La latencia de las semillas puede persistir por días e incluso por años, lo que depende en gran medida del grado de domesticación mediante la cual se seleccionaron genotipos con germinación uniforme y rápido establecimiento de plantas, proceso que a menudo conduce a

la selección de genotipos con baja latencia (Rodríguez *et al.*, 2011). La latencia se basa en factores que inhiben la germinación, ya sean endógenos (del embrión) o exógenos (debidos a la cubierta de la semilla), según Hilhorst (2011).

La cubierta de la semilla, y las glumas de los cereales, pueden actuar como barreras físicas que limitan el paso del oxígeno, agua y la absorción de nutrientes por el embrión. El endospermo también puede ser una barrera que restringe el crecimiento del embrión en semillas embebidas (Barrero *et al.*, 2010). Son varios los mecanismos bioquímicos asociados con la latencia, que incluyen un efecto antagónico entre el ácido abscísico y el ácido giberélico (Fox, 2010). Los principales factores que influyen en la presencia de latencia en semillas de cebada son los ambientales, como días cortos, temperaturas frescas y alta humedad durante el llenado de la semilla (Bewley *et al.*, 2013).

El valor agregado de la cebada para fines industriales es que produce excelente malta, que a su vez se utiliza principalmente para la elaboración de cerveza (Schwarz y Li, 2011). El malteado es un proceso controlado por la germinación de semillas, por lo que un bajo nivel de latencia de las semillas recién cosechadas es una característica deseable, debido a que la semilla podría ser malteada inmediatamente. En la industria cervecera, la capacidad de la cebada para germinar se mide con pruebas estándar conocidas como energía de germinación e índice de germinación; la energía de germinación es el número total de semillas que germinan durante un determinado tiempo de incubación bajo condiciones específicas, mientras que el índice de germinación es la tasa de germinación durante este periodo; ambas características están altamente relacionadas con la calidad de malta (Woonton *et al.*, 2005).

En cebada la latencia usualmente se supera después de un periodo de almacenamiento; por consiguiente, las nuevas cosechas de cebada son almacenadas por varios meses antes de ser malteadas, lo que aumenta los costos de producción (Schwarz y Li, 2011). En México, se desconoce si las variedades de cebada para malta empleadas en las distintas zonas de producción presentan latencia. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue evaluar efectos de latencia a partir de la madurez fisiológica en granos de diez genotipos de cebada para malta, bajo la hipótesis de que ninguno de estos genotipos de cebada para malta presenta efectos de latencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas de cebada para malta de los genotipos Adabella, Alina, Armida, Esmeralda, Esperanza, M-173, M-174, M-176, M-177 y M-10542, proporcionados por el Programa Nacional de Cebada del Instituto Nacional

de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Las semillas fueron sembradas el 15 de noviembre en el ciclo otoño-invierno 2013-2014 en el Campo Experimental Bajío, ubicado en Celaya, Guanajuato. El diseño experimental de campo utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 3 m de largo con separación de 30 cm entre ellos. La densidad de siembra fue de 100 kg ha⁻¹, con excepción de la variedad Esperanza en la que fue de 120 kg ha⁻¹. Los riegos fueron aplicados al momento de la siembra, a los 45, 70 y 90 d después del primer riego. El manejo agronómico empleado fue el recomendado por INIFAP para la región de El Bajío (Zamora *et al.*, 2010). La cosecha se hizo a la madurez fisiológica del cultivo, cuando el pedúnculo de las espigas se tornó de color marrón.

En la cosecha se tomó una muestra de 1500 g de semilla por genotipo; las muestras fueron almacenadas en una bodega a temperatura ambiente, para posteriormente observar el tiempo necesario para obtener más de 90 % de germinación en cada genotipo (G), en función de la pérdida de humedad de la semilla y tiempo de almacenamiento. Luego se hicieron muestreos periódicos del contenido de humedad de la semilla y pruebas de germinación a partir de su madurez fisiológica, y posteriormente cada 7 d: Muestreo 1 = madurez fisiológica, Muestreo 2 = 7 d después de madurez fisiológica (DDMF), Muestreo 3 = 14 DDMF, Muestreo 4 = 21 DDMF, y Muestreo 5 = 28 DDMF. Estos muestreos se realizaron bajo un diseño completamente al azar, en el Laboratorio de Cebada del Campo Experimental Bajío.

Contenido de humedad de la semilla (CH). Se determinó antes de iniciar cada prueba de germinación, en tres repeticiones de 120 g, con un determinador de humedad marca BURROWS® (modelo DMC750, USA), y el resultado se reportó en porcentaje.

Prueba de germinación estándar. Se realizó de acuerdo con las recomendaciones de la International Seed Testing Association (ISTA, 2005), en cuatro repeticiones de 100 semillas por genotipo. La prueba se hizo mediante el método "rollo de papel", con las semillas colocadas y espaciadas en toallas de papel (22.5 x 23.5 cm) que se enrollaron. Los rollos se colocaron en bolsas de plástico y éstas en una cámara de germinación Seedburo® a temperatura constante de 25 °C. Transcurridos 7 d después de iniciada la prueba de germinación se midieron los porcentajes de germinación, de plántulas anormales, y de semillas no germinadas y duras.

Porcentaje de germinación (PG). Se determinó con base en el número de plántulas normales, es decir aquellas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones, las cuales mostraban potencial para continuar su desarrollo bajo

condiciones favorables de humedad, temperatura y luz.

Porcentaje de plántulas anormales (PPA). Se determinó con base en plántulas con lesiones y malformaciones, con defectos en sus estructuras esenciales que les impediría desarrollarse satisfactoriamente en plantas.

Porcentaje de semillas no germinadas y de semillas duras (PSNG). Se determinó con base en el total de semillas sin germinar, debido a que no absorbieron agua; además de aquellas que absorbieron agua pero no completaron el proceso de germinación.

El análisis estadístico se hizo mediante el programa estadístico SAS versión 9.1 (2009) para Windows, previa transformación de los datos con la función arcoseno, efectuando pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05) para aquellas variables que mostraron diferencias significativas en el análisis de varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hubo diferencias significativas entre muestreos para las variables evaluadas de porcentaje de germinación, porcentaje de plántulas anormales y porcentaje de semillas no germinadas y semillas duras. También hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre genotipos en las variables evaluadas, con excepción del contenido de humedad de la semilla.

En el análisis de varianza solo se evaluaron los primeros cuatro muestreos, debido a que la mayoría de genotipos alcanzó más de 90 % de germinación en ese lapso, con excepción de los genotipos Alina, Armida y M-173 que requi-

rieron de 28 d, para alcanzar ese porcentaje. Alina y Armida fueron los únicos genotipos que mostraron menos de 50 % de germinación en madurez fisiológica, pero a medida que el muestreo se hizo más tarde su porcentaje de germinación aumentó, al igual que en los demás genotipos; aun así, el comportamiento de la germinación fue diferente entre genotipos (Cuadro 1). Las semillas de cebada recién cosechadas exhiben baja germinación atribuido en gran medida a que las cubiertas del grano (lema y palea) reducen la disponibilidad de oxígeno al embrión; no obstante, después de alcanzar la madurez fisiológica aumenta la permeabilidad de la cubierta de la semilla, lo que contribuye a la mejora de la capacidad de germinación (Bradford *et al.*, 2008).

La línea M-176 mostró más de 90 % de germinación al alcanzar su madurez fisiológica en el Muestreo 1, mientras que los genotipos Adabella, Esmeralda y M-10542 llegaron a ese nivel hasta el Muestreo 3; Esperanza, M-174 y M-177 en el Muestreo 4; y Alina, Armida y M-173 superaron ese rango en el Muestreo 5 (Cuadro 2). Resultados similares fueron reportados por Gualano y Benech-Arnold (2009), quienes encontraron que el índice de germinación en cebada alcanza sus valores máximos aproximadamente 30 d después de la madurez fisiológica, así mismo, Frančáková *et al.* (2012) encontraron que el índice de germinación de la misma especie muestra valores bajos en semillas recién cosechadas, y que luego aumentaron gradualmente a partir de la cuarta semana de almacenamiento posterior a la cosecha.

Se ha sugerido que las diferencias en índice de germinación entre genotipos podrían estar dadas por las diferentes condiciones ambientales durante el llenado de la semilla de cada genotipo (Gualano y Benech-Arnold, 2009).

Cuadro 1. Promedios del porcentaje de germinación en diez genotipos de cebada para malta, evaluados en cuatro muestreos de semilla tomados a partir de madurez fisiológica.

Genotipo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
Adabella	75.5 cd [†]	78.0 de [†]	90.5 bc [†]	97.0 a [†]
Alina	38.5 g	42.7 h	71.2 e	88.2 b
Armida	42.0 f	53.0 g	73.7 e	88.2 b
Esmeralda	75.2 d	78.0 de	91.7 b	98.5 a
Esperanza	57.0 e	62.7 f	65.0 f	97.5 a
M-173	55.2 e	75.2 e	84.2 d	87.2 b
M-174	77.7 cd	81.5 bc	88.5 c	97.2 a
M-176	93.2 a	95.2 a	96.7 a	97.5 a
M-177	78.0 c	79.5 cd	83.0 d	95.7 a
M-10542	80.7 b	83.0 b	95.7 a	97.5 a
DMSH _(0.05)	2.7	3.2	2.5	3.1

[†]Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. DMSH = diferencia mínima significativa honesta de Tukey (0.05). Muestreos realizados a los 0, 7, 14 y 21 d después de la madurez fisiológica de la semilla, respectivamente.

Cuadro 2. Promedios del porcentaje de plántulas anormales en diez genotipos de cebada para malta evaluados en cuatro muestreos de semilla tomados a partir de madurez fisiológica.

Genotipo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
Adabella	3.5e f [†]	4.2 de [†]	0.7 d [†]	0.5 b [†]
Alina	6.7 d	12.7 a	0.7 d	2.2 a
Armida	21.2 a	8.0 bc	2.7 bc	2.2 a
Esmeralda	1.7 f	2.5 ef	0.0 d	0.5 b
Esperanza	9.7 c	12.7 a	4.0 b	0.5 b
M-173	14.2 b	3.7 de	1.2 cd	1.0 b
M-174	5.2 ed	6.0 cd	0.7 d	0.0 b
M-176	1.2 f	0.2 f	1.0 d	0.0 b
M-177	5.7 de	0.5 f	7.5 a	0.5 b
M-10542	7.2 d	8.7 b	0.2 d	0.0 b
DMSH _(0.05)	2.4	2.3	1.6	1.2

[†]Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. DMSH = diferencia mínima significativa honesta de Tukey (0.05). Muestreos realizados a los 0, 7, 14 y 21 d después de la madurez fisiológica de la semilla, respectivamente.

Por su parte, Hilhorst (2011) consideró que cuando se realizan pruebas de germinación y se obtienen variaciones en el porcentaje de germinación, se podría interpretar que las semillas están parcialmente inactivas, que en la mayoría de los casos es debido a que no encuentran las condiciones óptimas para su germinación, como disponibilidad de humedad o temperatura óptima.

Si la germinación es nula podría deberse a que las semillas presentan latencia o no son viables; sin embargo, a simple vista no es posible distinguir entre semillas latentes y semillas no viables. Para determinar la viabilidad de las semillas es necesario emplear métodos bioquímicos como la prueba de tetrazolio, la cual es utilizada para evaluar la calidad de semilla y que ha resultado eficiente y eficaz en semillas de cebada (Grzybowski *et al.*, 2012).

En las reglas internacionales para el análisis de semillas (ISTA, 2005), se consideran anormales todas las plántulas que presentan alguna deficiencia en el desarrollo de sus estructuras esenciales, lo que puede significar un impedimento en el desarrollo normal de la planta cuando crecen bajo condiciones favorables. En este estudio todos los genotipos presentaron plántulas anormales (PPA), y hubo diferencias significativas entre genotipos desde el inicio de las pruebas de germinación y en todos los muestreos (Cuadro 2).

En cebada, la maduración de las semillas comienza en la parte media de la espiga, por lo que a la cosecha pudo haber diferencias en grados de maduración entre las semillas de cada espiga, y ello a su vez pudo afectar su capacidad para germinar. Entre muestreos también hubo diferencias en PPA, ya que hubo mayor PPA en madurez fisiológica y

conforme transcurrieron los días posteriores a la cosecha esta variable disminuyó a menos de 3 % en el Muestreo 4 (Cuadro 2). Ello probablemente se deba a que en madurez fisiológica el embrión aún se encontraba inmaduro y con un alto contenido de humedad de la semilla, lo que afectó la germinación y dio como resultado plántulas anormales.

De manera general, el embrión alcanza su desarrollo en madurez fisiológica de la semilla o algunos días después de ser cosechadas, madurez que proporciona a la semilla la capacidad de producir plántulas normales (Flores, 2004). En este estudio se observó que el PPA disminuyó después de un breve periodo de almacenamiento, lo cual podría estar relacionado con la madurez completa del embrión y el consecuente aumento en plántulas normales.

El porcentaje de semillas no germinadas y semillas duras (PSNG) osciló de 5 a 55 % en el Muestreo 1 (Cuadro 3), aunque en los muestreos posteriores los genotipos mostraron disminución del PSNG, lo que se reflejó en menores valores en el Muestreo 4. En cebadas recién cosechadas, uno de los problemas más comunes durante el proceso de malteado (remojo) es la sensibilidad al agua de algunos genotipos, término referido a la ausencia de germinación de la semilla por exceso de agua (Schwarz y Li, 2011). Tal sensibilidad probablemente tuvo un efecto en los primeros muestreos debido al alto contenido de humedad de la semilla. Entre muestreos los valores más altos en PSNG se registraron en el Muestreo 1; no obstante, su magnitud disminuyó a medida que aumentó el tiempo de almacenamiento (Cuadro 3).

Estos resultados muestran la importancia de conocer el progreso del porcentaje de germinación en cada genotipo,

Cuadro 3. Promedios del porcentaje de semillas no germinadas y de semillas duras en diez genotipos de cebada para malta evaluados en cuatro muestreos tomados a partir de madurez fisiológica.

Genotipo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
Adabella	21.0 d [†]	17.7 d [†]	8.7 de [†]	2.5 bc [†]
Alina	54.7 a	44.5 a	25.5 b	9.5 a
Armida	36.7 b	39.0 b	26.0 b	9.5 a
Esmeralda	23.0 d	19.5 d	8.2 e	1.0 c
Esperanza	33.2 c	24.5 c	31.0 a	2.0 bc
M-173	30.5 c	21.0 cd	14.5 c	11.7 a
M-174	17.0 e	12.5 e	10.7 d	2.7 bc
M-176	5.5 g	4.5 f	2.2 f	2.5 bc
M-177	16.2 e	20.0 d	9.5 de	3.7 b
M-10542	12.0 f	8.2 f	4.0 f	2.5 bc
DMSH _(0.05)	3.3	3.9	2.2	2.5

[†]Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. DMSH = diferencia mínima significativa honesta de Tukey (0.05). Muestreos realizados a los 0, 7, 14 y 21 d después de la madurez fisiológica de la semilla, respectivamente.

debido a que las semillas de cebada recién cosechadas presentan un alto porcentaje de semillas no germinadas, de manera que un malteo inmediato reduciría la calidad de malta obtenida y eso generaría pérdidas económicas a las industrias cerveceras (Schwarz y Li, 2011). Las diferencias significativas entre muestreos (que aquí representan diferentes periodos de almacenamiento) indican que en todos los genotipos el PSNG disminuyó durante el almacenamiento que transcurrió a partir de su madurez. De igual modo, Schwarz y Li (2011) reportaron que un breve periodo de almacenamiento de las semillas de cebada generalmente se refleja en un mayor porcentaje de semillas germinadas.

Para los genotipos Alina, Armida y M-173, el alto contenido de humedad de la semilla pudo haber influido en el bajo porcentaje de germinación en madurez fisiológica y en los 7 d posteriores, mientras que en el resto de genotipos no se observó tal efecto. Este comportamiento posiblemente se debió a un exceso de agua en la semilla, lo que dificultó la incorporación de oxígeno al embrión e intervino desfavorablemente en el proceso de germinación (Doria, 2010). Después de que llega a madurez fisiológica el contenido de humedad de la semilla disminuye rápidamente (Hamdollah, 2012), lo que podría explicar los resultados de este estudio que siguieron dicha tendencia. A partir de los 14 d después de madurez fisiológica, el porcentaje de germinación aumentó considerablemente y el contenido de humedad de la semilla se estabilizó en 11 % (Cuadros 1 y 4). Estos resultados coinciden con Gualano y Benech-Arnold (2009), quienes reportan que el índice de germinación alcanzó valores máximos después de un breve periodo de almacenamiento y el contenido de humedad osciló entre 8 y 12 %.

En cebada la latencia generalmente ocurre cuando el cultivo se produce en condiciones de clima frío y húmedo (Reuss *et al.*, 2003); aunque la latencia puede superarse mediante un corto periodo de almacenamiento (Schwarz y Li, 2011). Con base en los resultados aquí obtenidos se puede concluir que no existe latencia en los genotipos evaluados, puesto que las semillas germinaron a partir de su madurez fisiológica, y porque el plazo para obtener más de 90 % de germinación fue de 21 d después de la madurez fisiológica, con excepción de los genotipos M-173, Alina y Armida que requirieron 28 d.

Takeda y Hori (2007) mencionan que la latencia de las semillas de cebada es controlada predominantemente por efectos genéticos; sin embargo, también el ambiente tiene gran influencia sobre la presencia de latencia durante el desarrollo de la semilla, de modo que el grado de latencia varía con la procedencia de la semilla. Se ha observado, por ejemplo, efecto del frío en la expresión de latencia durante el desarrollo de la semilla, como sucede en avena (*Avena spp*), trigo (*Triticum spp*) y cebada (Bewley *et al.*, 2013). Por tanto, el grado de latencia también varía debido a la interacción genotipo x ambiente durante el proceso de desarrollo completo de la semilla (Kumar *et al.*, 2013). En el caso de la región de El Bajío el desarrollo de la semilla ocurre en condiciones de temperaturas relativamente altas, lo cual hace remota la posibilidad de que la semilla adquiera latencia.

Otro factor que influye para que los genotipos de cebada para malta evaluados no hayan presentado latencia, son los criterios de selección empleados en el Programa Nacional de Cebada; entre esos criterios se busca que las semillas puedan utilizarse inmediatamente después de ser cosechadas. El

Cuadro 4. Promedios del contenido de humedad de la semilla en diez genotipos de cebada para malta evaluados en cuatro muestreos tomados a partir de madurez fisiológica.

Genotipo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
Adabella	19.2 f [†]	12.0 e [†]	10.8 bc [†]	10.1 e [†]
Alina	22.1 bc	18.1 b	11.0 abc	10.3 cd
Armida	21.0 cd	12.1 e	11.0 abc	10.1 de
Esmeralda	23.1 ab	16.9 c	11.1 a	10.1 de
Esperanza	20.6 de	13.2 d	10.9 abc	10.2 cde
M-173	23.3 a	21.2 a	10.7 c	10.8 a
M-174	22.6 ab	18.1 b	11.2 a	10.6 b
M-176	22.1 abc	17.1 c	11.0 abc	10.8 ab
M-177	19.2 f	12.7 d	11.0 abc	10.3 c
M-10542	19.6 ef	12.9 d	11.1 ab	10.3 cd
DMSH _(0.05)	1.2	0.5	0.3	0.2

[†]Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. DMSH = diferencia mínima significativa honesta de Tukey (0.05). Muestreos realizados a los 0, 7, 14 y 21 d después de la madurez fisiológica de la semilla, respectivamente.

grado de latencia generalmente se ajusta mediante el mejoramiento, indicativo de un control genético, lo cual permite su uso en un periodo de tiempo relativamente corto de almacenamiento.

Durante la domesticación de cultivos las plantas han sido modificadas para mejorar sus características agronómicas, entre ellas una germinación elevada. La selección de semillas sin o con baja latencia, es una de las principales características de la domesticación de los cereales de grano pequeño (Barrero *et al.*, 2010). Sin embargo, un corto periodo de latencia a menudo es deseable en cereales como cebada, para impedir la germinación antes de la cosecha, sobre todo cuando la madurez de la semilla coincide con lluvias, ya que este fenómeno deriva en la pérdida inmediata de viabilidad de la semilla.

Pero la latencia es altamente indeseable en cebada para malta, porque el malteado requiere de la germinación de la semilla (Gualano y Benech-Arnold, 2009). Por otra parte, un largo periodo de latencia puede ser problemático porque las semillas requieren de almacenamiento por varios meses, o bien ser tratadas antes o después del almacenamiento con productos químicos como formiato de etilo que es capaz de reducir el grado de latencia en cebada (Reuss *et al.*, 2003). Sin embargo, los costos de producción aumentan debido a los gastos por almacenamiento y aplicación de estos insumos.

CONCLUSIONES

Las semillas de los genotipos de cebada para malta evaluados mostraron variación en el tiempo requerido des-

pués de madurez fisiológica para alcanzar más de 90 % de germinación, pero no presentaron latencia ya que pudieron germinar desde la madurez fisiológica de la semilla. Además, para obtener más de 90 % de germinación solamente se requirió de 21 d de almacenamiento después de la madurez fisiológica, con excepción de los genotipos Alina, Armida y M-173 que requirieron 28 d.

AGRADECIMIENTOS

Al personal del Programa Nacional de Cebada perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por proporcionar el material y recursos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrero J. M., J. Jacobsen and F. Gubler (2010) Seed dormancy: approaches for finding new genes in cereals. *In: Plant Developmental Biology-Biotechnological Perspectives*. E. C. Pua and M. R. Davey (eds.). Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. pp:361-381.
- Baskin J. M. and C. C. Baskin (2007) A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* 14:1-16.
- Bewley J. D., K. J. Bradford, H. W. M. Hilhorst and H. Nonogaki (2013) Dormancy and the control of germination. *In: Seeds, Physiology of Development, Germination and Dormancy*. J. D. Bewley, K. J. Bradford, H. W. M. Hilhorst and H. Nonogaki (eds.). 3rd ed. Springer Science. pp:247-297.
- Bradford K. J., R. L. Benech-Arnold, D. Côme and F. Corbineau (2008) Quantifying the sensitivity of barley seed germination to oxygen, abscisic acid, and gibberellin using a population-based threshold model. *Journal of Experimental Botany* 59:335-347.
- Doria J. (2010) Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31:74-85.
- Flores A. (2004) Introducción a la Tecnología de las Semillas. Universidad Autónoma Chapingo, México. 160 p.
- Fox G. P. (2010) Chemical composition in barley grains and malt quality. *In:*

- Genetics and Improvement of Barley Malt Quality. G. Zhang and C. Li (eds.). Advanced topics in science and technology in China. pp:63-98.
- Frančáková H., M. Lišková, T. Bojňanská and J. Mareček (2012)** Germination index as an indicator of malting potential. *Czech Journal of Food Sciences* 30:377-384.
- Grzybowski C. R. S., O. C. Ohlson, R. C. Silva and M. Panobianco (2012)** Viability of barley seeds by the tetrazolium test. *Revista Brasileira de Sementes* 34:47-54.
- Gualano N. A. and R. L. Benech-Arnold (2009)** Predicting pre-harvest sprouting susceptibility in barley: looking for "sensitivity windows" to temperature throughout grain filling in various commercial cultivars. *Field Crops Research* 114:35-44.
- Hamdollah E. (2012)** Seed quality variation of crop plants during seed development and maturation. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 3:557-560.
- Hilhorst H. W. M. (2011)** Standardizing seed dormancy research. In: Seed Dormancy, Methods in Molecular Biology. Kermode Allison R. (ed.). Springer Science. pp:43-52.
- ISTA, International Seed Testing Association (2005)** International Rules for Seed Testing. Rules of the International Seed Testing Association (ISTA). Editions, Zurich, Switzerland. 243 p.
- Kumar S., A. H. Hirani, M. Asif and A. Goyal (2013)** Molecular mechanisms controlling dormancy and germination in barley. In: Crop Production. Goyal A. and M. Asif (eds.). InTech, Open Access Publisher. pp:69-98.
- Reuss R., J. A. Cassells and J. R. Green (2003)** Malting barley: storage, dormancy and processing quality. In: Stored Grain in Australia. Wright E. J., M. C. Webb and E. Highley (eds.). Proceedings of the Australian postharvest technical conference, Canberra. CSIRO Stored Grain Research Laboratory. pp:44-48.
- Rodríguez M. V., P. E. Toorop and R. L. Benech-Arnold (2011)** Challenges facing seed banks and agriculture in relation to seed quality. In: Seed Dormancy, Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology. Allison R. Kermode (ed.). Springer Science. pp:17-40.
- SAS (2009)** Statistical Analysis System release 9.1 for windows. Cary, North Carolina, United States; SAS institute, Inc.
- Schwarz P. and Y. Li (2011)** Malting and brewing uses of barley. In: Barley, Production, Improvement, and Uses. Ullrich S. E. (ed.). Wiley-Blackwell Publishing Ltd. Iowa, USA. pp:478-521.
- Takeda K. and K. Hori (2007)** Geographical differentiation and diallel analysis of seed dormancy in barley. *Euphytica* 153:249-256.
- Woonton B. W., J. V. Jacobsen, F. Sherkat and I. M. Stuart (2005)** Changes in germination and malting quality during storage of barley. *Journal of the Institute of Brewing* 111:33-41.
- Zamora M., S. Solano, R. Garza, J. Islas, R. Huerta y M. López (2010)** Armida, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1:723-726.