



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

**ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE CEBADA MALTERA: ANÁLISIS FÍSICO,
PROXIMAL Y DETERIORO FISIOLÓGICO**

CECILIA CASTILLO ZAMBRANO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2012

La presente tesis, titulada: **Almacenamiento de semilla de cebada maltera: análisis físico, proximal y deterioro fisiológico**, realizada por la alumna: **Cecilia Castillo Zambrano**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. GABINO GARCÍA DE LOS SANTOS

ASESOR:



M.C. ADRIÁN HERNÁNDEZ LIVERA

ASESORA:



DRA. ALEJANDRINA ROBLEDO PAZ

ASESOR:



DR. HUMBERTO VAQUERA HUERTA

ASESOR:



DR. MAURO R. ZAMORA DÍAZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2012

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para realizar mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados y al Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad - Producción de Semillas por haberme aceptado como parte de esta Institución brindándome la oportunidad de superación.

A los integrantes de mi Consejo Particular por la enseñanza, orientación, apoyo y sugerencias en el desarrollo de la presente investigación. Gracias por compartir conmigo su conocimiento y por el tiempo dedicado para la conclusión de esta tesis.

Hago extenso mi agradecimiento a todo el personal académico y administrativo del Colegio de Postgraduados, por su valioso apoyo para la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios

por darme la oportunidad de ver un nuevo amanecer cada día.

De manera muy especial a ti mamá, por tus incansables esfuerzos y sacrificios para sacarnos adelante, porque has sabido formarme y ser la persona que soy ahora. Por tu ejemplo, valentía, dedicación y valores que me has inculcado. Con mucho cariño, te dedico esta tesis como símbolo de gratitud por el amor incondicional que en todo momento manifiestas

A mi papá

A mis hermanos Pilar, Alfredo, Jesús y Pablo

A mi cuñado, cuñadas y sobrinos

Gracias por ser mi maravillosa familia

A mis amigos y compañeros de Colegio Postgraduados, gracias por compartir tan agradables momentos.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
SUMMARY	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Objetivo general	3
1.3. Objetivos particulares	3
1.4. Hipótesis	3
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Importancia del cultivo de cebada	4
2.2. Clasificación taxonómica y morfología de la cebada	4
2.2.1. Taxonomía de la cebada	4
2.2.2. Morfología y composición química del grano de cebada	5
2.3. Calidad de semillas	6
2.3.1. Calidad física	6
2.3.2. Calidad fisiológica	7
2.4. Almacenamiento, conservación y deterioro de semillas	8
2.4.1. Condiciones de almacenamiento	9
2.4.1.1. Humedad	10
2.4.1.2. Temperatura	11
2.4.1.3. Tipos de envases	11
2.4.2. Cambios durante el almacenamiento	12
2.4.2.1. Físicos	12
2.4.2.2. Bioquímicos	12
2.4.2.3. Fisiológicos	13
2.5. Industrialización de cebada maltera	14
2.5.1. Proceso de malteado	14

2.5.1.1. Remojo	14
2.5.1.2. Germinación	15
2.5.1.3. Secado	16
2.5.2. Factores que afectan el malteado	16
2.6. LITERATURA CITADA	18

**CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y PROXIMAL DE SEMILLAS DE CINCO
VARIEDADES DE CEBADA MALTERA**

Resumen	25
3.1. Introducción	26
3.2. Materiales y métodos	28
3.3. Resultados y discusión	32
3.4. Conclusiones	42
3.5. Literatura citada	43

**CAPÍTULO IV. COMPORTAMIENTO DE LA GERMINACIÓN EN SEMILLAS DE CEBADA
MALTERA ALMACENADA EN DIFERENTE TEMPERATURA, HUMEDAD Y
TIPOS DE ENVASES**

Resumen	46
4.1. Introducción	47
4.2. Materiales y métodos	49
4.3. Resultados y discusión	53
4.4. Conclusiones	66
4.5. Literatura citada	67

**CAPÍTULO V. EVALUACIÓN DEL VIGOR DE SEMILLAS DE CEBADA MALTERA ALMACENADA
EN DIFERENTE TEMPERATURA, HUMEDAD Y TIPO DE ENVASES**

Resumen	69
5.1. Introducción	70
5.2. Materiales y métodos	72

5.3. Resultados y discusión	75
5.4. Conclusiones	89
5.5. Literatura citada	90
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN GENERAL	92
6.1. LITERATURA CITADA	94
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES GENERALES	95
ANEXOS	96

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
Cuadro 3.1.	Promedio de los caracteres físicos provenientes de la digitalización de imágenes de semillas en cinco variedades de cebada maltera.....	32
Cuadro 3.2.	Cuadrados medios y significancia estadística de las variables de calidad física en las variedades de cebada maltera evaluadas.....	32
Cuadro 3.3.	Comparación de medias para las variables evaluadas en el análisis físico de las diferentes variedades de cebada maltera.....	33
Cuadro 3.4.	Cuadrados medios para las variables del análisis proximal de las variedades de cebada maltera.....	36
Cuadro 3.5.	Comparación de medias del análisis proximal (en base seca) expresadas en por ciento de las diferentes variedades de cebada maltera.....	37
Cuadro 3.6.	Total de la varianza explicada para cada componente principal en las características del análisis físico y proximal de cinco variedades de cebada maltera.....	39
Cuadro 3.7.	Contribución a los tres primeros componentes principales del análisis físico y proximal de cinco variedades de cebada maltera.....	39
Cuadro 4.1.	Condiciones de temperatura y humedad relativa promedio en los ambientes de almacenamiento evaluados.....	50
Cuadro 4.2.	Cuadrados medios para las variables evaluadas en la prueba de germinación a los cero, cinco y diez meses de almacenamiento.....	54
Cuadro 4.3.	Comparación de medias de las variables evaluadas en la prueba de germinación a los cero, cinco y diez meses de almacenamiento.....	55
Cuadro 5.1.	Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en la prueba de vigor sin envejecimiento a los 0, 5 y 10 meses de almacenamiento.	77
Cuadro 5.2.	Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en la prueba de vigor con envejecimiento a los 0, 5 y 10 meses de almacenamiento	78

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 3.1. Comportamiento del peso de mil semillas (P1000S) y peso volumétrico (PV) para las cinco variedades de cebada maltera.....	35
Figura 3.2. Distribución de las cinco variedades de cebada maltera a partir del Análisis de Componentes Principales (CP1 y CP2).....	40
Figura 4.1. Relación de la germinación (PG) con el contenido de humedad (CH) de semillas de cebada maltera almacenada en tres ambientes con diferente temperatura y humedad relativa.....	56
Figura 4.2. Relación de la germinación (PG) con el contenido de humedad (CH) de cinco variedades de cebada maltera almacenada durante diez meses.....	59
Figura 4.3. Relación de la germinación (PG) con el contenido de humedad (CH) de semillas de cebada almacenada en cuatro tipos de envases.....	61
Figura 4.4. Porcentaje de germinación en cada ambiente, variedad y envase durante el almacenamiento de semillas de cebada maltera.....	63
Figura 4.5. Comportamiento de la longitud de parte aérea, peso seco de parte aérea y de la raíz durante el almacenamiento de semillas de cebada maltera en cada ambiente (a), variedad (b) y envase (c).....	65
Figura 5.1. Germinación de semillas de cinco variedades de cebada maltera con y sin envejecimiento acelerado almacenadas en tres ambientes y cuatro tipos de envase durante cero (a), cinco (b) y diez (c) meses.....	82
Figura 5.2. Velocidad de emergencia de semillas de cinco variedades de cebada maltera con y sin envejecimiento acelerado, almacenadas en tres ambientes y cuatro tipos de envases durante cero (a), cinco (b) y diez (c) meses.....	85
Figura 5.3. Relación de la longitud (LA) y peso seco de la parte aérea (PSA) en los tres ambientes de almacenamiento con y sin envejecimiento (testigo).....	86

Figura 5.4.	Longitud (LA) y peso seco de la parte aérea (PSA) de las cinco variedades de cebada maltera durante el periodo de almacenamiento con y sin envejecimiento.....	87
Figura 5.5.	Longitud (LA) y peso seco de la parte aérea (PSA) de las cinco variedades de cebada maltera durante el periodo de almacenamiento.....	88

ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS DE CEBADA MALTERA: ANÁLISIS FÍSICO, PROXIMAL Y CAMBIOS EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA

Cecilia Castillo Zambrano, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2012

RESUMEN

En México, la semilla de cebada maltera es utilizada para la elaboración de cerveza, proceso que involucra en primer lugar el malteado, que consiste del remojo, germinación y secado de las semillas de cebada. La germinación de las semillas durante el malteado es de suma importancia para tener buena calidad de malta, lo cual se logra con semillas de adecuada calidad física y fisiológica aunado a niveles óptimos de nutrientes en la semilla. En el presente estudio se realizó el análisis físico y proximal de cinco variedades de cebada maltera, así como pruebas de germinación y vigor (envejecimiento acelerado), con el propósito de evaluar la calidad física y fisiológica de las semillas durante el almacenamiento bajo diferentes condiciones de humedad relativa, temperatura y diferentes tipos de envases. La variedad Esperanza fue la que mostró la mejor calidad física en cuanto al tamaño de semilla, y también la de mayor contenido de carbohidratos. Las variedades Armida y Esmeralda tuvieron menor porcentaje de germinación después de diez meses de almacenamiento; mientras que Adabella fue la que mayor porcentaje de germinación (93 %) registró después de este tiempo. El almacenamiento de semillas de cebada maltera en frascos de vidrio y plástico y un ambiente frío (4.5 °C y 78 % de humedad relativa) conserva adecuadamente la germinación y el vigor de las semillas de cebada maltera. El manejo apropiado de la humedad relativa y la temperatura en un ambiente de almacenamiento, son determinantes para mantener la calidad de las semillas (germinación y vigor) de cebada maltera.

Palabras clave: *Hordeum vulgare*, calidad física y fisiológica de semillas, almacenamiento.

MALTING BARLEY SEED STORAGE: PHYSICAL EXAMINATION, PROXIMAL AND CHANGES IN THE PHYSIOLOGICAL QUALITY

Cecilia Castillo Zambrano, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2012

SUMMARY

In Mexico, the malting barley seed is used for brewing, a process that involves first malting, consisting of soaking, germination and drying of barley seeds. Seed germination during malting is very important to have a good quality of malt, which is achieved with adequate seed physical and physiological quality coupled with optimal levels of nutrients in the seed. In the present study, a proximal physical analysis of five varieties of malting barley and germination and vigor tests (accelerated aging) were performed, in order to evaluate the physical and physiological quality of seeds during storage under different conditions of relative humidity and temperature and various types of packaging. Esperanza was the variety that showed better physical quality for the seed size, and also the higher carbohydrate content. Armida and Esmeralda varieties had lower germination percentage after ten months of storage, while Adabella had the highest percentage of germination (93 %) after this time. The storage of malting barley seeds in glass and plastic bottles (4.5 ° C and 78 % conditions) properly preserved germination and vigour of malting seed barley. Proper handling of relative humidity and temperature in a storage environment, are crucial to maintain seed quality (germination and vigour) of malting barley.

Keywords: *Hordeum vulgare*, physical and physiological seed quality, storage.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La cebada es el cuarto cereal más cultivado a nivel mundial, después del maíz, arroz y trigo. En la actualidad, la producción mundial de cebada es de 123 544 729 t y países como Alemania, Francia, Ucrania, Canadá, Australia, Turquía y Reino Unido aportan el 45.6 % de la producción mundial con un rendimiento promedio de 2.6 t ha⁻¹ (FAO, 2010).

La producción de cebada en México se ubica en la zona centro del país en los estados de Guanajuato, Hidalgo, Querétaro, Puebla, México y Tlaxcala; los que durante el año 2011 aportaron 95 % de la cebada producida en México, siendo la producción nacional de 487 448 t para ese año, con un rendimiento de 2.2 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2011). A nivel nacional el grano de cebada que se produce es específico para satisfacer la demanda de la industria maltera (Islas *et al.*, 2003).

La cebada maltera comprende las especies *Hordeum distichum* L. y *Hordeum vulgare* L., que pertenecen a la familia de las poáceas. Estas especies se caracterizan porque tienen dos y seis hileras de grano en la espiga, respectivamente (Baik y Ullrich, 2008).

Las variedades de cebada de alta calidad maltera deben poseer una serie de características físicas y químicas; carecer en lo posible de letargo, tener una buena capacidad de absorción de agua, germinar rápida, uniformemente y en un tiempo mínimo, para producir la mayor cantidad de malta posible por unidad de peso de cebada (Molina, 1989).

La cebada es utilizada para la producción de malta debido a que se cosecha con lema y palea unidas al grano, lo que le brinda protección durante el malteado, debido a la firmeza y facilidad de manejo durante este proceso, y en el que se producen grandes cantidades de enzimas como parte de la germinación (Black y Bewley, 2000).

El grano de cebada contiene carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos, vitaminas y minerales, que en condiciones de almacén son susceptibles a alteraciones físicas y bioquímicas, siendo la temperatura y humedad relativa los principales factores que causan daños severos y pérdida de la calidad fisiológica de semillas de varios cultivos (Gupta *et al.*, 2010; Sveinsdóttir *et al.*, 2009). En cebada la disminución de la germinación afecta el proceso de malteado. Factores que tienen influencia sobre los cambios en la germinación, en la producción de enzimas y la calidad de malta de cebada

almacenada son la velocidad y grado de absorción de agua durante la imbibición, la cantidad de hormonas endógenas presentes en el grano y la respuesta de la capa de aleurona a las hormonas, mismos que pueden estar asociados con los cambios observados durante el almacenamiento de cebada (Woonton *et al.*, 2005a).

El incremento en el rendimiento y la eficiencia en la elaboración de cerveza, requiere de maltas con altos niveles de extracto y alta actividad enzimática para una buena modificación del endospermo. Para producir malta con estos requerimientos, la cebada empleada debe tener latencia mínima después de la cosecha y ser capaz de germinar vigorosamente, de manera rápida y uniforme (Woonton *et al.*, 2005a; Woonton *et al.*, 2005b). Por tal motivo, el vigor de las semillas de cebada es de importancia ya que indica una rápida y homogénea germinación en campo y buena calidad de malteado. Sólo la semilla sana llega a tener alto vigor, expresado por el porcentaje y velocidad de germinación (Chloupek *et al.*, 2003).

1.1. Planteamiento del problema

La cebada maltera como cualquier otra semilla o grano inicia el deterioro una vez que llega a la madurez fisiológica y éste deterioro se incrementa cuando se almacena en condiciones no adecuadas, como alta humedad relativa y temperatura. Durante el almacenamiento de la semilla de cebada maltera se debe cuidar de no afectar la calidad fisiológica, debido a que la industria maltera requiere semillas de alto vigor, viabilidad y germinación durante el proceso de malteo para obtener malta de buena calidad.

El presente trabajo se desarrolló en capítulos, realizando primero la caracterización física y proximal de las cinco variedades de cebada maltera, posteriormente se realizaron pruebas de germinación estándar en semilla almacenada en diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura y finalmente se evaluó el vigor de las semillas mediante la prueba de envejecimiento acelerado.

Por lo anterior y con la finalidad de contribuir al conocimiento de los factores que afectan la calidad fisiológica de la cebada maltera durante el almacenamiento, se plantearon los siguientes objetivos:

1.2. Objetivo general

- Caracterizar física y bioquímicamente cinco variedades de cebada maltera y estudiar el efecto de las condiciones del almacenamiento sobre la calidad fisiológica de las semillas.

1.3. Objetivos particulares

- Caracterizar cinco variedades de cebada maltera mediante descriptores de calidad física, análisis de imágenes y análisis proximal.
- Evaluar el porcentaje de germinación de cinco variedades de cebada maltera conservadas en diferentes ambientes de almacenamiento (20.5 °C - 90 % HR; 20.1 °C - 47 % HR y 4.5 °C - 78 % HR) y diferente tipo de envases.
- Evaluar el comportamiento del vigor de la semilla de cinco variedades de cebada maltera sometidas a diferentes condiciones de almacenamiento (20.5 °C - 90 % HR; 20.1 °C - 47 % HR y 4.5 °C - 78 % HR), mediante la prueba de envejecimiento acelerado.

1.4. Hipótesis

- Las características físicas y químicas de la semilla de cebada maltera, influyen en el proceso de malteado.
- El manejo de la semilla de cebada maltera almacenada a alta temperatura y humedad relativa, influye en la calidad fisiológica de las semillas, provoca disminución en el porcentaje de germinación y afecta el proceso de malteado.
- Las condiciones de almacenamiento (alta temperatura y humedad relativa) de la semilla de cebada maltera, afectan el vigor y en consecuencia el proceso de malteado.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del cultivo de cebada

En la actualidad la cebada es el cuarto cereal cultivado a nivel mundial después del trigo, arroz y maíz (FAO, 2010). En México la cebada es un cultivo de gran importancia económica y social en la zona de los Valles Altos del país (Estado de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo), ya que los agricultores la prefieren debido a su corto ciclo vegetativo, a la tolerancia a la sequía, a las bajas temperaturas y a la salinidad (López *et al.*, 2003; Zamora *et al.*, 2008).

El grano de cebada se emplea principalmente como materia prima para la elaboración de malta, la que a su vez se utiliza en la fabricación de cerveza; o bien, como ingrediente en la formulación de dietas para la alimentación de ganado (Baik y Ullrich, 2008; Gupta *et al.*, 2010). La cebada es utilizada para la elaboración de cerveza por su alto contenido de almidón y junto con las proteínas proporcionan los aminoácidos necesarios para el crecimiento de la levadura; también los compuestos nitrogenados son importantes en la formación de espuma de la cerveza (Perveen *et al.*, 2008). La cebada es rica en proteínas, carbohidratos, fibra dietética, vitaminas y minerales (Gupta *et al.*, 2010).

2.2. Clasificación taxonómica y morfológica de la cebada

2.2.1. Taxonomía de la cebada

La clasificación taxonómica de la cebada es la siguiente (ITIS, 2012):

Reino Plantae – Plantas

Subreino Tracheobionta – Plantas vasculares

Superdivisión Spermatophyta – Plantas con semilla

División Magnoliophyta – Plantas con flores

Clase Liliopsida – Monocotiledóneas

Subclase Commelinidae

Orden Cyperales

Familia Poaceae

Género *Hordeum* L.

Especie *vulgare* L.
distichum L.

2.2.2. Morfología y composición química del grano de cebada

El grano de cebada es alargado y estrecho en los extremos. La parte dorsal esta cubierta por la lema mientras que la parte ventral esta cubierta por la palea. En conjunto estas unidades constituyen la cascarilla, la cual protege al grano de cualquier daño físico. Dentro de la cascarilla, se encuentra el pericarpio y por último la testa que es la capa que regula los movimientos de entrada y salida de sustancias disueltas. En la base del grano, sobre el embrión y entre el pericarpio y la cascarilla se encuentran los lodículos, los cuales durante el remojo distribuyen agua sobre el embrión por capilaridad. Dentro de la testa, en la base del grano esta el embrión, situado hacia el lado dorsal del grano (Briggs, 2004).

La estructura del grano de cebada y la mayoría de sus componentes básicos son relativamente similares a otros cereales. La cáscara constituye del 10 al 13 % del peso seco del grano de cebada, es rica en celulosa, arabinoxilanos insolubles, lignina, polifenoles y minerales. La lema y palea de la cáscara cubre el cariósido, que está compuesto por pericarpio, testa y endospermo. El pericarpio (2-3% del peso seco del grano) contiene celulosa, lignina y arabinoxilano. El endospermo, constituye el 75-80% del peso total del grano, es rico en almidón (51-64 %), que se incrusta en una matriz proteínica. Las paredes de las células del endospermo se componen principalmente de β -glucano (70-75%), arabinoxilanos (20-25%) y proteínas (5-6%) con pequeñas cantidades de glucomananas, celulosa y compuestos fenólicos (Fox, 2009). La aleurona (4-5% del peso seco del grano), capa exterior del endospermo comprende en su mayoría arabinoxilanos (60%), β -glucano (22%) y proteínas (16%). El embrión (2-4% del peso del grano) es rico en lípidos (13-17%), proteínas y aminoácidos (34%), sacarosa y rafinosa (5-10%), arabinoxilano, celulosa y pectina (8-10%) y cenizas (2-10%) (Baik y Ullrich, 2008; Holtekjølén *et al.*, 2006; Taylor *et al.*, 2008; Palmer, 2006; Vasanthan y Hoover, 2009).

2.3. Calidad de las semillas

Los lotes de semillas están definidos por sus características, que en conjunto, son indicativas de su valor para la siembra. Las características de calidad más importantes son la variedad, la pureza específica, el porcentaje de germinación, viabilidad, vigor y la proporción de semillas de otras especies. Otras características tales como el porcentaje de humedad, pureza varietal, contenido en semillas duras, peso de 1000 granos, estado sanitario, etc. tienen una importancia variable según las especies, el origen de las semillas, la época de su cosecha, etc. (Álvarez, 2007; Besnier, 1989).

En general, la calidad de semillas comprende varios atributos, explicándolos en cuatro puntos clave (Bishaw *et al.*, 2007):

Calidad genética. Es la genética inherente de la variedad contenida en la semilla que proporciona el potencial para un buen rendimiento, mejor calidad del grano y mayor tolerancia a estrés biótico y abiótico.

Calidad fisiológica. Explicada por la viabilidad, germinación y vigor de las semillas, lo que determina su potencial para germinar, emergencia de las plántulas y establecimiento del cultivo en campo.

Calidad física. Referida al tamaño, peso y uniformidad de las semillas, así como la pureza que es la ausencia de semillas de otros cultivos, de malezas y materia inerte.

Calidad sanitaria. Es la ausencia de todo agente que causa infección o infestación en las semillas, como pueden ser hongos, bacterias, virus, nemátodos, insectos, etc.

2.3.1. Calidad física

Las características de las semillas que determinan su calidad física son el tamaño, forma, uniformidad de color, peso volumétrico, peso de 1000 granos, pureza y contenido de humedad relacionado con la sanidad. El tamaño de semilla es una medida de la calidad física y es un parámetro importante para cualquier programa de mejoramiento de cebada. El tamaño de grano grande sería uno de los objetivos primarios de la calidad, ya que los granos más pequeños generalmente tienen niveles más bajos de almidón y niveles más altos de proteínas, reduciéndose así la cantidad de energía que

podiera producirse y ser utilizada posteriormente (Fox *et al.*, 2006). Algunos estudios han demostrado que semillas grandes dan origen a plantas de alta supervivencia, rápido crecimiento y establecimiento (Lehtilä y Ehrlén, 2005).

Dentro de una determinada variedad está demostrada la correlación entre el tamaño de semillas y el vigor de las plántulas. Sin embargo, la ventaja inicial de las plántulas procedentes de semillas grandes no persiste a lo largo de todo el ciclo del cultivo, al intervenir en su desarrollo otros factores. En general, no hay correlación entre el tamaño de las semillas y el rendimiento de la cosecha si se siembra semilla de los tamaños comerciales habituales para cada especie y variedad. Estos tamaños comerciales, obedecen a las exigencias de las operaciones de limpieza que obligan a eliminar cierta proporción de semillas pequeñas si se quiere garantizar la eliminación de determinadas impurezas (Besnier, 1989).

La dureza de los granos también es un factor importante de la calidad de los cereales; en cebada se sabe que la dureza influye en las propiedades de calidad de la malta. Líneas duras y suaves de cebada mostraron diferencias en el grado de asociación almidón-proteína (Nair *et al.*, 2011). Las hordoindolinas, proteínas de la semilla de cebada son homologas de las puroindolinas del trigo, que se asocian con la dureza del grano (Takahashi *et al.*, 2010).

La dureza de los granos de cebada, relacionada también con la composición de la pared celular del endospermo, parece ser un factor que afecta la degradación bioquímica y los cambios estructurales del endospermo durante el malteado por el limitado movimiento de agua y enzimas (Gamlath *et al.*, 2008).

2.3.2. Calidad fisiológica

La calidad fisiológica de las semillas involucra aspectos de germinación, viabilidad y vigor. La germinación se define como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Bishaw *et al.*, 2007; Moreno, 1996).

El vigor de las semillas es de utilidad para predecir el comportamiento de las semillas cuando las condiciones del ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas. En 1977 el Comité de pruebas de Vigor de ISTA lo definió como la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la misma durante su germinación y emergencia de la plántula (Moreno, 1996).

La calidad de cebada maltera está determinada en gran medida por los aspectos fisiológicos de la germinación. La velocidad de germinación es un referente fundamental de la producción de enzimas (Moller y Munck, 2009).

2.4. Almacenamiento, conservación y deterioro de semillas

El almacenamiento de semillas asume gran importancia en el proceso de producción de semillas, debido a que generalmente existe un intervalo de tiempo entre la cosecha de la semilla y su utilización posterior, no importando si es para consumo humano o para la industria de la transformación. El almacenamiento puede ser de algunos días o hasta varios meses o años, según la especie y el cultivo, lugar de producción, condiciones ambientales prevalecientes y tecnología de producción. La razón fundamental del almacenamiento está vinculada a la preservación de la calidad fisiológica y sanitaria de las semillas, por la reducción de contaminación de plagas en la incidencia de microorganismos y minimización del ritmo de deterioro (Amaral, 2009).

Las semillas tienen la capacidad de sobrevivir y permanecer viables hasta que el momento y el lugar sean adecuados para el inicio de una nueva generación; sin embargo, al igual que otra forma de vida, no pueden mantener su viabilidad por tiempo indefinido y se deterioran y mueren paulatinamente (Copeland y McDonald, 2001).

Factores como la composición química de las semillas influyen en su deterioro, de tal forma que semillas en las cuales los lípidos son la mayor sustancia de reserva, tienen menor vida de almacén, mientras que los carbohidratos o proteínas como reserva de almacenamiento no muestran un efecto en la longevidad de las semillas (Nagel y Börner, 2010).

El deterioro se presenta incluso antes del almacenamiento; algunos estudios indican que las altas temperaturas y el estrés hídrico durante el desarrollo y madurez de semillas de soya en campo fácilmente conducen al deterioro de las semillas antes de la cosecha (Wang *et al.*, 2012).

2.4.1. Condiciones de almacenamiento

El deterioro de los granos es el resultado de la interacción de varios factores en el entorno del almacenamiento. Estos factores incluyen la humedad relativa, temperatura, contenido de humedad de la semilla, tiempo de almacenamiento, insectos vectores de enfermedades, daño de semillas, nivel de oxígeno, nivel de infección por hongos (Abramson *et al.*, 1999; Pardo *et al.*, 2004; Abramson *et al.*, 2005). Las condiciones ambientales en almacén, particularmente la temperatura y la humedad relativa, ejercen fuerte influencia sobre el contenido del agua de las semillas almacenadas. La asociación con elevadas temperaturas favorece los procesos respiratorios de las semillas y la actividad de microorganismos. Las semillas de muchos cultivos pueden ser severamente dañadas y pierden su vigor cuando se almacenan bajo condiciones de alta humedad y temperatura (Copeland y McDonald, 2001; Sveinsdóttir *et al.*, 2009).

El almacenamiento en condiciones controladas de temperatura y humedad relativa constituyen una alternativa técnicamente viable para la preservación de la calidad de las semillas, ya que estos factores juegan un papel importante y fundamental en la longevidad de las semillas. Para estudiar la longevidad de las semillas y predecir su deterioro bajo condiciones convencionales de almacenamiento, se han utilizado las pruebas de envejecimiento acelerado o deterioro controlado en las semillas, que consisten en someter a las semillas a temperatura y humedad relativa elevada. De esta manera es posible determinar un periodo de almacenamiento seguro para cualquier grano (Krishnan *et al.*, 2004; Nithya *et al.*, 2011; Schwember y Bradford, 2010).

La conservación de semillas implica su almacenamiento a mediano o largo plazo y tiene como finalidad mantener las semillas viables, para lo cual se requiere controlar la temperatura y la humedad relativa del ambiente. Un entorno ideal es un lugar con bajos niveles de humedad y temperatura en donde las semillas en equilibrio con este entorno pueden sobrevivir durante muchos años (Besnier, 1989; Walters, 2007; Wang *et al.*, 2010).

2.4.1.1. Humedad

La gran relevancia de la humedad en el manejo de las semillas radica en que ésta es el factor más importante en la conservación de las mismas, mientras mayor sea la humedad más se favorece el desarrollo de insectos y hongos, que afectan negativamente los procesos fisiológicos de las semillas, de los que dependen la pérdida de vigor y viabilidad (Copeland y McDonald, 2001; Moreno, 1996).

Las semillas almacenadas en una determinada humedad relativa ganarán (adsorción) o perderán (desorción) agua hasta equilibrarse a dicha humedad relativa, lo que trae como consecuencia una ganancia o pérdida de peso (Moreno, 1996; Wang *et al.*, 2010). Este efecto se debe a la naturaleza higroscópica de las semillas; aquellas que tienen alto contenido de lípidos absorben menos agua, es decir, que tienen un contenido de humedad de equilibrio más bajo a una humedad relativa dada (Black y Bewley, 2000; Copeland y McDonald, 2001).

Las propiedades termodinámicas del agua en las semillas determinan la cinética de reacción durante el deterioro de las mismas. La relación entre el deterioro de las semillas y las propiedades termodinámicas del agua en las semillas (potencial de agua, actividad de agua, entalpía, entropía y energía libre) se han estudiado en especies como soya y trigo que difieren en su sensibilidad al almacenamiento bajo condiciones de envejecimiento acelerado (Krishnan *et al.*, 2004).

Para la industria maltera, el contenido de humedad aceptable del grano de cebada es del 13.5% como máximo; un mayor contenido de humedad en el grano puede generar problemas de infección por hongos durante el almacenamiento (NMX-FF-043-SCFI-2003; McLelland *et al.*, 2009). Al respecto, Harrington (1972) señala que las semillas almacenadas con un contenido de humedad mayor al 14 %, presentan un incremento en la respiración, calor e invasión fúngica que ocasiona la pérdida de viabilidad de la semilla más rápidamente. Copeland y McDonald (2001) mencionan que el almacenamiento de semillas con un contenido de humedad entre 5 y 6 % parece ser el ideal para lograr la máxima longevidad.

2.4.1.2. Temperatura

La temperatura juega un papel importante en el desarrollo de los insectos, aún en presencia de un contenido de humedad de la semilla favorable. La temperatura óptima para su desarrollo es alrededor de 30 °C. A temperaturas de 20 °C su desarrollo y reproducción se reducen considerablemente y a 10 °C prácticamente cesan su actividad y si esas bajas temperaturas se mantienen, los insectos mueren. Igualmente, la mayoría de ellos no resisten periodos prolongados en temperaturas superiores a los 42 °C. Almacenar las semillas a bajas temperaturas permite mantener las semillas viables por largos periodos de tiempo (Moreno, 1996).

Temperaturas en el rango de 25 a 35 ° C y niveles de agua de las semillas entre 12 y 15 % son favorables para el desarrollo de insectos plaga como gorgojos. En productos almacenados, los insectos son los principales termófilos en la naturaleza. Por lo tanto, su crecimiento y supervivencia depende en gran medida de la temperatura (Amaral, 2009; Ileleji *et al.*, 2007).

Por otra parte, la calidad nutricional (carbohidratos, proteínas, almidón y aminoácidos esenciales) de los granos de cereales es afectada por temperaturas elevadas de almacenamiento. Con lo anterior se sugiere el almacenamiento de granos a temperaturas inferiores a 25 ° C (Zia, 2006). Estudios han demostrado que la temperatura de almacenamiento es un factor determinante, que afecta las propiedades fisicoquímicas de granos de cereales como el arroz (Park *et al.*, 2012).

En investigaciones realizadas se encontró que el almacenamiento de la cebada a temperatura ambiente (22 – 27 °C) influye positivamente en la germinación, con mejoras en la producción de enzimas hidrolíticas durante el malteado (Woonton *et al.*, 2005a).

2.4.1.3 Tipos de envases

El material empleado en la fabricación de los envases utilizados para almacenar semillas tiene mucha importancia en la conservación de la capacidad germinativa de las semillas en determinados climas por lo que conviene detallar sus características técnicas en cuanto a su resistencia a la humedad (Besnier, 1989).

Envases porosos. Se usan para el almacenamiento a corto plazo y las semillas no están protegidas contra la humedad ambiental. En regiones áridas, con baja humedad relativa, pueden usarse para almacenamiento a mediano plazo, incluso de varios años. Entre estos envases se incluyen: sacos de yute, algodón u otros materiales textiles y de papel o cajas de cartón.

Envases resistentes a la humedad. Los materiales más utilizados son el asfalto, polietileno, cera y lámina de aluminio. La resistencia a la humedad de estos materiales, depende mucho de su grosor; a veces se aumenta esta resistencia utilizando varias capas de los distintos materiales.

Envases impermeables a la humedad. Los envases totalmente impermeables a la humedad son las cajas o “latas” metálicas y los frascos de cristal. Las latas metálicas pueden usarse para semillas comerciales y para conservación de material genético y germoplasma. Los envases de cristal sólo se pueden utilizar para la conservación de germoplasma.

2.4.2. Cambios durante el almacenamiento

2.4.2.1. Físicos

El deterioro de las semillas se debe principalmente a los factores ambientales que prevalecen en el almacenamiento, entre ellos, el contenido de humedad es el de mayor importancia y generalmente se asocia con un incremento en la contaminación por hongos ocasionando cambios en el color y daños en la estructura externa e interna de las semillas (Moreno, 1996; Li *et al.*, 2003).

2.4.2.2. Bioquímicos

Los sistemas bioquímicos en la semilla (enzimas, proteínas, lípidos, membranas de mitocondrias y ribosomas), son los sitios más susceptibles al envejecimiento causado por las condiciones desfavorables del almacenamiento. Los daños durante el envejecimiento, muy posiblemente, son causados por la acción de radicales libres y productos originados por la peroxidación de los lípidos de las membranas y de las sustancias de reserva, los cuales actúan directamente durante el envejecimiento en seco o interfieren en reacciones producidas en los primeros momentos de la imbibición (Besnier, 1989; Walters *et al.*, 2010).

Cambios bioquímicos ocurren durante el envejecimiento natural de semillas de soya; el contenido de carbohidratos solubles, almidón y azúcares reductores generalmente disminuye, lo mismo ocurre con el contenido de aceite y proteína. En contraste, el grado de peroxidación lipídica se incrementa durante el almacenamiento asociado con el correspondiente decremento en la actividad de enzimas antioxidantes tales como catalasas y peroxidasas en semillas (Sharma *et al.*, 2005; Sharma *et al.*, 2007; Sharma *et al.*, 2011). Este descenso de las sustancias de reserva en las semillas da lugar a la limitada disponibilidad de sustratos para la germinación.

La reparación de los daños en las semillas causados durante el envejecimiento ocurre después de la imbibición, lo que produce un retraso en la germinación que se manifiesta por la pérdida de vigor. Si el daño es muy grande o las enzimas que intervienen en las acciones de reparación han resultado dañadas a su vez, la germinación no tiene lugar o la plántula muere (Besnier, 1989; Rao *et al.*, 2006).

2.4.2.3. Fisiológicos

La germinación es el factor más importante para evaluar la calidad de las semillas durante el almacenamiento. La velocidad de germinación disminuye si se incrementa el contenido de humedad, temperatura y periodo de almacenamiento (Nithya *et al.*, 2011). Estudios han demostrado una disminución en la tasa de germinación de semillas de trigo durante el envejecimiento acelerado (Peng *et al.*, 2011).

El almacenamiento inadecuado de las semillas deriva en un incremento en la velocidad de envejecimiento de las mismas. El envejecimiento provoca deterioro que se expresa como la pérdida de vigor y/o viabilidad (Kibinza *et al.*, 2011). Las semillas deterioradas muestran una disminución del vigor produciendo plántulas débiles que son incapaces de sobrevivir en determinado hábitat (Atici *et al.*, 2007). Se ha estudiado la calidad fisiológica de las semillas durante el deterioro en almacén y bajo condiciones de envejecimiento acelerado a alta temperatura y alto contenido de agua en las semillas, y bajo estas condiciones, las semillas pierden su viabilidad en pocos días o semanas (Cakmak *et al.*, 2010; Hsu *et al.*, 2003; McDonald, 1999).

2.5. Industrialización de cebada maltera

2.5.1. Proceso de malteado

Durante el malteo, la cebada se pone a germinar para promover la movilización de compuestos de almacenamiento del endospermo, proceso que está fuertemente influenciado por la estructura y composición química del endospermo (Kleinwächter *et al.*, 2012; Nair *et al.*, 2011). La malta es producida bajo un controlado proceso de la germinación de la cebada (Briggs, 2004). Para producir buena calidad de malta, la cebada debe tener la capacidad de germinar rápidamente y de forma sincrónica (Woonton *et al.*, 2005b; Schmitt y Marinac, 2008). El malteado es un proceso que involucra muchas enzimas responsables de la hidrólisis del almidón, las más importantes son α -amilasas, β -amilasas, α -glucosidasa y dextrinasa límite (Guerra *et al.*, 2009; Gupta *et al.*, 2010). La α -amilasa convierte el almidón en glucosa, α -maltosa, dextrinasa límite y la β -amilasa lo convierte en β -maltosa y dextrina. Las maltosas son transformadas por las maltasas (α y β -glucosidasas) en glucosa y las dextrinas también lo son por intermedio de las dextrinasas. Finalmente, la glucosa es utilizada para la síntesis de la sacarosa, que es transportada a la plántula en desarrollo (Besnier, 1989). La dextrinasa límite de cebada es una enzima que cataliza la hidrólisis del enlace glucosídico α -1,6 del almidón para su conversión en dextrina; esta actividad juega un papel en la degradación del almidón durante la germinación y presumiblemente en la biosíntesis del almidón durante el llenado del grano (Vester-Christensen *et al.*, 2010).

El proceso de malteo se divide en tres etapas: 1) Remojo, 2) Germinación y 3) Secado (Zarnkow *et al.*, 2007).

2.5.1.1. Remojo

En esta etapa el agua es indispensable para la germinación, especialmente para la activación de enzimas, degradación, translocación y uso de las reservas de almacenamiento (Copeland y McDonald, 2001). Durante el remojo las semillas embeben agua y respiran, razón por la cual debe suministrarse oxígeno. La germinación está influenciada por las concentraciones de O_2 y CO_2 (Kleinwächter *et al.*, 2012; Zarnkow *et al.*, 2007).

La hidratación adecuada de la cebada es un factor muy importante en la producción de malta de buena calidad. Cuando la hidratación del endospermo no es óptima, la modificación de la cebada durante el malteo es difícil de lograr (Bryce *et al.*, 2010). El grado en que ocurre la imbibición depende de tres factores: composición de la semilla, permeabilidad de la cubierta de la semilla y disponibilidad de agua (Copeland y McDonald, 2001).

Tras el inicio de la imbibición de la semilla, el restablecimiento del metabolismo y la integridad estructural de las células requiere de la participación de otros eventos como la síntesis de proteínas e incremento de la actividad respiratoria, procesos que inicialmente implican las sustancias de almacenamiento de las semillas (Nonogaki *et al.*, 2010).

2.5.1.2. Germinación

La germinación es un proceso energético exigente que requiere el funcionamiento de las mitocondrias, las cuales deben sobrevivir a la desecación en la semilla y después de la imbibición llegar a ser rápidamente funcionales para satisfacer la demanda de ATP (Benamar *et al.*, 2003). Es un proceso complejo durante el cual la semilla debe recuperarse físicamente del secado y reanudar el metabolismo llevando a cabo los procesos celulares y bioquímicos esenciales (hidrolisis de las reservas de almacenamiento de la semilla) para permitir la emergencia del embrión (Jones, 2005; Nonogaki *et al.*, 2010).

Primero ocurre la activación de las giberelinas, que son hormonas de crecimiento que se producen en el embrión y se liberan durante la germinación, promoviendo la producción de enzimas en la capa de aleurona, las cuales se difunden y modifican el endospermo para producir los azúcares requeridos para el crecimiento de la plántula (O'Brien *et al.*, 2010).

Las enzimas que degradan el almidón, juegan un papel clave en la obtención de malta de buena calidad. La α -amilasa es la enzima que inicia el rompimiento de los gránulos de almidón por hidrolisis. Sin embargo, las β -amilasas son consideradas como las principales enzimas que contribuyen a la generación del poder diastásico. Por esta razón, la detección de estas enzimas puede ayudar a identificar cultivares adecuados para la elaboración de cerveza. Las β -amilasas están más estrechamente relacionadas con el contenido de nitrógeno en los granos que otras enzimas hidrolíticas.

Como consecuencia, una alta actividad de β -amilasa probablemente resultaría en mayor contenido de proteína. El poder diastásico de la cebada maltera es un atributo de calidad importante para la elaboración de la cerveza, ya que representa la actividad de varias enzimas que degradan el almidón (Acquistucci *et al.*, 2011). Algunas de las enzimas necesarias para la elaboración de cerveza, tales como β -amilasas ya están presentes en la cebada, pero la mayoría de las enzimas se sintetizan después de la imbibición de las semillas (Steiner *et al.*, 2011).

2.5.1.2. Secado

En el momento en que la germinación y la modificación del endospermo están lo suficientemente avanzados, se seca la malta generalmente en dos etapas. La primera etapa se lleva a cabo con una corriente de aire y durante la segunda se tuesta ligeramente el producto para facilitar la ruptura de las cadenas almidonadas. Debido a las temperaturas que se manejan (22-110 °C), este proceso induce reacciones de Maillard generando varios compuestos que darán color y aroma a la cerveza (Briggs, 2004; Kleinwächter *et al.*, 2012; Willaert, 2006). Cuando la deshidratación se efectúa con aire frío, la malta es de color pálido y muy rica en enzimas y cuanto más elevadas sean las temperaturas de deshidratación, especialmente en sus primeras etapas, más oscura es la malta y menor su contenido en enzimas (Hough, 1990).

2.5.2. Factores que afectan el malteado

Latencia. Es una característica que puede interferir en la rápida y uniforme germinación de la cebada, reduciendo así la calidad de la malta. Diversos estudios han demostrado que el almacenamiento post-cosecha puede ser útil para eliminar la latencia y mejorar la germinación y por ende las características de la malta (Woonton *et al.*, 2005b).

La latencia se define como un estado en el que las semillas viables no germinan, aún cuando se colocan en condiciones normalmente consideradas como adecuadas para la germinación, es decir, con una temperatura en el rango de 14 y 18 °C, un contenido de humedad del grano de 42 a 48 % y suficiente oxígeno (Wunderlich y Back, 2009). El almacenamiento es una de las maneras más prácticas de romper latencia, siendo la humedad y temperatura los principales factores que influyen (Lin *et al.*, 2008; Woonton *et al.*, 2005b).

Deterioro. El deterioro de las semillas es otro factor que afecta la calidad de la malta; el deterioro puede ser físico y visualmente se presenta como daños en la estructura de la semilla (granos quebrados o cubierta seminal dañada) y el deterioro bioquímico, que es visible solo después de la germinación de la semilla. Estos daños generalmente ocurren durante el acondicionamiento y manejo de las semillas en almacén, convirtiéndose en un problema para la industria (Copeland y McDonald, 2001).

Temperatura. La temperatura afecta la velocidad de absorción de agua, la velocidad de difusión de los gases respiratorios y la velocidad de reacciones químicas involucradas en el metabolismo de las semillas. Debido a lo anterior, en cada etapa del proceso de malteo se manejan diferentes temperaturas; en la imbibición (14-18 °C), germinación (16-20 °C) y en el secado (50-220 °C) (Bramforth, 2004; Don, 2003).

2.6. LITERATURA CITADA

- Abramson, D., Hulasare, R., White, N. D. G., Jayas, D.S., Marquardt, R.R. 1999. Mycotoxin formation in hulless barley during granary storage at 15 and 19 % moisture content. *Journal of Stored Products Research* 35, 297-305.
- Abramson, D., Hulasare, R., York, R. K., White, N. D. G., Jayas, D.S., 2005. Mycotoxins, ergosterol, and odor volátiles in durum wheat during granary storage at 16% and 20% moisture content. *Journal of Stored Products Research* 41, 67-76.
- Acquistucci, R., Turfani, V., Aureli, G. 2011. Amylase modification induced by the germination process in organic barley. *European Food Research and Technology* 1-8.
- Álvarez, L. G. 2007. Producción, comercio y certificación de semillas en México. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. pp. 1-44.
- Amaral, V. F. 2009. Seed storage potential. *Seed News*. XIII (4). July/Aug. www.seednews.inf.br Consultado el 17 de Abril de 2012.
- Atici, O., Agar, G., & Battal, O. 2007. Influence of long term storage on plant growth substance levels, germination and seedling growth in legume seeds stored for 37 years. *Indian Journal of Plant Physiology* 12, 1-5.
- Baik, B. K. and Ullrich, S. E. 2008. Barley for food: characteristics, improvement and renewed interest. *Journal of Cereal Science* 48, 233-242.
- Besnier, R. F. 1989. Semillas Biología y Tecnología. Mundi-Prensa (ed.) Madrid, España. 637 p.
- Benamar, A., Tallon, C. and Macherel, D. 2003. Membrane integrity and oxidative properties of mitochondria isolated from imbibing pea seed after priming or accelerated ageing. *Seed Science Research* 13, 35-45.
- Bishaw, Z., Niane, A. A., and Gan, Y. 2007. Quality seed production. *In: Lentil: An ancient crop for modern times*. Yadav, S. S., McNeil, D. and Stevenson, P. C. (eds.) Springer Verlag. pp. 349-383.
- Black, M. and J. D. Bewley. 2000. *Seed Technology and its Biological Basis*. Sheffield Academic Press Ltd. Sheffield, England. 419 p.
- Bramforth, C. W. 2004. *Beer: Health and nutrition*. Blackwell Science, Oxford, UK. 184 p.
- Briggs, D. E. 2004. *Brewing: Science and Practice*. Woodhead Publishing. Cambridge, GBR. 899 p.

- Bryce, J., Goodfellow, V., Agu, R., Brosnan, J., Bringham, T. and Jack, F. 2010. Effect of different steeping conditions on endosperm modification and quality of distilling malt. *Journal of the Institute of Brewing* 116, 125-133.
- Cakmak, T., Atici, O., Agar, G. and Sunar, S. 2010. Natural aging-related biochemical changes in alfalfa (*Medicago Sativa* L.) seeds stored for 42 years. *International Research Journal of Plant Science* 1, 1-6.
- Chloupek, O., Hrstková, P. and Jurecka, D. 2003. Tolerance of barley seed germination to cold-and drought-stress expressed as seed vigour. *Plant Breeding* 122, 199-203.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 2001. *Principles of seed science and technology*. Fourth edition. Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts, USA. 467 p.
- Don, R. 2003. *ISTA Handbook on Seedling Evaluation*. 3rd (ed.) Bassersdorf, Switzerland. pp 2-10.
- FAO. 2010. FAOSTAT: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org> consultado el 17 de Febrero del 2012.
- Fox, G. P. 2009. Beer and Arabinoxylan. *In: Beer in Health and Disease Prevention*. Preedy, V. R. (ed.) 1st. Edition. Academic Press. California, USA. pp. 309-316.
- Fox, G. P., Kelly, A., Poulsen, D., Inkerman, A. and Henry, R. 2006. Selecting for increased barley grain size. *Journal of Cereal Science* 43, 198- 208.
- Gamlath, J., Aldred, G. P. and Panozzo, J. F. 2008. Barley (1→3, 1→4) –β-glucan and arabinoxylan content are related to kernel hardness and water uptake. *Journal of Cereal Science* 47, 365-371.
- Guerra, N. P., Torrado, A. A., López, M. C., Martínez, C. E., García, F. S., Simal, G. J. and Pastrana, C. L. M. 2009. Use of amylolytic enzymes in brewing. *In: Beer in Health and Disease Prevention*. Preedy, V. R. (ed.) 1st. Edition. Academic Press. California, USA. pp. 113-126.
- Gupta, M., Abu-Ghannam, N., Gallagher, E. 2010. Barley for brewing: characteristics changes during malting, brewing and applications of its by-products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 9, 318-328.
- Harrington, J. F. 1972. Seed Storage and Longevity. *In: Seed biology*. Kozlowski, T. T. (ed.) Vol. 3. Academic Press. New York, USA. pp 145-240.
- Holtekjølen, A. K., Uhlen, A. K., Bråthen, E. Sahlstrøm, S. and Knutsen, S. H. 2006. Contents of starch and non-starch polysaccharides in barley varieties of different origin. *Food Chemistry* 94, 348-358.
- Hough, J. S. 1990. *Biología de la cerveza y de la malta*. Editorial Acibia. Zaragoza, España 185 p.

- Hsu, C.C., Chen, C.L., Chen, J.J. and Sung, J.M. 2003. Accelerated ageing-enhanced lipid peroxidation in bitter melon seeds and effects of priming and hot water soaking treatments. *Scientia Horticulturae* 98 (3), 201-212.
- Ileleji, K.E, Maier, D.E. and Woloshuk, C.P. 2007. Evaluation of different temperature management strategies for suppression of *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) in stored maize. *Journal of Stored Products Research*. 43 480-488.
- Islas, G. J., Zamora, D. M., Ramírez F. M. 2003. Costos de producción y rentabilidad de cebada en los Valles Altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México* 29, 3-10.
- ITIS (Integrated Taxonomic Information System). www.itis.gov. Consultado el 31 de Agosto de 2012.
- Jones, B. L. 2005. Endoproteases of barley and malt. *Journal of Cereal Science* 42, 139-156.
- Kibinza S., Bazin J., Bailly C., Farrant J. M., Corbineau F., El-Maarouf-Bouteau H. 2011. Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant Science* 181, 309-315.
- Kleinwächter M., Meyer A. and Selmar D. 2012. Malting revisited: Germination of barley (*Hordeum vulgare* L.) is inhibited by both oxygen deficiency and high carbon dioxide concentrations. *Food Chemistry* 132, 476-481.
- Krishnan, P., Nagarajan, S., Moharir, A. V. 2004. Thermodynamic characterization of seed deterioration during storage under accelerated ageing conditions. *Biosystems Engineering* 89, 425-433.
- Lehtilä K. and Ehrlén J. 2005. Seed size as an indicator of seed quality: a case study of *Primula veris*. *Acta Oecologica* 28 (3), 207–212.
- Li, C. D., Lance, R.C.M., Collins, H.M., Tarr, A., Roumeliotis, S., Harasymow, S., Cakir, M., Fox, G.P., Grime, C.R., Broughton, S., Young, K.J., Raman, H., Barr, A.R., Moody, D.B., Read, B.J. 2003. Quantitative trait loci controlling kernel discoloration in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Australian Journal of Agricultural Research* 54, 1251-1259.
- Lin, R., Horsley, R. D., and Schwarz, P. B. 2008. Associations between caryopsis dormancy, α -amylase activity, and pre-harvest sprouting in barley. *Journal of Cereal Science* 48, 446-456.
- López, P.P., Guzmán, O.F.A., Román, G.A.D. 2003. Calidad Física de Diferentes Variedades de Cebada (*Hordeum sativum* Jess) Cultivadas en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala. Centro de Investigaciones Químicas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y III Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Guanajuato, Gto.
- McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology* 27, 177-237.

- McLelland, M., Panchuk, K., Green, B., Campbell, D., Harvey, B., Rossnagel, B., Foster, J., Kendall, N. 2009. Malting Barley. Practical Information for Alberta's Agriculture Industry. Alberta, Canadá 114, 1-5.
- Molina, C. J. 1989. La Cebada. Morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales. Mundi-Prensa (Ed.), Madrid, España. 252 p.
- Moller, J.B. and Munck, L. 2009. Cereals and cereal products. *In: Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control*. Sun, D. (ed.) New York, USA. pp. 275-319.
- Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 383 p.
- Nagel, M. and Börner, A. 2010. The longevity of crop seeds stored under ambient conditions. *Seed Science Research* 20, 1-12.
- Nair S., Knoblauch M., Ullrich S., Baik B. 2011. Microstructure of hard and soft kernels of barley. *Journal of Cereal Science* 54, 354-362.
- Nithya, U., Chelladurai, V., Jayas, D. S. and White, N. D. G. 2011. Safe storage guidelines for durum wheat. *Journal of Stored Products Research* 47, 328-333.
- Nonogaki, H., Bassel, G. W., Bewley, J. D. 2010. Germination – Still a mystery. *Plant Science* 179, 574-581.
- NMX-FF-043-SCFI-2003. Norma Mexicana. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano –cereal- cebada maltera (*Hordeum vulgare* L. y *Hordeum distichum* L.). Especificaciones y métodos de prueba.
- O'Brien, R., Fowkes, N., Bassom, A. P. 2010. Models for gibberellic acid transport and enzyme production and transport in the aleurone layer of barley. *Journal of Theoretical Biology* 267, 15-21.
- Palmer, G. H. 2006. Barley and malt. *In: Handbook of brewing*. Priest, F. G. and Stewart, G. G. (eds.) Second Edition. CRC Press. FL, USA. pp. 139-160.
- Pardo, E., Marín, S., Sanchis, V., Ramos A. J. 2004. Prediction of fungal growth and ochratoxin. A production by *Aspergillus ochraceus* on irradiated barley grain as influenced by temperature and water activity. *International Journal of Food Microbiology* 95, 79–88.
- Park, C., Kim, Y., Park, K., Kim, B. 2012. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. *Journal of Stored Products Research* 48, 25-29.

- Peng, Q., Zhiyou, K., Xiaohong, L. and Yeju, L. 2011. Effects of accelerated aging on physiological and biochemical characteristics of waxy and non-waxy wheat seeds. *Journal of Northeast Agricultural University* 18, 7-12.
- Perveen, A., Imam, N.I., Shah, R. and Hasnain, A. 2008. Comparative germination of barley seeds (*Hordeum vulgare*) soaked in alkaline media and effects on starch and soluble proteins. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 12 (3), 5-9.
- Rao, R. G. S., Singh, P. M. and Rai, M. 2006. Storability of onion seeds and effects of packaging and storage conditions on viability and vigour. *Scientia Horticulturae* 110, 1-6.
- SAGARPA. 2011. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). www.siap.gob.mx. Consultado el 11 de Octubre del 2012.
- Schmitt, M. R. and Marinac, L. 2008. *Beta*-amylase degradation by serine endoproteinases from green barley malt. *Journal of Cereal Science* 47, 480-488.
- Schwember, A. and Bradford, K. 2010. Quantitative trait loci associated with longevity of lettuce seeds under conventional and controlled deterioration storage conditions. *Journal of Experimental Botany* 1-14.
- Sharma, S., Viridi, P., Gambhir S., Munshi S. K. 2005. Changes in soluble sugar content and antioxidant enzymes in soybean seed stored under different storage conditions. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry* 18, 9-12.
- Sharma, S., Gambhir, S., and Munshi, S. K. 2007. Changes in lipid and carbohydrate composition of germinating soybean seeds under different storage conditions. *Asian Journal of Plant Sciences* 6, 502-507.
- Sharma, S., Kaur, A., Bansal, A. and Gill, B. S. 2011. Positional effects on soybean seed composition during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 1-7.
- Steiner, E., Auer, A., Becker, T., Gastl, M. 2011. Comparison of beer quality attributes between beers brewed with 100% barley malt and 100% barley raw material. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 1-11.
- Sveinsdóttir H., Yan F., Zhu Y., Peiter-Volk T., Schubert S. 2009. Seed ageing-induced inhibition of germination and post-germination root growth is related to lower activity of plasma membrane H⁺-ATPase in maize roots. *Journal of Plant Physiology* 166, 128-135.

- Takahashi, A., Ikeda, T., Takayama, T., Yanagisawa, T. 2010. A barley hordoin mutation resulted in an increase in grain hardness. *Theoretical and Applied Genetics* 120, 519-526.
- Taylor, D.G., Humphrey P.M., Boxal J. & Smith P.J., 2008. Brewing of english style ales with malted cereals, other than barley. *Scandinavian Brewers Review* 65, 18-23.
- Vasanthan, T. and Hoover R. 2009. Barley starch: production, properties, modification and uses. *In: Starch: Chemistry and Technology*. BeMiller, J. and Whistler, R. (eds.) Third Edition. New York, USA. pp. 601-628.
- Vester-Christensen, M., Hachem, M., Svensson, B., Henriksen, A. 2010. Crystal structure of an essential enzyme in seed starch degradation: barley limit dextrinase in complex with cyclodextrins. *Journal of Molecular Biology* 403, 739-750.
- Walters, C. 2007. Materials used for seed storage containers: response to Gómez-Campo. *Seed Science Research* 17, 233-242.
- Walters, C., Ballesteros, D., Vertucci, V.A. 2010. Structural mechanics of seed deterioration: Standing the test of time. *Plant Science* 179, 565-573.
- Wang, J., Jiang, P., Li, D., Ma, Q., Tai, S., Zuo, Z., Dong, L., Sun, Q. 2010. Moisture variation and modeling of cotton and soybean seeds under different storage conditions. *Acta Agronomica Sinica* 36 (7), 1161-1168.
- Wang, L. Ma, H., Song, L., Shu, Y. and Gu, W. 2012. Comparative proteomics analysis reveals the mechanism of pre-harvest seed deterioration of soybean under high temperature and humidity stress. *Journal of Proteomics* 75, 2109-2127.
- Willaert, R. 2006. Biochemistry and fermentation of beer. *In: Handbook of Food Science, Technology and Engineering*. Hui, Y. H. (ed.) Vol 4. FL, USA. pp. 1-20.
- Woonton, B.W., Jacobsen, J.V., Sherkat, F. and Stuart, I.M., 2005a. Changes in germination and malting quality during storage of barley. *Journal of the Institute of Brewing* 111, 33-41.
- Woonton, B.W., Sherkat, F. and Maharjan, P., 2005b. The influence of barley storage on respiration and glucose-6-phosphate dehydrogenase during malting. *Journal of the Institute of Brewing* 111, 388-395.
- Wunderlich, S. and W. Back. 2009. Overview of manufacturing beer: ingredients, processes and quality criteria. Part I. General aspects of beer and constituents. *In: Beer in Health and Disease Prevention*. Preedy, V. R. (ed.) 1st. Edition. Academic Press. pp. 1-16.

- Zamora, D. M., Solano, H. S., Gómez, M.R., Rojas, M. I, Ireta, M. J. Garza, G. R. and Ortiz, T. C. 2008. Adabella: variedad de cebada maltera para valles altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México* 34, 491-493.
- Zarnkow, M., Mauch, A., Back, W., Arendt, E. K. and Kreisz, S. 2007. Proso millet (*Panicum miliaceum* L.): An evaluation of the microstructural changes in the endosperm during the malting process by using scanning-electron and confocal laser microscopy. *Journal of the Institute of Brewing*. 113, 355-364.
- Zia, U.R., 2006. Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals. *Food Chemistry* 95, 53-57.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS FÍSICO Y PROXIMAL DE SEMILLA DE CINCO VARIEDADES DE CEBADA MALTERA

RESUMEN

La caracterización de semillas es un procedimiento básico para identificar diferencias y/o similitudes entre materiales genéticos de la misma especie, evaluando desde caracteres agronómicos, morfológicos, bioquímicos y moleculares. Por lo anterior, en este trabajo se realizó una caracterización física y bioquímica de cinco variedades de cebada maltera para determinar diferencias entre variedades y la asociación entre variables físicas y bioquímicas del grano de cebada. Se evaluaron ocho variables físicas: contenido de humedad, pureza, peso volumétrico, peso de 1000 semillas, área, perímetro, longitud y ancho de semilla y seis variables bioquímicas: materia seca, cenizas, proteína, grasa, fibra y carbohidratos. El análisis físico mostró que Esperanza fue la variedad con mayor tamaño de semilla, mientras que Adabella fue la de menor tamaño y también menor peso de mil semillas (P1000S). Las variedades Esmeralda y Esperanza mostraron los valores más altos de proteína (13.29 % y 12.76 %, respectivamente) y de carbohidratos (77.39 % y 77.45 %). El Análisis de Componentes Principales indica que los primeros tres componentes explican el 70.5 % de la variabilidad total, siendo las dimensiones de la semilla las variables de mayor importancia.

Palabras clave: *Hordeum vulgare* L., análisis físico, análisis proximal, calidad de semilla, calidad de malta.

3.1. INTRODUCCIÓN

La cebada pertenece a la familia de las gramíneas y es uno de los cultivos más antiguos del mundo. En México, la cebada se cultiva básicamente para la elaboración de malta en la producción de cerveza (SAGARPA, 2012; Riahi y Ramaswamy, 2003).

La evaluación de la calidad de cebada maltera se realiza desde la cosecha. Inicialmente, la evaluación es visual, lo cual requiere de experiencia, pero muchas veces es decisivo para la aceptación o rechazo de un lote. Se consideran aspectos de color, olor, homogeneidad, brillo y calidad de la cubierta del grano. Además, se evalúa la cantidad de granos quebrados, semillas de malezas y elementos extraños. Granos con infestación de plagas como gorgojo definitivamente no se utilizan para malta. En la evaluación visual también se pueden apreciar defectos de los granos que en su mayoría son el resultado de condiciones meteorológicas adversas antes de la cosecha (Briggs, 2004; Hough, 1990; Wunderlich y Back, 2009). Muchos factores son los que influyen en la calidad del grano de cebada y por consiguiente en la calidad de la malta (Fox, 2010).

La composición química de los cereales varía extensamente y depende de las condiciones ambientales, suelo, variedad y fertilización. Los carbohidratos son la principal fuente de energía del grano, siendo el almidón el más abundante que representa hasta el 65 % y se constituye principalmente de amilosa y amilopectina. Las proteínas son los componentes menores en la cebada y representan el 8-15 % del peso seco del grano. El contenido lipídico del grano se ha reportado entre 2.4 a 3.9 %. En la cebada, los lípidos se almacenan en gotitas de aceite o esferosomas delimitadas por una membrana sencilla (Borén *et al.*, 2008; Riahi y Ramaswamy, 2003).

La cebada, siendo uno de los primeros granos domesticados actualmente constituye una importante fuente de fibra y nutrientes en la dieta humana. La fibra de cebada ofrece un equilibrio de fibra soluble e insoluble distribuida por toda la semilla. En la cebada, se produce fibra en la cáscara, pericarpio y en la pared celular de la capa de aleurona y almidón del endospermo. La fibra de estas fuentes anatómicas difiere en composición; la celulosa es el constituyente principal de la cáscara, mientras que el arabinóxilano y β -glucano son los componentes principales de la pared celular de la capa de aleurona y endospermo, respectivamente (Fastnaught, 2001).

Las propiedades físicas del grano de cebada son un reflejo de su constitución química y estructura interna, de tal manera que la dureza se debe en gran medida a la composición del grano (tamaño, forma y cantidad de los gránulos de almidón, así como de la matriz proteica). De lo anterior, se menciona que granos de cebada con mayor dureza presentan bajos índices de calidad maltera (Psota *et al.*, 2007). De aquí la importancia de evaluar la calidad física de semillas de cebada y el efecto de la composición química de la semilla sobre la calidad de la malta.

El análisis proximal consiste en determinar en un alimento su composición en cuanto al contenido de agua, proteínas, grasas, carbohidratos, fibra y cenizas, los cuales, en conjunto, son indicativos de la calidad nutritiva de los alimentos.

El objetivo de la presente investigación fue realizar la caracterización física mediante caracteres de imágenes de semillas y análisis proximal, de cinco variedades de cebada maltera y determinar la relación entre ellos.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas de cebada maltera de las variedades Adabella, Alina, Armida, Esmeralda y Esperanza, producidas durante el ciclo agrícola otoño-invierno del 2010 en la región del Bajío. Estos materiales fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), del Campo Experimental Bajío en Celaya, Gto., los cuales permanecieron almacenados en una bodega a una temperatura de 14.8 ° C y 56.5 % HR (humedad relativa), desde la cosecha hasta el momento de su análisis.

Adabella (1). Es una variedad de cebada maltera resultado de la selección de líneas segregantes, originadas de un cruzamiento simple realizado por el programa nacional de cebada maltera del INIFAP, en el Campo Experimental Valle de México (Zamora *et al.*, 2008).

Alina (2). Esta variedad proviene de la selección de líneas segregantes, originadas de un cruzamiento doble realizado por el programa nacional de cebada maltera del INIFAP, en el Campo Experimental Bajío. Alina presenta tolerancia a las enfermedades comunes en la región y posee un alto rendimiento con muy buena calidad industrial (Solano *et al.*, 2009).

Armida (3). Es producto del proceso de mejoramiento genético que se originó de un cruzamiento triple realizado por el programa nacional de cebada maltera del INIFAP, en el Campo Experimental Bajío, es una variedad que tiene tolerancia a las principales enfermedades de la cebada maltera en condiciones de riego; así como, moderada tolerancia a la roya de la hoja (*Puccinia hordei* Otth.), alto potencial de rendimiento, calidad industrial y ciclo vegetativo más corto que la variedad testigo Esperanza (Zamora *et al.*, 2010).

Esmeralda (4). Esta variedad es el producto de la selección de líneas segregantes de cebada originadas del cruzamiento simple de las líneas M9653 X M9667, realizado por el Programa Nacional de Cebada del INIFAP, en el Campo Experimental Valle de México, en Chapingo, Méx. Los dos progenitores conjuntaron características genéticas que le permiten tener tolerancia a las enfermedades más comunes de la cebada en los valles altos, así como un alto porcentaje de rendimiento y tolerancia al acame (Zamora *et al.*, 1997).

Esperanza (5). Esta variedad resulta de la selección de líneas avanzadas de cebada, originadas por cruzamientos realizados en el Campo Experimental Bajío, en Celaya, Gto. y evaluadas alternadamente en los Campos Experimentales Bajío y Valle de México, en Chapingo, Méx. La variedad Esperanza tiene hábito de crecimiento de primavera (Ramírez *et al.*, 1997).

3.2.2. Análisis físico de semillas

3.2.2.1. Contenido de humedad

Se determinó el contenido de humedad por el método de la estufa a 130 ° C por dos horas; se usaron cajas de aluminio con tapa, dentro de las cuales se colocaron 5 gramos de semilla entera de cada variedad, obteniendo su peso húmedo y seco, antes y después del secado, respectivamente. El resultado se calculó mediante la siguiente fórmula y se reportó en porcentaje.

$$\% \text{ de Humedad} = \left[\frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \right] \times 100$$

En donde:

P_1 = Peso de la caja y su tapa (g)

P_2 = Peso de la caja, tapa y semilla (g)

P_3 = Peso de la caja, tapa y semilla después del secado en la estufa (g)

3.2.2.2. Peso de 1000 semillas (P1000S)

Se tomaron al azar ocho repeticiones de 100 semillas de cada variedad y cada repetición se pesó en una báscula electrónica. Con los pesos de cada variedad se calculó la varianza, la desviación típica y el coeficiente de variación (ISTA, 2005). Si el coeficiente de variación no excedió 4.0, el valor de esta variable se aceptaba y era estadísticamente confiable (Moreno, 1996).

El peso de 1000 semillas se calculó a partir de las ocho repeticiones mediante la siguiente fórmula (ISTA, 2005):

$$P1000S \text{ (g)} = \bar{X} \times 10$$

Donde: \bar{X} = Media del peso de 100 semillas

3.2.2.3. Porcentaje de impurezas

Las muestras de cada variedad (1.5 kg) se mezclaron y homogeneizaron mediante un homogeneizador de granos tipo Boerner para después tomar la muestra de trabajo que fue de 120 g, con la cual se procedió a realizar el análisis de pureza, separando la semilla pura de material inerte y semillas de otras especies, registrando la pureza de semilla en porcentaje (ISTA, 2005).

3.2.2.4. Peso volumétrico

El peso volumétrico (kg hL^{-1}) se obtuvo del grano de cebada limpio, libre de impurezas, raquis y barbas, mediante el uso de una balanza de peso volumétrico marca Ohaus. El recipiente de la balanza se llenó con el grano de cebada hasta derramarse, el excedente de grano se retiró del recipiente rasándolo sobre sus bordes con una regla siguiendo un movimiento de zig-zag, inmediatamente después se realizó la medición del peso en la balanza (Moreno, 1996; ISTA, 2005).

3.2.2.5. Dimensiones de semilla

Para obtener los caracteres de imágenes de semilla mediante computadora, se contaron al azar tres repeticiones de 100 semillas por cada variedad, colocando cada repetición en una hoja de papel, para después realizar el análisis de imágenes usando un escáner a color marca Epson modelo ES-1000C, una computadora de escritorio y el programa de procesamiento de imágenes ImageJ 1.45s (National Institute of Health, USA). Las semillas se escanearon por repetición, obteniéndose las imágenes respectivas, que posteriormente se guardaron en el disco duro de la computadora y se procesaron mediante el programa de cómputo indicado. Las variables obtenidas fueron: área, perímetro, longitud (eje mayor), ancho (eje menor) (García y Estrada, 1999) y factor forma ($4\pi \text{área}/\text{perímetro}^2$) (Linskens y Jackson, 1992).

3.2.3. Análisis proximal

EL análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Animal del Programa en Ganadería del Colegio de Postgraduados. Con las muestras molidas de cada variedad, se realizó el análisis

proximal con tres repeticiones para cada variedad, siguiendo la metodología descrita por la A.O.A.C (2005). El análisis consistió en la determinación del porcentaje de humedad, cenizas, materia seca, extracto etéreo, fibra cruda y proteína cruda. El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia con base en el total de todos los constituyentes con respecto al cien por ciento.

3.2.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó previa transformación de los datos mediante la función arcoseno. Se realizó un análisis de varianza (ANAVA) para cada una de las variables y para los componentes principales. En las variables que mostraron diferencias significativas se les aplicó la prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05); además se realizó un Análisis de Componentes Principales para reducir el número de variables y saber cuáles de ellas son de mayor importancia sin perder información. Para estos análisis se utilizó el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2002).

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Caracterización física de la semilla

Los caracteres de semilla analizados por digitalización de imágenes muestran valores promedio similares entre las variedades para el área, perímetro, longitud, ancho y factor forma, resaltando que Armida y Esperanza fueron las de mayor tamaño, siendo Armida la variedad más homogénea en cuanto a características físicas, porque presentó los coeficientes de variación más bajos para perímetro, longitud y ancho de semilla. Coeficientes de variación más altos se observaron en la variedad Alina (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Promedio de los caracteres físicos provenientes de la digitalización de imágenes de semillas en cinco variedades de cebada maltera.

VARIEDAD	Área (cm ²)		Perímetro (cm)		Longitud (cm)		Ancho (cm)		Factor forma	
	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV
Adabella	4.11	1.4	3.75	9.6	0.91	1.9	0.57	3.5	3.66	19.1
Alina	4.41	8.2	3.80	4.0	0.93	4.8	0.60	3.4	3.84	0.5
Armida	4.54	2.0	4.02	1.0	0.95	1.2	0.61	0.7	3.54	2.3
Esmeralda	4.50	2.3	3.99	2.1	0.93	1.7	0.61	1.0	3.56	3.1
Esperanza	4.79	2.2	4.12	1.7	1.01	2.4	0.60	1.1	3.55	1.5

\bar{X} = Promedio; CV = Coeficiente de variación

En el cuadro 3.2 se muestra el análisis de varianza para las variables de calidad física, donde se observan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el comportamiento de las variedades para la mayoría de las variables evaluadas, a excepción del contenido de humedad y el perímetro de las semillas. Los coeficientes de variación en todas las variables, fueron aceptables.

Cuadro 3.2. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables de calidad física en las variedades de cebada maltera evaluadas.

FV	GL	Contenido de humedad (%)	Pureza (%)	Peso volumétrico (kg.hL ⁻¹)	P1000S	Área (mm)	Perímetro (mm)	Longitud (mm)	Ancho (mm)
Variedad	4	0.119 ^{ns}	1.120*	10.90*	10.07*	18.35*	7.062 ^{ns}	0.405*	0.081*
Error	10	0.046	1.139	0.333	1.09	3.292	3.316	0.064	0.018
C.V. (%)		2.135	0.429	0.834	2.39	4.057	4.628	2.680	2.217

FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; P1000S = Peso de mil semillas; CV = Coeficiente de variación; * = significativo al 0.05; ns = no significativo.

En general, el contenido de humedad de las semillas de las cinco variedades fue bajo, pero cabe señalar que la variedad Alina y Adabella tuvieron el valor máximo (10.20 %), mientras que la variedad Esperanza mostró el menor valor (9.73 %) (Cuadro 3.3). Dado que las semillas son higroscópicas (Reed, 2005), almacenadas bajo las mismas condiciones, tienen capacidad de absorber o ceder humedad del ambiente, por ello se presentan valores diferentes de contenido de humedad en las semillas incluso en materiales de la misma especie.

Cuadro 3.3. Comparación de medias para las variables evaluadas en el análisis físico de las diferentes variedades de cebada maltera.

Variedad	Humedad (%)	Pureza (%)	Peso volumétrico (kg.hL ⁻¹)	P1000S (g)	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Longitud (mm)	Ancho (mm)
Adabella	10.20 ^a	99.52 ^{ab}	69.00 ^b	42.06 ^b	41.09 ^b	37.55 ^a	9.12 ^b	5.72 ^b
Alina	10.20 ^a	99.33 ^b	70.67 ^a	42.46 ^b	44.11 ^{ab}	37.97 ^a	9.29 ^b	6.02 ^{ab}
Armida	9.97 ^a	99.71 ^a	68.00 ^{bc}	46.63 ^a	45.43 ^{ab}	40.16 ^a	9.46 ^{ab}	6.10 ^a
Esmeralda	9.73 ^a	99.38 ^b	71.67 ^a	43.41 ^b	45.04 ^{ab}	39.88 ^a	9.31 ^b	6.14 ^a
Esperanza	10.13 ^a	99.51 ^{ab}	67.00 ^c	44.46 ^{ab}	47.93 ^a	41.18 ^a	10.07 ^a	6.04 ^{ab}
DMS	0.58	0.99	1.55	2.81	4.88	4.89	0.68	0.36

***Letra diferente dentro de cada columna indica diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Al analizar las dimensiones de la semilla (área, perímetro y longitud), la variedad Esperanza tuvo los valores más altos (47.92 mm², 41.18 mm y 10.07 mm, respectivamente) lo que resulta de granos más grandes, mientras que el tamaño de grano más pequeño correspondió a la variedad Adabella con valores de área 41.09 mm², perímetro de 37.55 mm y longitud de 9.12 mm (Cuadro 3.3). Las dimensiones de la semilla de cebada son variables, lo que generalmente coincide con lo reportado por otros autores, por ejemplo, Briggs (2004) indica que los valores para cebada maltera oscilan entre 6-12 mm de longitud, 2.7-5.0 mm de ancho y 1.8-4.5 mm de espesor.

Relacionando el contenido de humedad y el tamaño de semilla, es factible decir que las semillas de mayor tamaño presentan el mayor contenido de humedad. Al respecto, Dursun *et al.* (2007), observaron mayor contenido de humedad conforme se incrementaban las dimensiones de las semillas de remolacha. Para el caso de las variedades de cebada que se evaluaron en el presente trabajo, no se confirma lo anterior, ya que no se observó dicha relación entre el contenido de humedad y las dimensiones de la semillas, de tal manera que la variedad de menor tamaño (Adabella), presentó el

mayor contenido de humedad (10.20 %), lo que probablemente, en cebada esto podría estar relacionado con otras características de la semilla como dureza, grosor e impermeabilidad de la testa.

En el análisis de pureza se observó que las cinco variedades de cebada tuvieron más del 99 % de semillas puras, el porcentaje restante fue de materia inerte.

En base a la Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, el peso hectolítrico debe ser como mínimo 56 kg hL⁻¹ para cebada de seis hileras y de 58 kg hL⁻¹ para cebada de dos hileras. En este caso las variedades que se analizaron, presentan valores muy superiores, ya que variaron entre 67.00 kg hL⁻¹ y 71.67 kg hL⁻¹, los cuales corresponden a las variedades Esperanza y Esmeralda, respectivamente (Cuadro 3.3).

Los valores más altos de peso de mil semillas (P1000S) corresponden a las variedades Armida y Esperanza (46.63 g y 44.46 g), mientras que los valores más bajos de PV corresponden a estas mismas variedades (68 kg hL⁻¹ y 67 kg hL⁻¹) (Figura 3.1).

En la Figura 3.1 se observa la relación que presentan las variables peso de mil semillas y peso volumétrico. En promedio, las variedades con valores más bajos de P1000S tienen también mayor PV, que corresponde a las variedades Adabella, Alina y Esmeralda. En contraparte, Armida y Esperanza tuvieron mayor P1000S y menor PV. Esta relación se puede atribuir al tamaño (área, perímetro, longitud, ancho) y forma de la semillas, como se observa en el Cuadro 3.3 y también debido a que el peso de las semillas ejerce una fuerza que permite su mejor acomodo en determinado volumen, de tal manera que no queda suficiente espacio vacío entre las semillas logrando así valores menores de PV, en cambio, en semillas de menor P1000S la fuerza que ejerce el peso de las semillas es menor y por lo tanto hay mayor separación entre ellas cuando se acomodan en determinado volumen y por consiguiente el valor de PV será mayor.

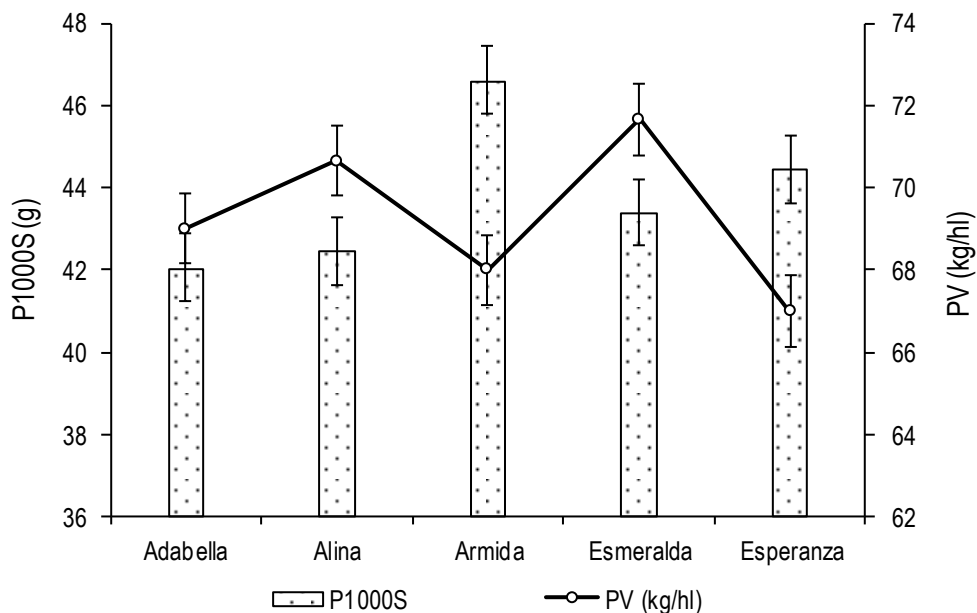


Figura 3.1. Comportamiento del peso de mil semillas (P1000S) y peso volumétrico (PV) para las cinco variedades de cebada maltera.

Las características físicas y químicas de las semillas y granos en general, son de gran importancia para determinar su calidad fisiológica, nutritiva e industrial, así por ejemplo, en semillas de soya las concentraciones de proteína y lípidos determinan la calidad y competitividad en el mercado (Rotundo *et al.*, 2011). En el caso de la cebada, el tamaño de la semilla es una característica importante debido a que granos pequeños generalmente tienen bajos niveles de almidón y altos niveles de proteína, reduciendo así el sustrato para la actividad enzimática durante el malteo (Fox *et al.*, 2006), ya que los carbohidratos representan la mayor fuente de energía de este grano (Riahi y Ramaswamy, 2003).

Asimismo, la uniformidad de tamaño de semilla en un lote de cebada maltera es fundamental debido a que el tamaño tiene impacto en la absorción de agua durante la imbibición y en la velocidad de modificación durante el malteado (Schwarz y Li, 2011).

3.3.2. Análisis proximal de semillas de cebada

Los resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las variedades para las variables materia seca, contenido de proteína, grasa y carbohidratos, mientras que para el contenido de cenizas y fibra no hubo ($p \leq 0.05$). Los coeficientes de variación en general fueron bajos para todas las variables (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.4 Cuadrados medios para las variables del análisis proximal de las variedades de cebada maltera.

FV	GL	Materia Seca	Cenizas	Proteína	Grasa	Fibra	Carbohidratos
Variedad	4	0.152*	0.187 ^{ns}	1.600*	2.677*	0.471 ^{ns}	1.677*
Error	10	0.014	0.068	0.027	0.088	0.207	0.225
C.V. (%)		0.131	2.940	1.310	11.093	3.316	0.618

* = significativo al 0.05; ns = no significativo

Al hacer la comparación de medias de las variables evaluadas (Cuadro 3.5) se observó que los valores de materia seca oscilaron entre 89.27 y 89.80 %, siendo el valor más bajo para la variedad Esperanza y el valor más alto para las variedades Alina y Armida. El contenido de materia seca de Esmeralda fue de 89.66 % y para Adabella de 89.78 %.

Las cinco variedades de cebada maltera no mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el porcentaje de cenizas como se denotó desde el ANAVA (Cuadro 3.4), teniendo valores entre 2.22 % y 2.57 %, los cuales corresponden a las variedades Adabella y Alina, respectivamente. La variedad Armida tuvo 2.40 % de materia inorgánica, mientras que Esmeralda 2.31 % y Esperanza 2.32 % (Cuadro 3.5). Lo anterior coincide con lo reportado por Bramforth (2004), Wunderlich y Back (2009) y Eßlinger y Narziß (2012), quienes señalan que el contenido de minerales en el grano de cebada constituye del 2-3 % del peso seco del grano, siendo los de mayor importancia, el silicio, potasio y fósforo, éste último como parte de los ácidos nucleicos y ácido fítico de las semillas.

Respecto al contenido de proteína, en el Cuadro 3.5 se observa que la variedad Esmeralda mostró el mayor valor (13.3 %), mientras que la variedad Adabella presentó el valor más bajo (11.3 %). El contenido de proteína en cebada maltera osciló entre 8-13.5 % en base seca, señalando que el rango deseable para la elaboración de cerveza es del 10-11 % (Ferreira, 2009; Fox, 2010; Wunderlich y Back,

2009). Con lo anterior se confirma que las cinco variedades de cebada maltera evaluadas presentan contenidos de proteína que son aceptables para la industria maltera.

Cuadro 3.5. Comparación de medias del análisis proximal (en base seca) expresadas en por ciento de las diferentes variedades de cebada maltera.

Variedad	Materia Seca	Cenizas	Proteína	Grasa	Fibra	Carbohidratos
Adabella	89.78 ^a	2.22 ^a	11.30 ^c	3.36 ^a	6.10 ^a	77.02 ^a
Alina	89.80 ^a	2.57 ^a	12.48 ^b	2.93 ^a	5.30 ^a	76.72 ^{ab}
Armida	89.80 ^a	2.40 ^a	12.53 ^b	3.71 ^a	5.75 ^a	75.61 ^b
Esmeralda	89.66 ^a	2.31 ^a	13.29 ^a	1.62 ^b	5.39 ^a	77.39 ^a
Esperanza	89.27 ^b	2.32 ^a	12.76 ^b	1.75 ^b	5.69 ^a	77.45 ^a
DMS	0.32	0.70	0.44	0.80	1.22	1.28

***Letra diferente dentro de cada columna indica diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

El contenido de proteína en el grano de cebada es muy importante en el proceso de malteado, ya que determina en gran parte la calidad maltera y cervecera de las variedades, pues ésta es determinante para la formación y estabilidad de la espuma de la cerveza (Bobalova *et al.*, 2008). Del contenido de proteína total en el grano de cebada, alrededor del 50 % lo constituye la prolamina (hordeína) y el otro 50 % comprende fracciones de albuminas, globulinas y glutelinas (Fox, 2010). Se ha observado que la cantidad de proteína y carbohidratos en granos de cebada esta influenciada por factores genéticos y ambientales, así como por el manejo del cultivo, principalmente en lo relativo a la fertilización nitrogenada del cultivo (Dai *et al.*, 2007; Liben *et al.*, 2011; Tahir *et al.*, 2011).

La proteína en la cebada maltera tiene una compleja interacción con la calidad, por ejemplo, se ha observado que alto contenido de proteína no es deseable debido a la correlación negativa con el contenido de carbohidratos (almidón). Sin embargo, el bajo contenido de proteína afecta el rendimiento cervecero por la cantidad deficiente de aminoácidos para el crecimiento de la levadura (Fox, 2010; Schwarz y Li, 2011).

Por otra parte, los lípidos en cebada constituyen el 3 % del peso seco del grano según lo reporta Wunderlich y Back (2009). Eßlinger y Narziß (2012) indican que el contenido de grasa para cebada es de 2.3 % en base seca. Para el caso de las variedades analizadas, el contenido de grasa

varió entre 1.6 % y 3.7 %, siendo la variedad Esmeralda la de menor contenido de grasa comparado con Armida que registró el valor más alto (Cuadro 3.5).

En lo referente al contenido de fibra, la variedad Adabella presentó el mayor contenido (6.10 %) y la variedad Alina tuvo el menor valor (5.30 %), siguiendo en orden ascendente las variedades Esmeralda, Esperanza, y Armida (Cuadro 3.5). Lo anterior coincide con lo que reporta Wunderlich y Back (2009), quienes indican que la cantidad de fibra en granos de cebada es alrededor del 6 %. Otros autores han reportado que el contenido de fibra en cebada es de 4.5 % (Eßlinger y Narziß 2009).

La variación en el contenido de carbohidratos fue de 75.6 % a 77.5 %, siendo Armida la de menor valor y Esperanza la del mayor; en un punto intermedio estuvieron las variedades Alina, Adabella y Esmeralda con valores de 75.6, 77.0 y 77.4 %, respectivamente (Cuadro 3.5). Al respecto, Bramforth (2004) señala que el contenido de carbohidratos en el grano de cebada comprende del 78-83 % del peso seco del grano, siendo la variedad Esperanza la que más se acerca a los valores reportados.

Fox (2010) menciona que granos de cebada más pequeños generalmente tienen menos almidón, mientras que, los granos grandes tienden a presentar un aumento en los niveles de almidón. Lo anterior coincide con lo obtenido en este trabajo, ya que la variedad Esperanza fue la de mayor tamaño y también la que presentó el mayor contenido de carbohidratos.

3.3.3. Análisis de componentes principales

El resultado de un Análisis de Componentes Principales para las cinco variedades de cebada maltera indica que el CP1 (31.9 %), CP2 (21.4) y CP3 (17.2) explican el 70.5 % de la variación total (Cuadro 3.6). En el componente 1, las variables de mayor importancia y que más contribución tienen son: área, perímetro, longitud y proteína, mientras que P1000S, pureza y peso volumétrico lo son para el componente principal 2 (Cuadro 3.7).

Cuadro 3.6. Total de la varianza explicada para cada componente principal en las características del análisis físico y proximal de cinco variedades de cebada maltera.

Componente	Valores propios	Porcentaje de la varianza	Acumulado
1	4.787	0.319	0.319
2	3.213	0.214	0.533
3	2.576	0.172	0.705
4	1.545	0.103	0.808
5	1.206	0.080	0.889
6	0.810	0.054	0.943
7	0.432	0.029	0.971
8	0.194	0.013	0.984
9	0.096	0.006	0.991
10	0.086	0.006	0.996
11	0.048	0.003	1.000
12	0.007	0.001	1.000

Cuadro 3.7. Contribución a los tres primeros componentes principales del análisis físico y proximal de cinco variedades de cebada maltera.

VARIABLE	COMPONENTES		
	1	2	3
P1000S	0.120	0.411	0.246
Pureza	-0.030	0.503	0.055
Peso volumétrico	-0.043	-0.463	0.106
Área	0.400	0.101	0.149
Perímetro	0.356	0.164	-0.159
Longitud	0.369	0.187	-0.099
Ancho	0.284	-0.055	0.440
Factor forma	-0.190	-0.138	0.284
Materia seca	-0.316	-0.050	0.237
Cenizas	-0.056	-0.087	0.444
Proteína	0.354	-0.107	0.263
Grasa	-0.329	0.250	0.167
Fibra	-0.208	0.274	-0.211
Carbohidratos	0.191	-0.320	-0.395
Humedad	-0.163	0.093	-0.205

Al analizar la distribución de las variedades, a partir del Análisis de Componentes Principales, se observa una gran dispersión en todos los cuadrantes, reflejando que la variedad 5 (Esperanza) es la que presenta mayor tamaño de semilla y mayor contenido de proteína, mientras que Adabella es la variedad de semilla pequeña y con menor contenido de proteína. En los cuadrantes I y IV se ubicaron las variedades 3 (Armida) y 5 (Esperanza) que son las que tienen semillas más grandes y el P1000S también es mayor. En los cuadrantes II y III están ubicadas las variedades 2 (Alina) y 4 (Esmeralda) que son las que presentaron mayor peso volumétrico (Figura 3.2).

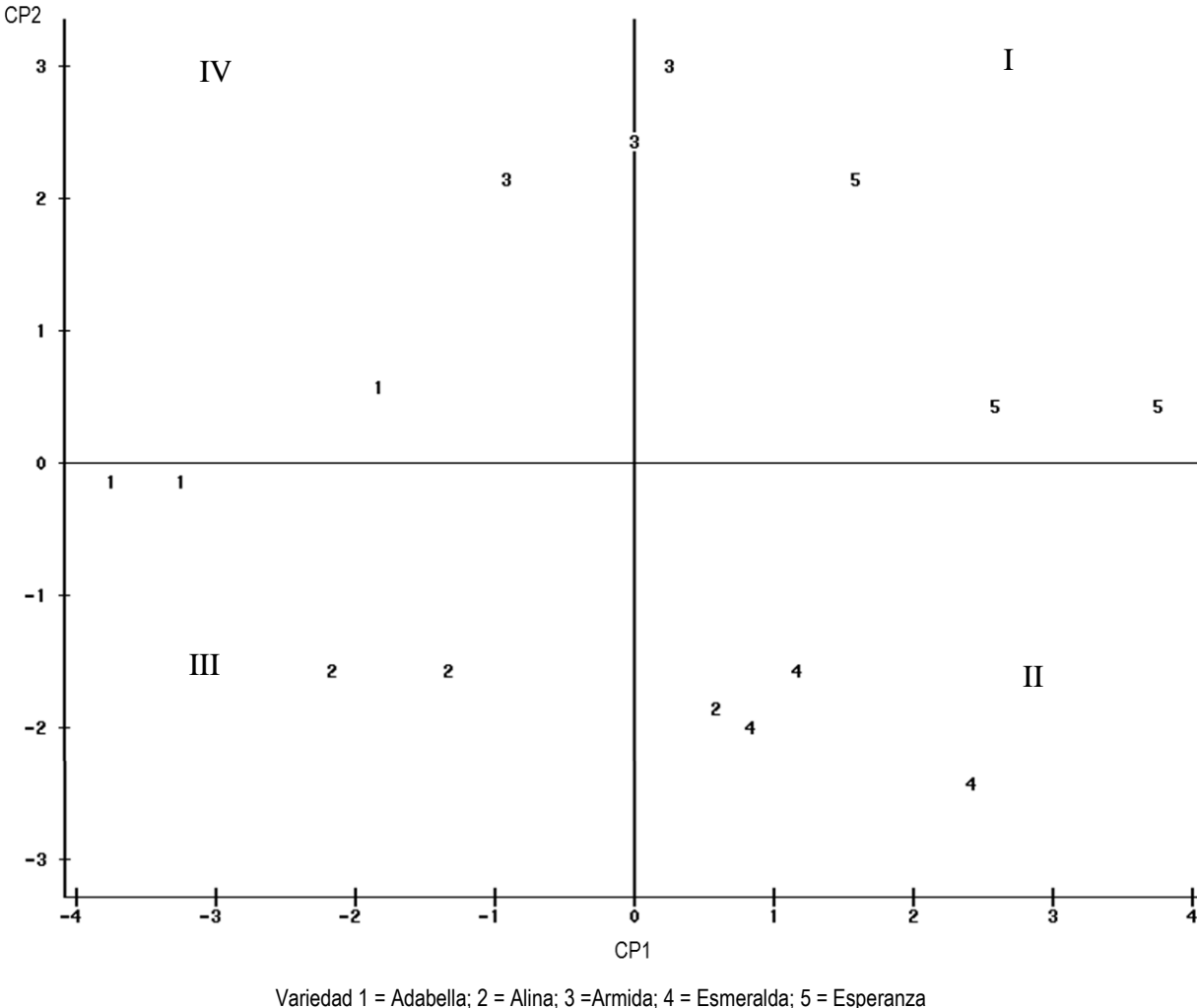


Figura 3.2. Distribución de las cinco variedades de cebada maltera a partir del Análisis de Componentes Principales (CP1 y CP2).

El análisis de varianza de los componentes principales indicó que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre variedades como se muestra en la Figura 3.2, observando tres grupos, el primero lo constituyen las variedades 3 y 5 que presentan similitudes en cuanto a dimensiones (área, perímetro y longitud), peso y volumen de las semillas. Estas variedades se caracterizan por tener semillas mayor peso y tamaño. Se observó otro grupo constituido por semillas de menor tamaño (área, perímetro y longitud) y peso que corresponden a las variedades 2 y 4. El tercer grupo lo constituyó la variedad 1, caracterizada por tener las semillas de menor tamaño que las otras variedades.

3.4. CONCLUSIONES

- Las características físicas de las semillas y la composición bioquímica son parámetros importantes para evaluar la calidad de la cebada cuando ésta se destina para malteo.
- Las variedades de cebada maltera, mostraron comportamiento diferente en cuanto a la calidad física y contenido bioquímico de las semillas.
- Esperanza fue la variedad de mayor área, perímetro y longitud de las semillas, también presentó el mayor contenido de carbohidratos, lo cual la ubica como la mejor variedad para elaboración de malta.
- La variedad Adabella presentó menores dimensiones de la semilla (área, perímetro, longitud y ancho) y también fue la de menor P1000S y menor contenido de proteína, mientras que las variedades Armida y Esperanza son las que presentaron mayores dimensiones de la semilla, lo que las ubica como adecuadas para la industria maltera desde el punto de vista físico.
- Con base en su mayor contenido de carbohidratos, Esmeralda y Esperanza son las variedades mas adecuadas para el proceso de malteo.

3.5. LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official Methods of Analysis. Gaithersburg, MA, USA. 930.15, 942.05, 954.01, 954.02, 962.09.
- Briggs, D. E., 2004. Brewing: Science and practice. Woodhead Publishing. Cambridge, GBR. 899 p.
- Bobalova, J., Salplachta, J., and Chmelik, J. 2008. Investigation of protein composition of barley by gel electrophoresis and MALDI mass spectrometry with regard to the malting and brewing process. Journal of the Institute of Brewing 114, 22-26.
- Borén, M., Glaring, M. A., Ghebremedhin, H., Olsson, H., Blennow, A., Jansson, C. 2008. Molecular and physicochemical characterization of the high-amylose barley mutant Amo1. Journal of Cereal Science 47, 79-89.
- Bramforth, C. W. 2004. Beer: Health and nutrition. Blackwell Science, Oxford, UK. 184 p.
- Dai, F., Wang, J., Zhang, S., Xu, Z. and Zhang, G. 2007. Genotypic and environmental variation in phytic acid content and its relation to protein content and malt quality in barley. Food Chemistry 105, 606-611.
- Dursun, İ., Tuğrul, K. M. and Dursun, E. 2007. Some physical properties of sugarbeet seed. Journal of Stored Products Research 43, 149-155.
- Eßlinger H. M. and Narziß, L. 2012. Beer. *In*: Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry. Vol 5. Wiley-VCH, Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. pp. 177- 221.
- Fastnaught, C. E. 2001. Barley Fiber. *In*: Handbook of dietary fiber. Dreher, M. L. and Cho, S. S. (eds.) CRC Press. pp. 1-24.
- Ferreira, I. M. P. L. V. O. 2009. Beer carbohydrates. *In*: Beer in Health and Disease Prevention. Preedy, V. R. (ed.) 1st. Edition. Academic Press. pp. 291-298.
- Fox, G. P., Kelly, A., Poulsen, D., Inkerman, A. and Henry, R. 2006. Selecting for increased barley grain size. Journal of Cereal Science 43, 198-208.
- Fox, G. P. 2010. Chemical composition in barley grains and malt quality. *In*: Genetics and improvement of barley malt quality. Zhang, G. and Li, C. (eds.) Zhejiang University Press. Hangzhou, China. pp. 63-98.
- García D. S. G. y Estrada G. A. 1999. Caracterización de frijol de la variedad Bayomex mediante descriptores agronómicos y análisis de imágenes de morfología de semillas. Revista Fitotecnia Mexicana 22, 63-74.

- Hough, J. S. 1990. Biotecnología de la cerveza y de la malta. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 185 p.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2005. International Rules for Seed Testing. Rules. 2005. ISTA Editions, Zurich, Switzerland. 243 p.
- Liben, M., Assefa, A. and Tadesse, T. 2011. Grain yield malting quality of barley in relation to nitrogen application at mid-and high altitude in Northwest Ethiopia. *Journal of Science and Development* 1, 75-88.
- Linskens, N. F. and Jackson, J. F. 1992. Seed analysis. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 380 p.
- Moreno M. E., 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F. 383 p.
- NMX-FF-043-SCFI-2003. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano –cereal- cebada maltera (*Hordeum vulgare* L. y *Hordeum distichum* L.). Especificaciones y métodos de prueba.
- Psota, V., Vejřázka, K., Faměra, O. and Hřčka, M. 2007. Relationship between grain hardness and malting quality of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of the Institute of Brewing* 113 (1), 80-86.
- Ramírez, P. J. F., Zamora, D. M., Márquez, C. L. A., Ibañez, C. A. M. 1997. Esperanza variedad de cebada maltera para el Bajío. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional del Centro Campo Experimental El Bajío. México, D.F. Boletín Técnico Num. 1. 20 p.
- Reed, S. M. 2005. Effect of storage temperature and seed moisture on germination of stored flowering dogwood seed. *Journal of Environmental Horticulture* 23, 29-32.
- Riahi, E. and Ramaswamy, H. S. 2003. Structure and composition of cereal grains and legumes. *In: Handbook of Postharvest Technology: Cereals, Fruits, Vegetables, Tea and Spices*. Ramaswamy, H. S., Vijaya, G. S., Chakraverty, A., Mujumdar, A. S. (eds.) New York, USA pp 1-16.
- Rotundo, J. L., Borrás, L. and Westgate, M. E. 2011. Linking assimilate supply and seed developmental process that determine soybean seed composition. *European Journal of Agronomy* 35, 184-191.
- SAGARPA. 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). www.siap.gob.mx. Consultado el 11 de Octubre del 2012.
- SAS Institute. 2002. Statistical Analysis System Version 9.0. North Carolina, USA.

- Schwarz, P. and Li, Y. 2011. Malting and brewing uses of barley. *In: Barley: production, improvement, and uses.* Ullrich, S. E. (ed.) Blackwell Publishing Ltd. Iowa, USA. pp. 478-521.
- Solano, H. S., Zamora, D. M., Gámez, V. F.P., García, R. J. J., Sánchez, C. R., Ireta, M. J., Díaz, E. F., Garza, G. R. 2009. Alina, nueva variedad de cebada maltera para riego en el Bajío. *Agricultura Técnica en México* 35, 471-473.
- Tahir, M., Vandenberg, A. and Chibbar, R. N. 2011. Influence of environment on seed soluble carbohydrates in select lentil cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* 24, 596-602.
- Wunderlich, S. and W. Back. 2009. Overview of manufacturing beer: ingredients, processes and quality criteria. Part I. General aspects of beer and constituents. *In: Beer in Health and Disease Prevention.* Preedy, V. R. (ed.) 1st. Edition. Academic Press. California, USA. pp. 1-16.
- Zamora, D. M., Solano, H. S., Gómez, M. R., Rojas, M. I., Ireta, M. J., Garza, G. R., Ortiz, T. C. 2008. Adabella: variedad de cebada maltera para valles altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México* 3, 491-493.
- Zamora, D. M., Solano, H. S., Garza, G. R., Islas, G. J., Huerta, Z. R., López, C. M. 2010. Armida, nueva variedad de cebada maltera para riego en el Bajío. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1, 723-726.
- Zamora, D. M., Márquez, C. L. A., Ramírez P. F., Ibañez, C. A. M. 1997. Esmeralda Variedad de Cebada Maltera para los Valles Altos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional del Centro Campo Experimental Valle de México. *Boletín Técnico* Num. 5. México, D.F. 20 p.

CAPÍTULO IV. COMPORTAMIENTO DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE CEBADA MALTERA ALMACENADA EN DIFERENTE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y TIPOS DE ENVASE

RESUMEN

Las condiciones de almacenamiento de semillas de cebada maltera antes de su utilización en la industria maltera, influyen en la capacidad de germinación de las semillas. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los cambios en la germinación de semillas de cinco variedades de cebada maltera bajo tres diferentes condiciones de almacenamiento en términos de temperatura y humedad relativa: (1) = 20.5 °C - 90 % HR, (2) = 20.1 °C - 47 % HR y (3) = 4.5 °C - 78 % HR, respectivamente y cuatro tipos de envases. Las variables evaluadas de contenido de humedad, porcentaje de germinación, longitud y peso seco de plántula resultaron significativas ($p \leq 0.05$) para cada ambiente, variedad y tipo de envase. El porcentaje de germinación en las variedades Adabella, Alina y Esperanza después de diez meses de almacenamiento fue de 93 %, 92 % y 91 %, respectivamente, mientras que para Armida y Esmeralda fue de 82% y 83 %. En promedio, se tuvo una germinación de 63 %, 92 % y 99 % para los ambientes 1, 2 y 3. Utilizando envases permeables a la humedad, la germinación disminuyó de 97 % a 71-77 % después del periodo de almacenamiento, mientras que con los envases semi-permeables e impermeables la germinación se mantuvo en 97 % durante los diez meses de almacenamiento.

Palabras clave: *Hordeum vulgare* L., almacenamiento, temperatura, humedad relativa, germinación.

4.1. INTRODUCCIÓN

La cebada es uno de los cultivos más antiguos y ha desempeñado un papel importante en el desarrollo de la agricultura, las civilizaciones, la cultura y las ciencias como la agronomía, fisiología y genética, y en la producción de malta y cerveza (Ullrich, 2011).

La importancia que ha adquirido la cebada es debido a su uso en la producción de malta y al mismo tiempo, en la elaboración de cerveza, siendo el malteado un paso básico para este fin. El malteado es un proceso de germinación controlada seguido de un secado. La germinación durante este proceso, permite la formación o activación de las enzimas y modificación de la estructura del endospermo, precedido por la absorción de agua durante el remojo; el agua inicialmente entra por el embrión y más tarde se difunde en el endospermo (Schwarz y Li, 2011).

La germinación es un paso importante en la producción de malta y la semilla de cebada maltera debe ser viable y con alta capacidad para germinar (Armitage *et al.*, 2004). Existen factores que afectan la capacidad que tienen las semillas para germinar, entre ellos y los más importantes son la humedad relativa y la temperatura. Los efectos de la humedad relativa (y sus subsecuentes efectos en el contenido de humedad de las semillas) y temperatura del ambiente de almacenamiento son altamente interdependientes. La mayoría de las semillas pierden su viabilidad a humedad relativa cercanas al 80 % y temperaturas de 25 a 30 °C, pero pueden mantenerse viables 10 años o más a humedades de 50 % o menos y a una temperatura de 5 °C o menos (Nagel y Börner, 2010; Copeland y McDonald, 2001).

El contenido de humedad de equilibrio de las semillas es importante para evaluar los cambios dinámicos de la absorción o desorción de humedad en las semillas (Wang *et al.*, 2010). Estos cambios determinan en gran medida su longevidad en diferentes condiciones de almacenamiento; una alta humedad relativa se vincula con un incremento en el contenido de humedad de las semillas y por consiguiente, con un aumento en los procesos metabólicos y bioquímicos en las semillas, lo que conlleva a su deterioro (Copeland y McDonald, 2001). Los parámetros de deterioro de las semillas incluyen la germinación, contenido de humedad, presencia de hongos, insectos, etc. Generalmente, la velocidad de germinación disminuye con un incremento en el contenido de humedad, temperatura y el periodo de almacenamiento (Nithya *et al.*, 2011).

En cuanto al almacenamiento y conservación de la semilla de cebada maltera, el principal problema reside en mantener su capacidad para germinar, ya que las semillas que no germinen no pueden convertirse en malta. La semilla de cebada maltera que presente disminución en su poder germinativo pierde su valor para la industria maltera y puede ser comercializada principalmente como forraje (NMX-FF-043-SCFI-2003; Prieto *et al.*, 2011).

El requerimiento de calidad de cebada maltera en países europeos con respecto a la germinación es un mínimo del 95 % (Armitage *et al.*, 2004). En México, la norma mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, establece que la cebada maltera grado México debe tener una germinación mínima del 85 %, por lo que es indispensable conservar la calidad de la cebada maltera, sobre todo en periodos de almacenamiento prolongado, de manera que el porcentaje de germinación no sea menor al límite permitido por la norma.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar las condiciones apropiadas de manejo (humedad, temperatura y tipo de envase) durante el almacenamiento de las semillas de cinco variedades de cebada maltera para preservar su poder germinativo.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1. Material genético

Se utilizó semilla de cebada maltera de la variedad Adabella, Alina, Armida, Esmeralda y Esperanza, producidas durante el ciclo agrícola otoño-invierno del 2010 en la región del Bajío. El material biológico fue proporcionado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y constó de 12 kg de semilla de cada variedad.

La descripción del origen genético y las características agronómicas de cada una de las variedades utilizadas se presenta en el Capítulo III.

4.2.2. Ambientes de almacenamiento

Con la finalidad de tener diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura durante los diez meses de evaluación, se establecieron tres ambientes de almacenamiento (Cuadro 4.1). El primer ambiente se generó artificialmente y se ubicó en Texcoco, Estado de México, bajo condiciones de temperatura ambiente y alta humedad relativa; para ello, se utilizó una caja de plástico cerrada herméticamente, dentro de la cual se agregó una solución saturada de sal común, de acuerdo a la metodología utilizada por Brenes (2007). En la base del recipiente se colocó una malla de alambre y encima de ésta se colocaron los envases con la semilla de las variedades de cebada maltera, de manera aleatoria. Bajo estas condiciones se generó una atmósfera de saturación de 90 % de humedad relativa y una temperatura de 20.5 °C (Cuadro 4.1). El segundo y tercer ambiente se ubicaron en el Campo Experimental del INIFAP Bajío ubicado en Celaya, Gto., correspondiendo a una Bodega en condiciones naturales y una Cámara Fría, respectivamente. La temperatura y humedad relativa de estos ambientes fue monitoreada utilizando sensores "HOBOS" programados para tomar lecturas cada cuatro horas para obtener después el promedio.

Cuadro 4.1. Condiciones de temperatura y humedad relativa promedio en los ambientes de almacenamiento evaluados.

Ambiente	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Texcoco (1)	20.5	90
Bodega (2)	20.1	47
Cámara Fría (3)	4.5	78

4.2.3. Envases de almacenamiento

En el presente experimento se utilizaron cuatro tipos de envases con capacidad para 250 g de semilla de cebada maltera, los cuales difieren en el material de fabricación: costales de yute (1), bolsas de papel (2), frascos de plástico (3) y frascos de vidrio (4). Estos se eligieron con la finalidad de encontrar el que fuera más resistente a la humedad relativa.

4.2.4. Establecimiento y conducción del experimento

De los 12 kg de semilla de cebada maltera por variedad proporcionados, se homogeneizaron y pesaron al azar 48 muestras de 250 g cada una, las cuales se colocaron en los cuatro tipos de envase con cuatro repeticiones por envase para los tres ambientes de almacenamiento. Esto se realizó para cada variedad, teniendo un total de 240 unidades experimentales, las cuales se aleatorizaron para colocarlas en cada ambiente, donde permanecieron almacenadas durante diez meses de evaluación, periodo que comprendió de los meses de Diciembre del 2010 a Octubre de 2011.

4.2.5. Diseño experimental

El experimento se realizó bajo un diseño experimental factorial completamente al azar, con tres factores de estudio, que resultaron de la combinación de tres ambientes de almacenamiento, cinco variedades de cebada maltera y cuatro tipos de envases dando un total de 60 tratamientos, con cuatro repeticiones por tratamiento. Cada envase con 250 g de semilla formó una unidad experimental.

4.2.6. Variables evaluadas

Antes y durante el periodo de almacenamiento se evaluó la calidad fisiológica de la semilla de cebada maltera cada cinco meses, realizando tres evaluaciones o muestreos (Diciembre, Mayo y Octubre). En cada fecha de evaluación, se determinó el contenido de humedad de las semillas y se realizó la prueba de germinación estándar.

Contenido de Humedad (CH). Se determinó por el método de la estufa a 130 ° C por dos horas, con dos repeticiones por tratamiento; se usaron cajas de aluminio con tapa, dentro de las cuales se colocaron 4 - 5 gramos de semilla de cebada entera, obteniendo su peso húmedo y seco, antes y después del secado, respectivamente. El resultado se calculó mediante la siguiente ecuación y se reportó en porcentaje.

$$\% \text{ de Humedad (con base en peso húmedo)} = \left[\frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \right] \times 100$$

En donde:

P_1 = Peso de la caja y su tapa (g)

P_2 = Peso de la caja, tapa y semilla (g)

P_3 = Peso de la caja, tapa y semilla después del secado en la estufa (g)

Prueba de germinación (PG). Se realizó de acuerdo con las recomendaciones de ISTA (2005) para semilla de cebada, excepto que se utilizaron cuatro repeticiones de 25 semillas por unidad experimental, utilizando el método "entre papel" enrollado en forma de "taco". Los rollos que contenían las semillas se colocaron en una bolsa de plástico y enseguida en un cuarto de germinación, donde la temperatura fue de 20 °C. Siete días después de iniciada la prueba se evaluó el porcentaje de germinación (PG).

Longitud de plántula (LP). Se tomaron al azar 20 plántulas normales de cada repetición, a las cuales se les midió la longitud de la parte aérea (del cuello de la plántula hasta el ápice de la hoja más larga) y de la raíz (del cuello de la plántula hasta el ápice de la raíz principal) en cm.

Peso seco de plántula (PS). El peso seco (g) de las plántulas se obtuvo del total de las plántulas normales por repetición, separando la parte aérea de la raíz, después de secadas en la estufa a 70 ° C durante 72 h.

4.2.7. Análisis estadístico

El análisis de los datos se hizo usando el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2002), previa transformación de los datos con la función arcoseno, mediante análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05) para aquellas variables e interacciones que mostraron diferencias significativas.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1. Ambientes de almacenamiento

Se observaron efectos significativos ($p \leq 0.05$) para los tres ambientes en cada una de las variables evaluadas, después de cinco y diez meses de almacenamiento (Cuadro 4.2).

El contenido de humedad inicial de la semilla fue de 10.32 % y a los cinco meses de almacenamiento aumentó en el ambiente Texcoco donde la humedad relativa fue mayor, en cambio en la Bodega que registró en promedio una humedad relativa del 47 %, el contenido de humedad de las semillas descendió a 7.64 % y 9.91 % a los cinco y diez meses de almacenamiento, respectivamente (Cuadro 4.3). Con lo anterior se confirma que el contenido de humedad de las semillas aumenta o disminuye dependiendo de las condiciones ambientales del lugar, es decir, a mayor humedad relativa aumentará también el contenido de humedad de las semillas, lo que se debe principalmente a las propiedades higroscópicas de las semillas de perder y ganar humedad llegando a un equilibrio con el ambiente que la rodea (Copeland y McDonald, 2001; Moreno, 1984). Al respecto Wang *et al.* (2010) mencionan que la temperatura también influye en el contenido de humedad de las semillas a una humedad relativa dada; en semillas de algodón se reportó que el contenido de humedad se incrementó con un aumento de la humedad relativa bajo una misma temperatura de almacenamiento, mientras que hubo una disminución en el contenido de humedad de las semillas, cuando aumento la temperatura de almacenamiento bajo el mismo contenido de humedad inicial.

Cuadro 4.2. Cuadrados medios para las variables evaluadas en la prueba de germinación a los cero, cinco y diez meses de almacenamiento.

FV	A L M A C E N A M I E N T O							A L M A C E N T O													
	0 Meses							5 Meses							10 Meses						
	GL	CH	PG	LA	LR	PSA	PSR	GL	CH	PG	LA	LR	PSA	PSR	CH	PG	LA	LR	PSA	PSR	
A	-	-	-	-	-	-	-	2	388.11*	3564.73*	23.37*	1195.81*	31.84*	3.32*	258.51*	85616.83*	104.40*	41.60*	95.56*	37.37*	
V	4	0.094*	19.30*	5.81*	3.98 ^{ns}	2.00 ^{ns}	6.20*	4	7.04*	1874.26*	14.43*	10.06*	6.65*	11.56*	27.51*	4178.47*	5.85 ^{ns}	3.05 ^{ns}	3.43 ^{ns}	11.76*	
E	-	-	-	-	-	-	-	3	249.90*	6664.77*	17.75*	337.66*	14.28*	3.88*	358.60*	38350.72*	70.21*	36.82*	25.73*	11.79*	
A x V	-	-	-	-	-	-	-	14	58.40*	1662.52*	8.25*	175.74*	7.25*	4.78*	46.39*	14500.33*	18.68*	8.80*	15.92*	10.89*	
A x E	-	-	-	-	-	-	-	11	190.05*	5831.25*	20.65*	502.28*	12.01*	3.98*	202.60*	41042.73*	105.81*	30.25*	50.62*	15.49*	
V x E	-	-	-	-	-	-	-	19	41.24*	1692.16*	8.42*	56.05*	4.00*	3.23*	63.30*	7530.79*	14.23*	10.07*	6.69*	6.05*	
AxVxE	-	-	-	-	-	-	-	59	36.44*	1634.63*	6.96*	95.51*	3.27*	2.26*	40.71*	8542.14*	22.39*	9.87*	11.60*	5.78*	
C.V. (%)		0.87	2.07	4.53	7.62	8.94	10.53		6.85	10.78	5.31	3.71	2.82	3.63	3.63	12.43	8.28	9.11	9.10	10.12	

* = significativo al 0.05; ns = no significativo

FV = Factor de variación; GL = Grados de libertad; C.V. = Coeficiente de variación; A = Ambiente; V = Variedad; E = Envase; CH = Contenido de humedad (%); PG = Porcentaje de germinación (%); LA = Longitud de parte aérea (cm); LR = Longitud de raíz (cm); PSA = Peso seco de parte aérea (mg); PSR = Peso seco de la raíz (mg);

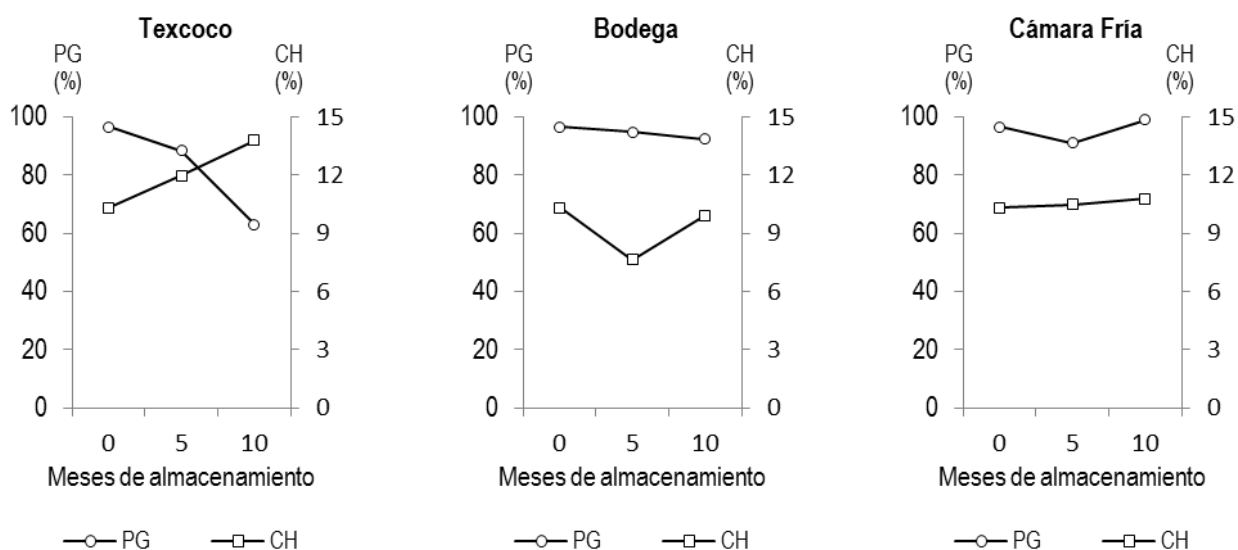
Cuadro 4.3. Comparación de medias de las variables evaluadas en la prueba de germinación a los cero, cinco y diez meses de almacenamiento.

	A L M A C E N A M I E N T O																	
	0 Meses						5 Meses						10 Meses					
	CH	PG	LA	LR	PSA	PSR	CH	PG	LA	LR	PSA	PSR	CH	PG	LA	LR	PSA	PSR
AMBIENTE																		
Texcoco	-	-	-	-	-	-	11.97 ^a	88.45 ^c	18.48 ^b	11.88 ^c	10.30 ^a	6.93 ^a	13.79 ^a	62.99 ^c	14.53 ^c	11.66 ^b	7.92 ^b	6.51 ^b
Bodega	-	-	-	-	-	-	7.64 ^c	94.75 ^a	19.17 ^a	20.68 ^a	9.01 ^c	6.57 ^b	9.91 ^c	92.48 ^b	17.45 ^a	12.90 ^a	9.72 ^a	6.96 ^b
Cámara Fría	-	-	-	-	-	-	10.50 ^b	91.18 ^b	18.11 ^b	12.34 ^b	9.78 ^b	6.70 ^b	10.80 ^b	99.12 ^a	16.04 ^b	13.23 ^a	9.87 ^a	7.73 ^a
DMS	-	-	-	-	-	-	0.26	1.46	0.37	0.31	0.19	0.20	0.27	1.62	0.73	0.71	0.60	0.58
VARIEDAD																		
Adabella	10.50 ^a	98.50 ^{ab}	17.90 ^a	16.48 ^a	10.50 ^a	8.75 ^b	9.94 ^b	94.62 ^a	18.21 ^{bc}	13.95 ^c	9.13 ^c	6.05 ^c	10.76 ^c	93.00 ^a	16.30 ^a	12.33 ^a	8.95 ^a	6.47 ^b
Alina	10.50 ^a	94.25 ^b	16.28 ^{ab}	17.38 ^a	9.50 ^a	9.50 ^{ab}	9.74 ^b	91.72 ^b	19.00 ^a	14.42 ^{bc}	9.90 ^a	6.87 ^{ab}	10.78 ^c	92.39 ^a	16.63 ^a	12.94 ^a	9.51 ^a	7.28 ^a
Armida	10.40 ^a	99.00 ^a	17.43 ^a	19.15 ^a	10.50 ^a	11.75 ^a	9.63 ^b	87.87 ^c	19.16 ^a	14.99 ^{ab}	10.10 ^a	7.05 ^a	11.04 ^c	82.33 ^b	15.63 ^a	12.33 ^a	9.02 ^a	7.32 ^a
Esmeralda	10.00 ^b	96.50 ^{ab}	16.65 ^a	18.28 ^a	10.50 ^a	10.75 ^{ab}	10.41 ^a	88.91 ^c	18.70 ^{ab}	15.19 ^a	9.86 ^a	6.63 ^b	12.62 ^a	82.92 ^b	15.75 ^a	12.49 ^a	8.92 ^a	6.75 ^{ab}
Esperanza	10.20 ^{ab}	94.50 ^{ab}	14.78 ^b	17.83 ^a	9.00 ^a	11.25 ^a	10.47 ^a	94.12 ^a	17.85 ^c	15.28 ^a	9.49 ^b	7.09 ^a	12.08 ^b	91.14 ^a	15.66 ^a	12.88 ^a	9.38 ^a	7.51 ^a
DMS	0.36	4.36	1.64	2.97	1.95	2.39	0.39	2.20	0.56	0.47	0.29	0.31	0.40	2.44	1.10	1.07	0.90	0.88
ENVASE																		
Costal de yute	-	-	-	-	-	-	11.95 ^a	90.99 ^c	19.32 ^a	12.38 ^c	9.48 ^c	6.75 ^b	14.25 ^a	71.49 ^c	14.28 ^c	11.49 ^c	8.30 ^b	6.57 ^b
Bolsa de papel	-	-	-	-	-	-	11.63 ^a	84.06 ^d	18.49 ^b	18.09 ^a	9.14 ^d	6.61 ^b	13.35 ^b	77.06 ^b	15.54 ^b	12.29 ^{bc}	9.01 ^{ab}	6.92 ^{ab}
Frasco de plástico	-	-	-	-	-	-	8.56 ^b	96.46 ^a	18.53 ^b	12.33 ^c	10.31 ^a	7.03 ^a	10.07 ^c	97.29 ^a	17.00 ^a	13.14 ^{ab}	9.58 ^a	7.36 ^a
Frasco de vidrio	-	-	-	-	-	-	8.01 ^c	93.01 ^b	18.01 ^c	16.62 ^b	9.85 ^b	6.53 ^b	8.54 ^d	96.99 ^a	17.22 ^a	13.50 ^a	9.74 ^a	7.40 ^a
DMS	-	-	-	-	-	-	0.33	1.85	0.47	0.40	0.24	0.26	0.34	2.06	0.92	0.90	0.76	0.74

***Letra diferente dentro de cada columna indica diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$)

CH = Contenido de humedad (%); PG = Porcentaje de germinación (%); LA = Longitud de parte aérea (cm); LR = Longitud de raíz (cm); PSA = Peso seco de parte aérea (mg); PSR = Peso seco de la raíz (mg)

En relación al porcentaje de germinación, en la Figura 4.1 se observa que en el ambiente Texcoco donde se tuvo la mayor humedad relativa (90 %), el porcentaje de germinación disminuyó considerablemente, teniendo valores del 96.6, 88.5 y 63.0 %, a los cero, cinco y diez meses de almacenamiento, respectivamente. Cabe mencionar que el ambiente de Cámara Fría y Bodega fueron los que mantuvieron el máximo porcentaje de germinación después de diez meses de almacenamiento, con valores de 99.1 % en la cámara y 92.5 % en la bodega (Cuadro 4.3). En estudios realizados por Nithya *et al.* (2011) señalan que el contenido de humedad, la temperatura y el periodo de almacenamiento afectan la germinación en trigo y concluyen que semillas con un contenido de humedad del 15-16 % se puede almacenar durante 12 semanas sin ninguna pérdida de calidad a 10 y 20 °C. Muestras con la misma humedad si se almacenan a 30 °C mantendrán su calidad por cuatro semanas. Si aumenta el contenido de humedad y la temperatura de almacenamiento, el poder germinativo de las semillas se ve afectado en poco tiempo. Por otro lado, Weinberg *et al.* (2008) señalan que la capacidad de germinación de semillas de maíz se vio afectada por un incremento en el contenido de humedad.



Texcoco = 20.5 °C y 90 % HR; Bodega = 20.1 °C y 47 % HR; Cámara Fría = 4.5 °C y 78 % HR

Figura 4.1. Relación de la germinación (PG) con el contenido de humedad (CH) de semillas de cebada maltera almacenada en tres ambientes con diferente temperatura y humedad relativa.

En la Figura 4.1 se observa que en el ambiente con alta humedad relativa (Texcoco) se incrementó el contenido de humedad de las semillas a los cinco y diez meses de almacenamiento y como consecuencia el porcentaje de germinación disminuyó considerablemente, mientras que en la Bodega, el contenido de humedad de las semillas no fue mayor del 10 % después de los diez meses de almacenamiento y por lo tanto, el porcentaje de germinación no disminuyó de manera significativa. En el ambiente de la cámara fría, la humedad relativa (78 %) no afectó el contenido de humedad de las semillas ni el porcentaje de germinación, debido a la baja temperatura del ambiente que fue de 4.5 °C. La temperatura tiene gran influencia sobre el deterioro de las semillas tal como lo señala Ghasemnezhad y Honermeier (2009) quienes observaron una reducción en la germinación de semillas de girasol después de tres meses de almacenamiento en condiciones de alta temperatura; del mismo estudio dichos autores mencionan que algunas variedades de semillas de girasol almacenadas en condiciones de baja temperatura tuvieron el menor porcentaje de germinación, de lo cual concluyen que la temperatura y tiempo de almacenamiento influyen negativamente en la viabilidad de las semillas. Lo anterior no coincide con lo que se obtuvo en la presente investigación ya que temperaturas de 4.5 °C tuvieron el mayor porcentaje de germinación después de diez meses de almacenamiento, independientemente de que en ese ambiente se tuvo una humedad relativa del 78 %. En el mismo contexto, Reed (2005) encontró que a temperatura ambiente (22 °C) y un contenido de humedad mayor a 10 % en semillas de *Cornus florida* el porcentaje de germinación es de 0 % después de un año de almacenamiento.

4.3.2. Variedades

Los resultados muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el contenido de humedad, porcentaje de germinación, longitud de parte aérea y peso seco de raíz a los cero meses de almacenamiento. Después de cinco meses de almacenamiento, se observaron diferencias significativas en todas las variables evaluadas. A los diez meses de almacenamiento, se observaron diferencias significativas en el contenido de humedad, porcentaje de germinación y peso seco de raíz, mientras que en la longitud de parte aérea y raíz, así como en peso seco de parte aérea no existieron diferencias significativas para las variedades analizadas en este periodo de almacenamiento (Cuadro 4.2).

A los cero meses de almacenamiento, el contenido de humedad para las variedades Adabella y Alina fue de 10.5 % mientras que Armida, Esperanza y Esmeralda tuvieron valores respectivos de 10.4, 10.2 y 10.0 %. Cabe mencionar que a los cinco meses de almacenamiento, el contenido de humedad de la semilla disminuyó en las variedades Adabella, Alina y Armida mostrando valores de 9.9, 9.7 % y 9.6 %, respectivamente, mientras que en las variedades Esmeralda y Esperanza aumento a 10.4 y 10.5 %. Después de diez meses de almacenamiento, el contenido de humedad en todas las variedades aumentó, teniendo valores de 10.8, 10.8, 11.0, 12.6 y 12.1 % para Adabella, Alina, Armida, Esmeralda y Esperanza (Cuadro 4.3). Las semillas de cada una de las variedades absorbieron humedad con ciertas diferencias en el porcentaje, con lo que se confirma que el aumento en el contenido de humedad de las semillas está en función de la capacidad higroscópica propia de las semillas, ya que estuvieron expuestas a las mismas condiciones de humedad relativa y periodo de almacenamiento. Al respecto, Shelar *et al.* (2008) señalan que las semillas absorben o pierden humedad hasta que la presión de vapor en el interior de las semillas llega a un equilibrio con la humedad atmosférica.

En lo referente al porcentaje de germinación inicial, se tuvieron datos de 98.5 %, 94.3 %, 99.0 %, 96.5 % y 94.5 % para las variedades Adabella, Alina, Armida, Esmeralda y Esperanza, mientras que a los cinco meses de almacenamiento, Armida y Esmeralda presentaron los valores más bajos que fueron de 87.9 % y 88.9 %, respectivamente, siendo Adabella (94.6 %) y Esperanza (94.1 %) las que presentaron el mayor valor. Considerando el porcentaje de germinación inicial y la germinación a los diez meses de almacenamiento es importante mencionar que Armida y Esmeralda disminuyeron el porcentaje de germinación en un 16.7 % y 13.6 %, mientras que en las variedades Adabella, Alina y Esmeralda, esta disminución se presentó en menor grado, con datos respectivos de 5.5 %, 1.9 % y 3.4 % (Cuadro 4.3). De lo anterior destaca que las variedades de cebada maltera analizadas tienen diferente respuesta a las condiciones adversas de almacenamiento, siendo Armida y Esmeralda en las que su poder germinativo se ve más afectado por un aumento de la humedad relativa y la temperatura.

En la Figura 4.2 se observa que el menor porcentaje de germinación se presentó en las variedades Armida y Esmeralda, lo anterior aunado a un incremento en el contenido de humedad de las semillas. En las variedades Adabella, Alina y Esperanza no hubo tal efecto entre el contenido de humedad y el porcentaje de germinación. En este contexto, Shelar *et al.* (2008) reportan que el

aumento en el contenido de humedad de semillas de soya está relacionado con la pérdida de la germinación.

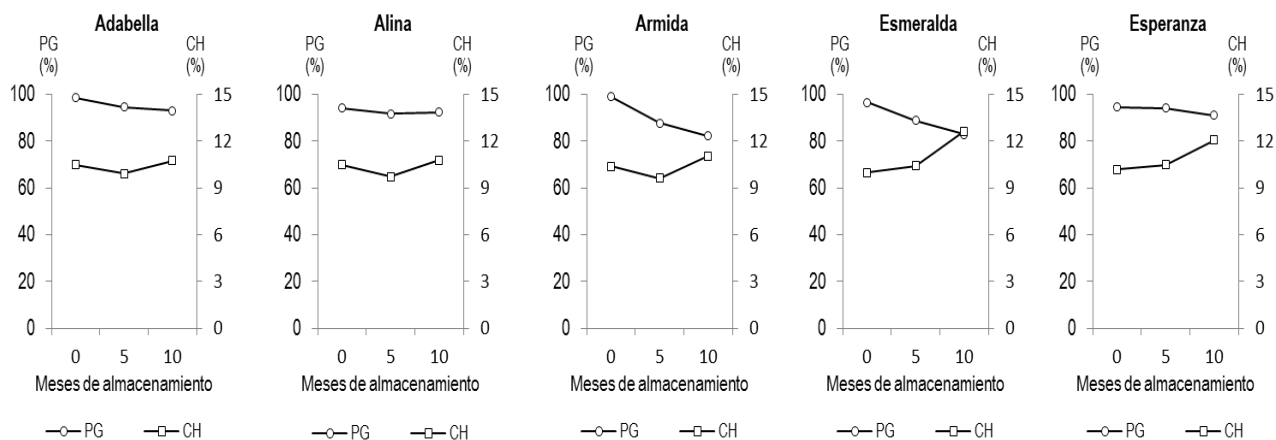


Figura 4.2. Relación de la germinación (PG) con el contenido de humedad (CH) de cinco variedades de cebada maltera almacenada durante diez meses.

4.3.3. Tipos de envases

En el Cuadro 4.2, se observa que el efecto de los envases fue significativo ($p \leq 0.05$) en todas las variables evaluadas, después de cinco y diez meses de almacenamiento.

El contenido de humedad inicial de las semillas fue de 10.32 %, presentando un aumento de esta variable hasta del 11.95 % y 11.63 % a los cinco meses de almacenamiento en los envases permeables que fueron Costal de yute y Bolsa de papel, respectivamente, mientras que en los Frascos de plástico y vidrio el porcentaje de humedad disminuyó a 8.56 % y 8.01 % (Cuadro 4.3). Con lo anterior se confirma que los envases juegan un papel importante durante el almacenamiento de semillas, ya que en envases permeables a la humedad como los costales de yute o bolsas de papel, el contenido de humedad de las semillas aumentó conforme se prolongó el tiempo de almacenamiento, lo cual favoreció la actividad metabólica de hongos que conllevan al deterioro de las semillas, afectando su viabilidad (Copeland y McDonald, 2001).

A los diez meses de almacenamiento, el contenido de humedad presentó los valores más altos de 14.3 % y 13.4 % en los envases permeables de costal y papel. Para el mismo periodo de almacenamiento, los frascos de plástico y vidrio mantuvieron un contenido de humedad del 10.1 % y 8.5 % (Cuadro 4.3).

En los envases permeables costal de yute y bolsa de papel hubo un incremento del contenido de humedad de las semillas del 3.9 % y 3.0 %, respectivamente, desde los cero meses a los diez meses de almacenamiento. De lo anterior es posible afirmar que en este tipo de envases el deterioro de las semillas será mayor debido a que el contenido de humedad de las semillas está en función de las condiciones ambientales que prevalecen, principalmente la humedad relativa.

En los frascos de plástico se observó un decremento del contenido de humedad de 1.8 % de los cero a cinco meses de almacenamiento, mientras que de los cinco a los diez meses de almacenamiento se presentó un incremento de 1.5 %. Lo anterior podría deberse a que los frascos de plástico no son totalmente impermeables a la humedad.

Los frascos de vidrio mantuvieron un menor contenido de humedad de las semillas, lo que explica porque este tipo de envases mantienen la viabilidad de las semillas por largos periodos de tiempo, ya que al ser impermeables a la humedad relativa, ésta no influye en el contenido de humedad de las semillas y por consiguiente en el deterioro de las mismas. Al respecto, Guberac *et al.* (2003) sugieren el almacenamiento de semillas de cebada, trigo y maíz en recipientes de vidrio bajo condiciones controladas de humedad y temperatura para preservar un alto porcentaje de germinación en estos cereales.

En lo referente al porcentaje de germinación se observó que en los envases permeables costal y papel disminuyó de 96.6 % a 90.99 % y 84.06 %, respectivamente, a los cinco meses de almacenamiento, mientras que en los frascos de plástico y vidrio el porcentaje de germinación disminuyó de manera respectiva para cada envase de 96.6 % a 96.46 % y 93.01 % (Cuadro 4.3). Rao *et al.* (2006) señalan que para mantener la capacidad de germinación de las semillas y mejorar su capacidad de almacenamiento es necesario el uso de recipientes sellados herméticamente, uso de desecantes para disminuir el contenido de humedad y el uso de bajas temperaturas, que no afecten los procesos fisiológicos y bioquímicos de las semillas. En su estudio observaron que las semillas de cebolla almacenadas con un contenido de humedad del 6 % y en envases herméticos, conservaron una viabilidad satisfactoria hasta por un año.

En cebada maltera, a los diez meses de almacenamiento, el porcentaje de germinación fue de 71.49, 77.06, 97.29 y 96.99 % en los costales de yute, bolsas de papel, frascos de plástico y vidrio,

respectivamente (Cuadro 4.3). Cabe mencionar que los envases permeables (costal de yute y bolsas de papel) fueron los que presentaron el menor porcentaje de germinación (menores a 80 %), lo que de acuerdo a varios autores no es aceptable para el proceso de malteado porque se tendrían problemas de baja eficiencia enzimática (Barreiro *et al.*, 2003), además de que estarían fuera de la norma. En este tipo de envases permeables a la humedad las semillas quedan expuestas a las condiciones del ambiente y cuando se tiene alta humedad relativa, aumenta el contenido de humedad en las semillas lo que conlleva a su deterioro y pérdida de la calidad fisiológica.

Por otro lado, en los envases permeables a la humedad (costal de yute y bolsa de papel), el contenido de humedad de las semillas aumentó durante los meses de almacenamiento, mientras que el porcentaje de germinación disminuyó (Figura 4.3). En contraste, el contenido de humedad de las semillas en los envases de plástico y vidrio no produjo tal efecto en relación con el porcentaje de germinación, esto debido a que los envases de plástico y vidrio aunque no son totalmente herméticos impiden la interacción de las condiciones ambientales externas con la semilla principalmente la humedad que es el factor físico más importante en el deterioro en las semillas (Palma *et al.*, 2000). El agua en las semillas juega un papel importante para la regulación de reacciones metabólicas y enzimáticas (Walters, 1998).

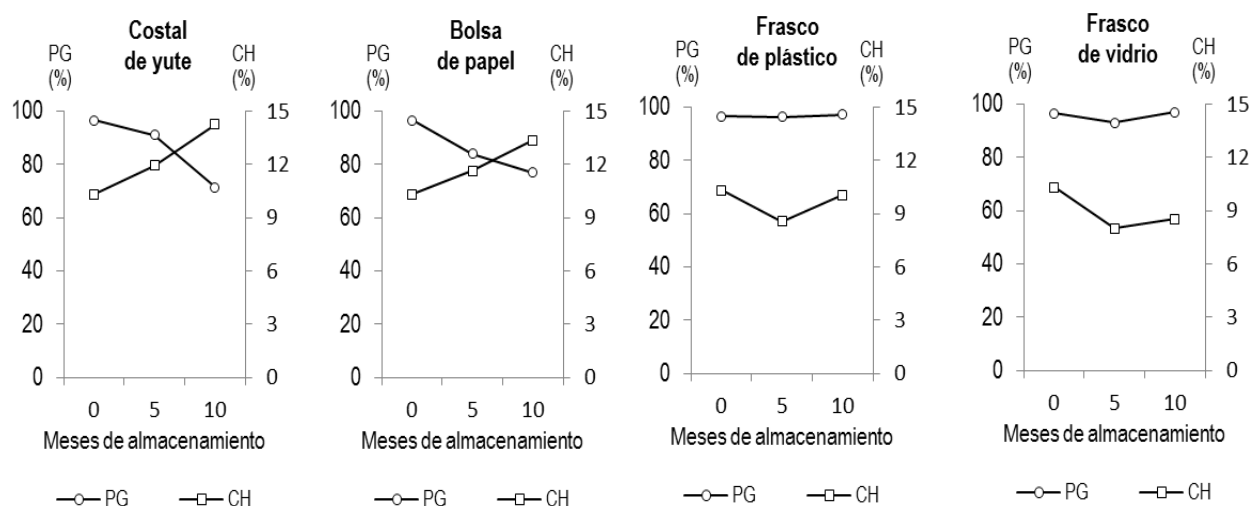
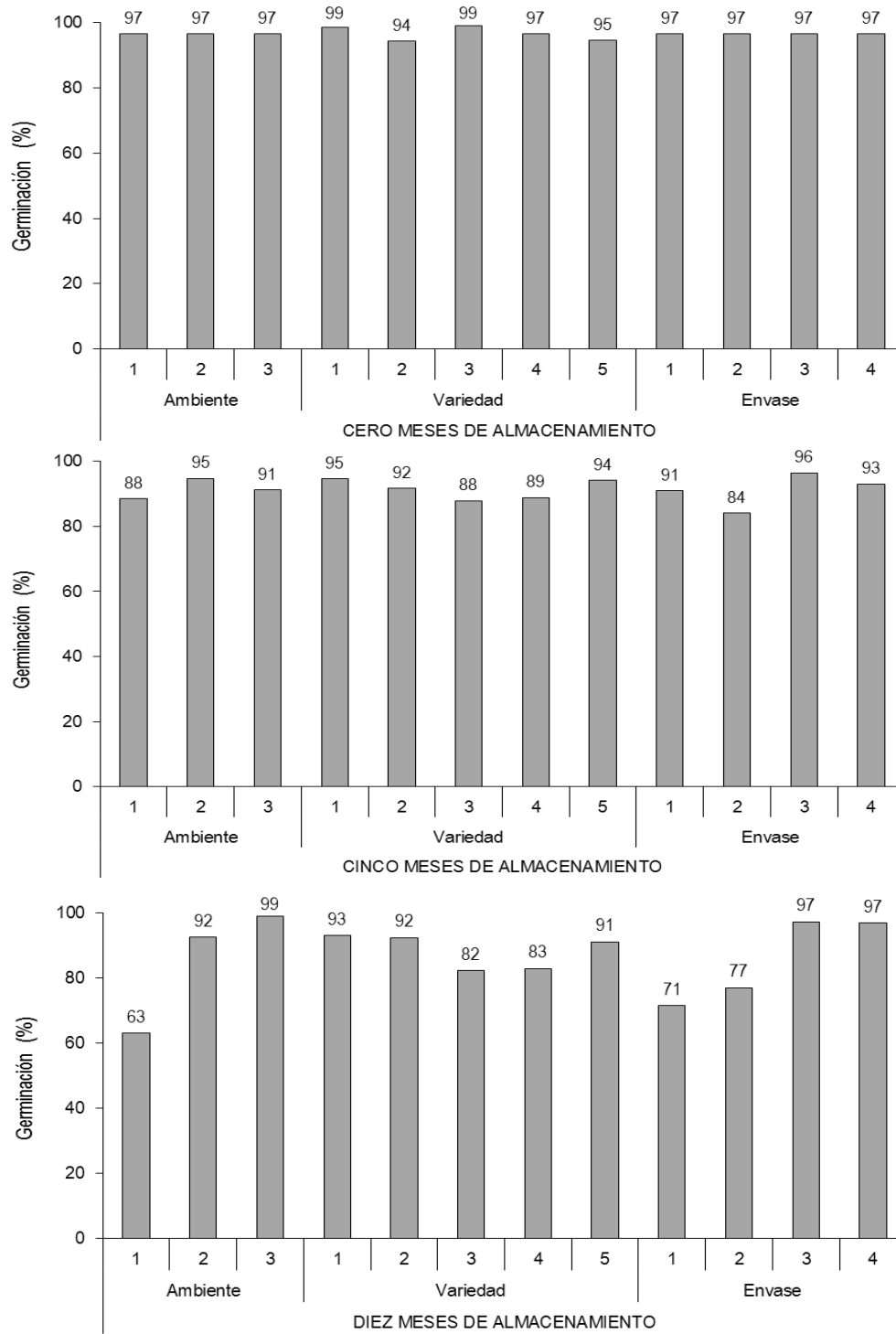


Figura 4.3 Relación de la germinación (PG) con el contenido de humedad (CH) de semillas de cebada almacenada en cuatro tipos de envases.

En la Figura 4.4 se observa que después de diez meses de almacenamiento las variedades de cebada maltera analizadas mantienen su poder germinativo en un 91 % en promedio, destacando que después de cinco meses de almacenamiento, el menor porcentaje de germinación (84%) se obtuvo en la semilla que estuvo almacenada en el envase 2 (bolsa de papel) y a los diez meses se tuvo un porcentaje de germinación menor al 85 % en el ambiente 1 (Texcoco), caracterizado por tener alta humedad relativa, en las semillas de las variedades Armida y Esmeralda y en los envases permeables a la humedad que fueron costal de yute (1) y bolsa de papel (2). Al respecto, Nagel y Börner (2010) evaluaron la capacidad de las semillas de varios cultivos para conservar su viabilidad hasta por 26 años almacenados en condiciones de temperatura de $20.3 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $50.5 \pm 6.3 \%$ y señalan que semillas en las que los lípidos son la principal fuente de reserva, su viabilidad fue menor, mientras que las semillas que tenían como principal fuente de almacenamiento los carbohidratos y proteínas, mostraron mayor longevidad, tal es el caso de chícharo, frijol y maíz que mantuvieron su viabilidad por un periodo de 23, 21 y 19 años, respectivamente.



Ambiente 1 (Texcoco) = 20.5 °C y 90 % HR; Ambiente 2 (Bodega) = 20.1 °C y 47 % HR; Ambiente 3 (Cámara Fría) = 4.5 °C y 78 % HR
 Variedad 1 = Adabella; 2 = Alina; 3 = Armida; 4 = Esmeralda; 5 = Esperanza
 Envase 1 = Costal de yute; 2 = Bolsa de papel; 3 = Frasco de plástico; 4 = Frasco de vidrio

Figura 4.4. Porcentaje de germinación en cada ambiente, variedad y envase durante el almacenamiento de semillas de cebada maltera.

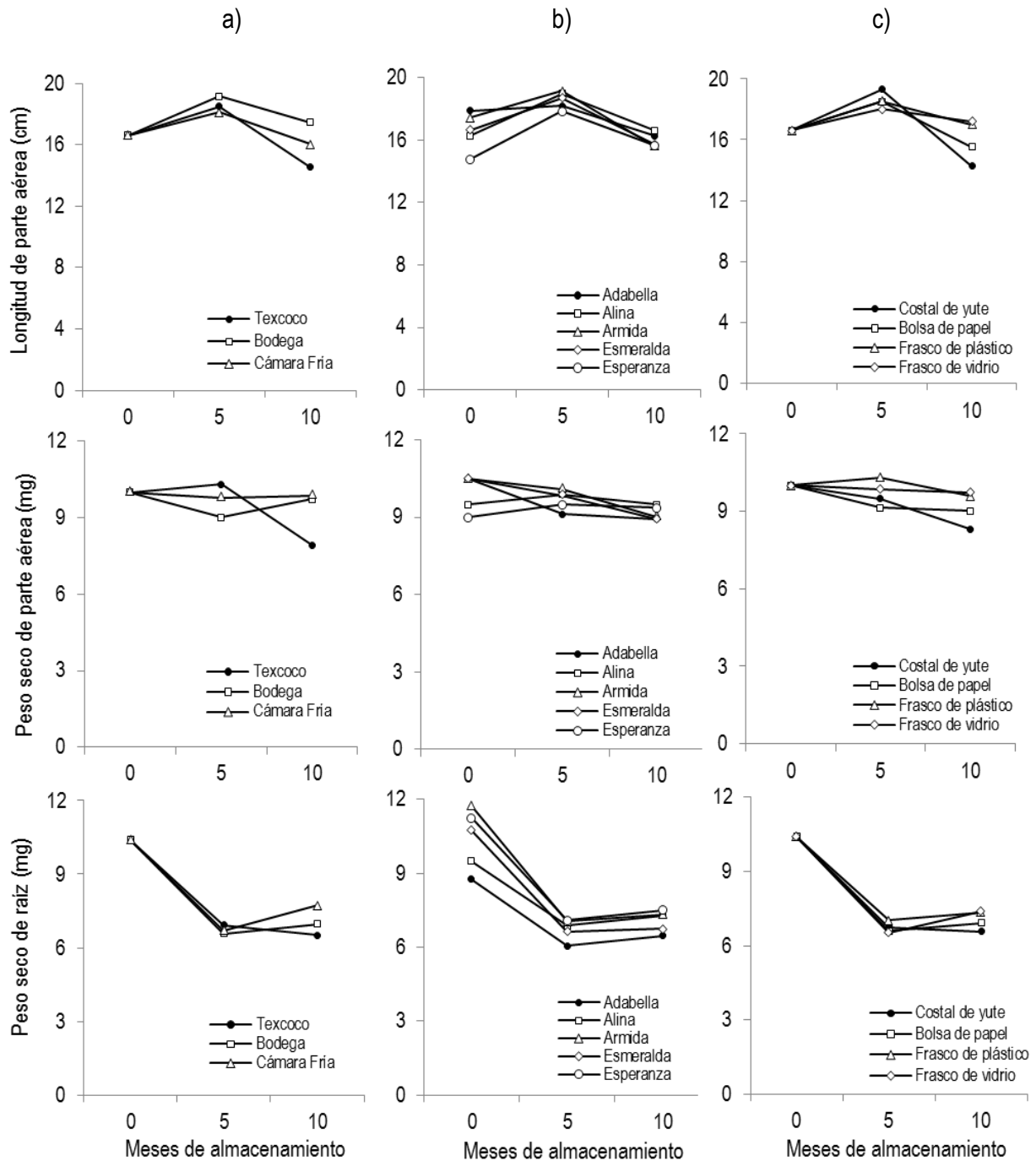
4.3.4. Efecto de las interacciones

A los cinco y diez meses de almacenamiento, las interacciones Ambiente x Variedad, Ambiente x Envase, Variedad x Envase y Ambiente x Variedad x Envase resultaron significativas ($p \leq 0.05$) para todas las variables evaluadas (Cuadro 4.2). Lo que indica la influencia que tiene la temperatura, humedad relativa y los envases de almacenamiento en el contenido de humedad, germinación de las semillas de cebada maltera, longitud y peso seco de las estructuras de la plántula (parte aérea y raíz).

Con respecto a las variables de longitud de la parte aérea, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz, en la Figura 4.5a se muestra que el ambiente de alta humedad relativa (Texcoco) fue el que presentó los valores más bajos para estas variables.

A los diez meses de almacenamiento, la variedad que mostró la menor longitud de la parte aérea fue Esperanza y Armida, mientras que Adabella y Esmeralda tuvieron los valores más bajos de peso seco de la parte aérea y de la raíz. La variedad Alina presentó el mayor valor en las variables de longitud de la parte aérea y peso seco de la parte aérea, mientras que Esperanza logró el mayor valor de peso seco de la raíz (Figura 4.5b).

En cuanto a las variables de longitud de parte aérea y peso seco de parte aérea y raíz, se observa en la Figura 4.5c, que el envase costal de yute tuvo los menores valores para las variables antes mencionadas, mientras que los frascos de plástico y vidrio mostraron valores mayores y similares después de los diez meses de almacenamiento.



Texcoco = 20.5 °C y 90 % HR; Bodega = 20.1 °C y 47 % HR; Cámara Fría = 4.5 °C y 78 % HR

Figura 4.5. Comportamiento de la longitud de parte aérea, peso seco de parte aérea y de la raíz durante el almacenamiento de semillas de cebada maltera en cada ambiente (a), variedad (b) y envase (c).

4.4. CONCLUSIONES

- La humedad relativa afecta directamente la germinación de las semillas de cebada maltera; ya que al ser almacenadas a humedad relativa del 90 % pierden su capacidad de germinación en un 33.61 % durante diez meses de almacenamiento.
- Armida y Esmeralda fueron las variedades más susceptibles al deterioro, ya que disminuyeron significativamente su germinación debido a alta humedad relativa.
- Adabella fue la variedad que presentó el mayor porcentaje de germinación (93%) después de los diez meses de almacenamiento.
- El almacenamiento en frío (4.5 °C y 78 % de humedad relativa) permite mantener la viabilidad de semillas de cebada maltera durante un periodo de tiempo prolongado. Para almacenar estas semillas se deben utilizar frascos de vidrio o plástico herméticos a la humedad relativa.
- Los envases costal de yute y bolsa de papel permeables a la humedad, no son adecuados para almacenar semillas de cebada maltera, por un periodo de diez meses.
- Almacenar semilla de cebada maltera en condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa garantiza la calidad fisiológica requerida por la industria maltera.

4.5. LITERATURA CITADA

- Armitage, D. M., Baxter, E. D., Knight, J., Wilkin, D. R. and Woods J. L. 2004. Malting Barley: Europe. *In: Crop Post-Harvest: Science and Technology*. Hodges, R. and Farrell, G. (eds.) Vol. 2. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK. pp. 117-127.
- Barreiro, J. A., Fernández, S., Sandoval, A. J. 2003. Water sorption characteristics of six row barley malt (*Hordeum vulgare*). *LWT – Food Science and Technol.* 36, 37-42.
- Brenes, A. E. 2007. Decremento de la calidad fisiológica durante el almacenamiento de semillas de maíz, frijol y canola. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 72 p.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 2001. *Principles of Seed Science and Technology*. Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts, USA. 467 p.
- Ghasemnezhad, A. and Honermeier, B. 2009. Influence of storage conditions on quality and viability of high and low oleic sunflower seeds. *International Journal of Plant Production* 3, 39-48.
- Guberac, V., Maric, S., Lalic, A., Drezner, G. and Zdunic Z. 2003. Hermetically sealed storage of cereals seeds and its influence on vigour and germination. *Journal of Agronomy & Crop Science* 189, 54-56.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2005. *International Rules for Seed Testing*. Rules. 2005. ISTA Editions, Zurich, Switzerland. 243 p.
- Nagel, M. and Börner, A. 2010. The longevity of crop seeds stored under ambient conditions. *Seed Science Research* 20, 1-12.
- Nithya, U., Chelladurai, V., Jayas, D.S. and White, N.D.G. 2011. Safe storage guidelines for durum wheat. *Journal of Stored Products Research* 47, 328-333.
- Moreno, M. E., 1984. *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 382 p.
- Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003. *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano –cereal- cebada maltera (*Hordeum vulgare* L. y *Hordeum distichum* L.)*. Especificaciones y métodos de prueba.
- Palma, R. M. P., López, H. A., Molina, M. J. C. 2000. Condiciones de almacenamiento y germinación de semillas de *Cenchrus ciliaris* L. y *Andropogon gayanus* Kunth. *Agrociencia* 34, 41-48.

- Prieto, M. J., Prieto, G. F., Hernández, C. N., Domínguez, S. J. M., Román, G. A. D. 2011. Métodos comparativos del poder germinativo en *Hordeum distichon* L. calidad maltera. Multiciencias 11, 121-128.
- Rao, R. G. S., Singh, P. M. and Rai, M. 2006. Storability of onion seeds and effects of packaging and storage conditions on viability and vigour. Scientia Horticulturae 110, 1-6.
- Reed, S. M. 2005. Effect of storage temperature and seed moisture on germination of stored flowering dogwood seed. Journal of Environmental Horticulture 23, 29-32.
- SAS Institute. 2002. Statistical Analysis System Version 9.0. North Carolina, USA.
- Schwarz, P. and Li, Y., 2011. Malting and brewing uses of barley. *In: Barley: production, improvement, and uses.* Ullrich, S. E. (ed.) Blackwell Publishing Ltd. Iowa, USA. pp. 478-521.
- Shelar, V. R., Shaikh, R. S. and Nikam A. S. 2008. Soybean seed quality during storage: a review. Agricultural Reviews 29, 125-131.
- Ullrich, S. E. 2011. Significance, Adaptation, Production and Trade of Barley. *In: Barley: Production, Improvement and Uses.* Ullrich, S. E. (ed.) Blackwell Publishing Ltd. Iowa, USA. pp. 3-13.
- Walters, C. 1998. Understanding the mechanisms and kinetics of seed aging. Seed Science Research 8, 223-244.
- Wang, J., Jiang, P., Li, D., Ma, Q., Tai, S., Zuo, Z., Dong, L., Sun, Q. 2010. Moisture variation and modeling of cotton and soybean seeds under different storage conditions. Acta Agronomica Sinica 36, 1161-1168.
- Weinberg, Z. G., Yan, Y., Chen, Y., Finkelman, S., Ashbell, G. and Navarro, S. 2008. The effect of moisture level on high-moisture maize (*Zea mays* L.) under hermetic storage conditions-*in vitro* studies. Journal of Stored Products Research 44, 136-144.

CAPÍTULO V. EVALUACIÓN DEL VIGOR DE SEMILLAS DE CEBADA MALTERA ALMACENADA EN DIFERENTE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y TIPO DE ENVASE

RESUMEN

Con el fin de conocer los efectos del deterioro de semillas de cebada maltera sobre el vigor de las plántulas se llevó a cabo el presente estudio, el cual consistió en someter a envejecimiento acelerado (E. A.) durante 60 horas a $42\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ y humedad relativa del 100 %, semillas de cebada maltera de las variedades Adabella, Alina, Armida, Esmeralda y Esperanza que permanecieron en tres condiciones de almacenamiento: (1) = $20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - 90 % HR, (2) = $20.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ - 47 % HR y (3) = $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - 78 % HR en cuatro diferentes envases que fueron costales de yute, bolsas de papel, frascos de plástico y vidrio durante diez meses. A los cero, cinco y diez meses de almacenamiento se evaluó el porcentaje de germinación de las semillas envejecidas y sin envejecer (testigo) sembradas en charolas con arena así como la velocidad de emergencia, longitud y peso seco de la parte aérea de la plántula. El deterioro artificial (E.A.) redujo significativamente el vigor de las plántulas, teniendo menor velocidad de emergencia, longitud y contenido de materia seca en plántulas sometidas a envejecimiento acelerado comparadas con el testigo. Envases impermeables a la humedad mantienen el vigor durante el almacenamiento de semillas de cebada maltera. La variedad Esperanza fue más vigorosa, mostrando la mayor resistencia al deterioro natural y artificial, mientras que después del deterioro natural Armida fue la variedad más susceptible al envejecimiento.

Palabras clave: *Hordeum vulgare* L., almacenamiento, temperatura, humedad relativa, vigor, envejecimiento acelerado

5.1. INTRODUCCIÓN

El vigor es un concepto que describe varias características de las semillas como la velocidad y uniformidad de la germinación, crecimiento de la plántula, capacidad de emergencia de las plántulas bajo condiciones ambientales desfavorables. Las semillas que se comportan de manera favorable en estos aspectos se denominan de alto vigor (Black y Bewley, 2000; Copeland y McDonald, 2001).

Dado que el vigor con frecuencia se expresa mediante la germinación, el mecanismo de auto reparación después del deterioro tiene un efecto importante en el vigor de las semillas. Este mecanismo incluye la activación y reparación de membranas, órganos celulares, enzimas, DNA y RNA. Durante la imbibición y germinación de las semillas, la membrana recupera su funcionamiento normal para dar lugar a la emergencia de la plántula. Cuando el mecanismo de reparación no opera o se prolonga debido al drástico daño celular, la germinación no sucede o posiblemente ocurra después del tiempo establecido, con lo cual la semilla se identifica como de bajo vigor (Sun *et al.*, 2007; Kapoor *et al.*, 2011).

El vigor de las semillas es un atributo de la calidad fisiológica que refleja el potencial de las semillas para germinar, la capacidad de emerger en campo y la habilidad de semillas almacenadas para germinar bajo diferentes condiciones. Varios factores afectan el vigor, entre ellos, la constitución genética, el ambiente durante el desarrollo y almacenamiento de las semillas (Copeland y McDonald, 2001; Sun *et al.*, 2007).

Las semillas se deterioran durante el almacenamiento y en este proceso de deterioro natural, las semillas pierden su vigor, su capacidad de germinar y finalmente se vuelven menos viables. Este deterioro se manifiesta como una reducción en el porcentaje de germinación y las semillas que germinan producen plántulas débiles (Maity *et al.*, 2000).

Durante el almacenamiento, los factores que influyen sobre el vigor de las semillas son el tiempo de almacenamiento, tipo de semillas, temperatura, humedad relativa, contenido de oxígeno, presencia de microorganismos, insectos, ácaros, factores que en conjunto llevan a un deterioro de las semillas, limitando la disponibilidad de sustrato para la germinación (Jayas y White, 2003; Sun *et al.*, 2007).

El deterioro de las semillas se define como la pérdida de la calidad, viabilidad y vigor (Kapoor *et al.*, 2010), y los cambios asociados con el deterioro de las semillas son el agotamiento de las sustancias de reserva, aumento de la actividad enzimática, permeabilidad de membrana celular, estos cambios continúan con la edad de las semillas y la capacidad para germinar se reduce. La disminución de la germinación inicia tiempo después de que las semillas han llegado a la madurez, dependiendo de las condiciones de almacenamiento, tipo de semillas y las condiciones durante su desarrollo (Shelar *et al.*, 2008).

Existen diferentes pruebas para evaluar el vigor de las semillas, las cuales consisten en someterlas a estrés (alta humedad, frío, calor, etc.) y posteriormente ponerlas a germinar. Dentro de las pruebas utilizadas está la de envejecimiento acelerado, la cual es de utilidad para predecir el deterioro de las semillas durante el almacenamiento ya que en esta prueba las semillas se exponen a alta temperatura (40-45 °C) y humedad relativa (75-100%) (Black *et al.*, 2006).

En las semillas de cebada maltera el vigor es un indicativo de la capacidad que tienen para germinar de manera uniforme y rápida, lo cual es de importancia para la industria maltera porque la calidad de la malta depende de la velocidad y uniformidad de la germinación de las semillas, lo que conlleva a la eficiente producción de enzimas.

Por lo anterior, en el presente trabajo se planteó como objetivo evaluar mediante la prueba de envejecimiento acelerado, el comportamiento del vigor de semillas de cinco variedades de cebada maltera después de ser manejadas en diferentes condiciones de almacenamiento.

5.2. MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1. Material genético

El material genético utilizado en esta investigación fue proporcionado por el INIFAP y consistió de cinco variedades de cebada maltera (Adabella, Alina, Armida, Esmeralda y Esperanza) producidas durante el ciclo agrícola otoño-invierno del 2010.

La descripción del origen genético y las características agronómicas de cada una de las variedades utilizadas se presenta en el Capítulo III.

5.2.2. Ambientes de almacenamiento

Se establecieron tres ambientes de almacenamiento utilizando diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura. El primer ambiente se ubico en Texcoco, Estado de México y se generó artificialmente; para lograr una humedad relativa alta se utilizó una caja de plástico cerrada herméticamente, dentro de la cual se agregó una solución saturada de sal común, de acuerdo a la metodología utilizada por Brenes (2007). El segundo y tercer ambiente se ubicaron en una bodega y cámara fría del Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Bajío ubicado en Celaya, Gto. Las condiciones de humedad relativa y temperatura en cada ambiente se monitorearon mediante sensores “HOBOS” programados para tomar lecturas cada cuatro horas.

5.2.3. Envases de almacenamiento

Para evaluar el vigor de las semillas de cebada maltera, se utilizaron envases permeables e impermeables a la humedad relativa, los cuales fueron costales de yute, bolsas de papel, frascos de plástico y frascos de vidrio, respectivamente.

5.2.4. Establecimiento del experimento

De los 12 kg de semilla de cebada maltera por variedad se homogeneizaron y pesaron 48 muestras de 250 g cada una, las cuales se colocaron en los cuatro tipos de envase con cuatro

repeticiones por envase para los tres ambientes de almacenamiento. Lo mismo se realizó para cada variedad, teniendo un total de 240 envases, los cuales se aleatorizaron para colocarlos en cada ambiente donde permanecieron almacenados durante diez meses.

5.2.5. Diseño experimental

El experimento se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar, con un diseño de tratamientos factorial con tres factores de estudio, que resultaron de la combinación de tres ambientes de almacenamiento, cinco variedades de cebada maltera y cuatro tipos de envases dando un total de 60 tratamientos, con cuatro repeticiones por tratamiento. Cada envase con 250 g de semilla formó una unidad experimental.

5.2.6. Prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado

Después de cada muestreo, el vigor de las semillas se evaluó mediante la prueba de envejecimiento acelerado. Se utilizó la metodología propuesta por Delouche y Baskin (1973) con el acondicionamiento de Kim *et al.* (1985) y Huber *et al.* (1982), la cual consiste en mantener las semillas a una temperatura de $42^{\circ} \text{C} \pm 1$ y 100 % de humedad relativa por 60 h. Se utilizaron cajas “sandwicheras”, a las que se les agregaron 80 ml de agua destilada y por arriba del nivel de ésta se colocó una malla de alambre para evitar el contacto directo con el agua. En cada caja se depositaron 200 semillas (ocho sub-repeticiones de 25 semillas cada una). Después del periodo de envejecimiento, las semillas se sembraron en charolas con arena para evaluar la germinación y la velocidad de emergencia. La siembra en arena se realizó en charolas de 36 cm x 27 cm, sembrando por charola, 16 surcos de 25 semillas cada uno. Cada surco correspondió a una sub-repetición de cada unidad experimental.

5.2.6.1. Variables evaluadas

Antes y durante el periodo de almacenamiento se evaluó la calidad fisiológica de la semilla de cebada maltera cada cinco meses, realizando tres evaluaciones. En cada fecha se evaluó el vigor de las semillas, considerando el porcentaje de germinación, la velocidad de emergencia, longitud y peso seco de la parte aérea de la plántula.

5.2.6.1.1. Velocidad de germinación

Después de la siembra en arena, se contabilizó diariamente el número de semillas germinadas una vez que emergió el coleóptilo sobre la arena; el conteo terminó cuando se estabilizó la emergencia. Con estos valores se calculó el índice de velocidad de germinación aplicando la ecuación propuesta por Manguire (1962).

$$VG = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{N_i} \right)$$

En donde:

VG = Velocidad de germinación

X_i = Número de semillas germinadas en el i-ésimo conteo

N_i = Número de días después de la siembra en el i-ésimo conteo

n = Número de conteos; 1, 2, ..., n conteos

5.2.6.1.2. Longitud de plúmula

Del total de las plántulas normales, se tomaron 5 plántulas al azar de cada sub-repetición (parcela), midiendo la longitud de la parte aérea de cada una desde el cuello de la plántula hasta el ápice de la hoja más larga, el resultado se expresó en cm.

5.2.6.1.3. Peso seco de plúmula

De cada unidad experimental se tomaron todas las plántulas normales, se lavaron para eliminar los residuos de arena de la raíz y se separó la raíz de la parte aérea a la altura del cuello del tallo; posteriormente, la parte aérea se colocó en un sobre de papel perforado para someterla a secado en estufa a 70 ° C durante 72 h y transcurrido ese tiempo se tomó lectura del peso seco en gramos.

5.2.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se hizo mediante el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2002), 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.

5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.3.1. Ambientes de almacenamiento

En el Cuadro 5.1 se observan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los ambientes de almacenamiento para las variables evaluadas de porcentaje de germinación, velocidad de emergencia, longitud y peso seco de la parte aérea de la plántula, a los cinco y diez meses de almacenamiento en semillas de cebada maltera sin envejecimiento acelerado.

Hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para los ambientes de almacenamiento en las variables de porcentaje de germinación, velocidad de emergencia, longitud y peso seco de la parte aérea a los cinco y diez meses de almacenamiento en semillas sometidas a envejecimiento acelerado (Cuadro 5.2).

5.3.2. Variedades

En semillas sin envejecimiento hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las variedades sólo en la variable de peso seco de la parte aérea a los cero meses de almacenamiento, a los cinco meses de almacenamiento todas las variables presentaron diferencias significativas y a los diez meses de almacenamiento, hubo diferencias significativas en el porcentaje de germinación, velocidad de emergencia y longitud de parte aérea (Cuadro 5.1).

En semillas sometidas a envejecimiento acelerado no hubo diferencias significativas para las variables evaluadas a los cero meses de almacenamiento (Cuadro 5.2). Semillas bajo el mismo tratamiento de envejecimiento presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en todas las variables evaluadas a los cinco y diez meses de almacenamiento.

5.3.3. Envases

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el porcentaje de germinación y velocidad de emergencia a los cinco meses de almacenamiento, mientras que a los diez meses de almacenamiento todas las variables fueron significativas para las semillas sin envejecimiento almacenadas en los diferentes envases (Cuadro 5.1).

En el Cuadro 5.2 se observa que las variedades de cebada maltera sometidas a envejecimiento acelerado mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para las variables de porcentaje de germinación, velocidad de emergencia, longitud y peso seco de parte aérea a los cinco y diez meses de almacenamiento.

5.3.4. Efecto de las interacciones

Las interacciones Ambiente x Variedad, Ambiente x Envase, Variedad x Envase y Ambiente x Variedad x Envase resultaron significativas ($p \leq 0.05$) para todas las variables evaluadas a excepción de la longitud de la parte aérea de la plántula en la interacción Variedad x Envase a los cinco meses de almacenamiento en el tratamiento sin envejecimiento acelerado (Cuadro 5.1).

Para el caso de las variedades sometidas a la prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado, se observó que todas las interacciones resultaron significativas ($p \leq 0.05$) para todas las variables evaluadas a los cinco y diez meses de almacenamiento (Cuadro 5.2).

Cuadro 5.1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en la prueba de vigor sin envejecimiento a los 0, 5 y 10 meses de almacenamiento.

FV	0 Meses					5 Meses					10 Meses			
	GL	PG	VE	LA	PSA	GL	PG	VE	LA	PSA	PG	VE	LA	PSA
A	-	-	-	-	-	2	79310.43*	2258.70*	828.02*	1779.40*	101179.18*	2289.48*	4340.35*	4173.42*
V	4	10.55 ^{ns}	0.92 ^{ns}	0.41 ^{ns}	5.22*	4	1535.22*	17.40*	8.62*	88.86*	4218.80*	40.70*	30.68*	13.42 ^{ns}
E	-	-	-	-	-	3	4358.66*	86.53*	0.75 ^{ns}	6.15 ^{ns}	37418.91*	782.92*	630.99*	869.38*
A x V	-	-	-	-	-	14	12284.82*	338.11*	125.37*	291.00*	16671.12*	345.02*	642.99*	622.90*
A x E	-	-	-	-	-	11	17957.60*	474.49*	152.52*	330.01*	41731.44*	957.96*	1250.91*	1354.45*
V x E	-	-	-	-	-	19	1419.00*	22.85*	3.30 ^{ns}	22.98*	7257.49*	138.46*	113.94*	165.86*
AxVxE	-	-	-	-	-	59	3853.64*	97.22*	31.90*	72.90*	8620.25*	187.22*	246.34*	277.13*
C.V. (%)		2.39	2.56	4.76	5.38		17.88	7.13	9.99	13.42	18.83	8.41	17.23	23.06

* = significativo al 0.05; ns = no significativo

FV = Factor de variación; GL = Grados de libertad; PG = Porcentaje de germinación (%); VE = Velocidad de emergencia (plántulas emergidas por día); LA = Longitud de parte aérea (cm); PSA = Peso seco de parte aérea (mg); A = Ambiente; V = Variedad; E = Envase

Cuadro 5.2. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en la prueba de vigor con envejecimiento a los 0, 5 y 10 meses de almacenamiento.

FV	0 Meses					5 Meses					10 Meses			
	GL	PG	VE	LA	PSA	GL	PG	VE	LA	PSA	PG	VE	LA	PSA
A	-	-	-	-	-	2	265601.90*	6406.58*	16639.95*	20906.69*	51372.03*	1270.72*	323.13*	500.41*
V	4	352.93 ^{ns}	46.54 ^{ns}	24.38 ^{ns}	47.07 ^{ns}	4	1572.44*	65.81*	76.82*	138.54*	8016.42*	210.98*	763.47*	1344.76*
E	-	-	-	-	-	3	9275.87*	257.13*	339.17*	585.93*	45573.49*	1163.70*	1818.42*	2730.70*
A x V	-	-	-	-	-	14	40.567.520*	980.90*	2536.27*	3242.74*	11205.03*	285.47*	421.13*	655.49*
A x E	-	-	-	-	-	11	54415.21*	1327.04*	3367.55*	4378.38*	44557.99*	1140.31*	1992.88*	2602.39*
V x E	-	-	-	-	-	19	2026.09*	62.65*	85.41*	138.74*	9400.74*	243.85*	491.18*	759.86*
AxVxE	-	-	-	-	-	59	11188.34*	276.03*	684.72*	903.42*	9611.70*	247.30*	192.53*	678.17*
C.V. (%)		56.05	55.83	52.17	42.47		38.49	54.16*	47.22	56.64	44.46	37.4	51.89	59.81

* = significativo al 0.05; ns = no significativo

FV = Factor de variación; GL = Grados de libertad; PG = Porcentaje de germinación (%); VE = Velocidad de emergencia (plántulas emergidas por día); LA = Longitud de parte aérea (cm); PSA = Peso seco de parte aérea (mg); A = Ambiente; V = Variedad; E = Envase.

En la Figura 5.1 se observa que la germinación inicial a los cero meses de almacenamiento (sin envejecimiento) osciló entre 94 y 98 % para cada ambiente, variedad y envase, mientras que con el tratamiento de envejecimiento acelerado la variedad Armida fue la que presentó el mayor porcentaje de germinación (51 %) y Esmeralda tuvo el menor valor (9 %). Las variedades Adabella, Alina y Esperanza presentaron porcentajes de germinación de 14 %, 25 % y 27 %, respectivamente. Al respecto, Rao *et al.* (2006) mencionan que el vigor de las plántulas se reduce gradualmente con el almacenamiento.

A los cinco meses de almacenamiento, las semillas sin envejecimiento mostraron la mayor germinación en el ambiente 3 (96 %), mientras que para el ambiente 1 los valores fueron de 72 % (20.5°C y 90 % HR) y 56 % para el ambiente 2 (20.1 °C y 47 % HR). En relación a las variedades, éstas presentaron valores entre 72 y 82 %, siendo Alina la de mayor valor y Esmeralda del menor porcentaje de germinación. Adabella, Armida y Esperanza tuvieron una germinación de 81%, 75 % y 77 %, respectivamente. Lo anterior coincide con lo que reporta Shelar *et al.* (2008) en semillas de soya, en relación a que el vigor disminuye con el almacenamiento. De los cuatro envases utilizados, las semillas almacenadas en costales de yute y bolsas de papel tuvieron 74 y 70 % de germinación, respectivamente, mientras que el porcentaje de germinación en los frascos de plástico y en los frascos de vidrio fue de 83 % y 82 %. Al respecto, Rao *et al.* (2006) señalan que semillas de cebolla con 6 % de humedad y almacenadas en envases impermeables a la humedad retienen satisfactoriamente el vigor y la viabilidad.

Las semillas sometidas a envejecimiento acelerado provenientes del ambiente 1 (20.5°C y 90 % HR) mostraron un porcentaje de germinación del 67 %, mientras que en el ambiente 2 (20.1°C y 47 % HR) y 3 (4.5°C y 78 % HR) se tuvieron valores de 0 % y 4 % de germinación (Figura 5.1). Al respecto, algunos autores han reportado una disminución en el porcentaje de germinación en semillas de cebada (Chloupek *et al.*, 2003), arroz (Tilebeni y Golpayegani, 2011), trigo (Ali *et al.*, 2006), maíz (Vashisth y Nagarajan, 2009), cebolla (Rao *et al.*, 2006), zanahoria (Al-Maskri *et al.*, 2003), soya (Rani y Sultana, 2008; Rastegar *et al.*, 2011), algodón (Basra *et al.*, 2000) después de someterlas a envejecimiento u otras condiciones de estrés.

Después del envejecimiento, las variedades de cebada maltera presentaron porcentajes de germinación de 16 % para Adabella y Alina, 10 % para Armida, 13 % para Esmeralda y 19 % para Esperanza. En lo referente a los envases, se tuvo la menor germinación en los costales de yute y

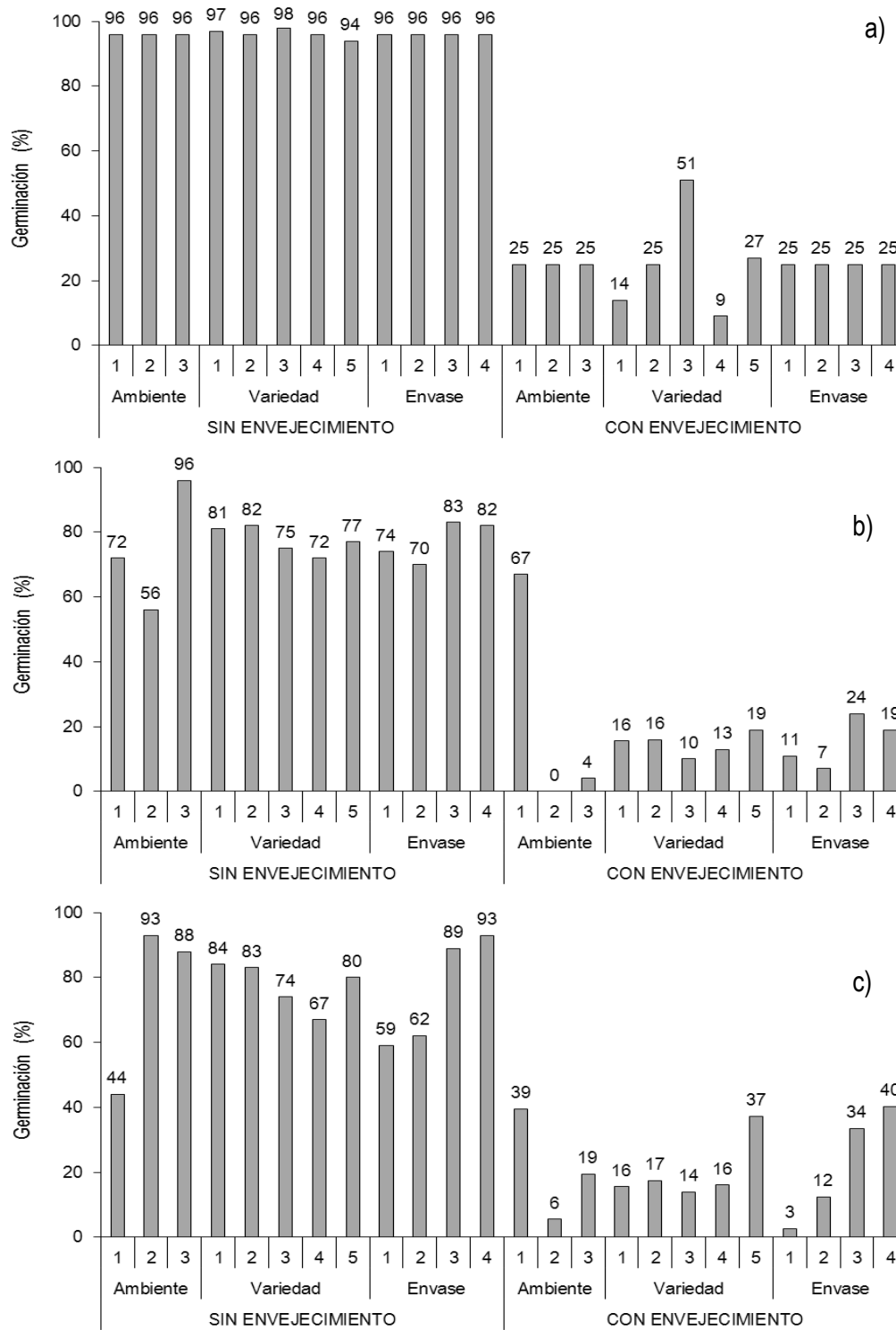
bolsas de papel, con valores de 11 % y 7 % respectivamente, mientras que los frascos de plástico y vidrio presentaron los valores más altos de germinación (24 % y 19 %) (Figura 5.1).

A los diez meses de almacenamiento se observó que la germinación fue de 44 %, 93 % y 88 % para el ambiente 1, 2 y 3 respectivamente sin envejecimiento, mientras que con envejecimiento el porcentaje de germinación disminuyó a 39 %, 6 % y 19 % para el ambiente 1, 2 y 3 (Figura 5.1). Kapoor *et al.* (2010) mencionan que la velocidad de deterioro aumenta rápidamente con un incremento en el contenido de humedad de las semillas y la temperatura de almacenamiento, lo cual coincide con lo obtenido en el presente estudio en donde en el ambiente 1 se registró en promedio 90 % de humedad relativa aunado a una temperatura de 20.5 °C que se reflejó en un menor porcentaje de germinación en este ambiente sin el tratamiento de envejecimiento.

En la Figura 5.1 se observó mayor porcentaje de germinación en semillas de cebada maltera sometidas a envejecimiento acelerado después de cinco y diez meses de almacenamiento en el ambiente 1 (20.5°C y 90 % HR), lo cual no coincide con lo que se reporta en la literatura de que el porcentaje de germinación disminuye a mayor tiempo de almacenamiento y después del tratamiento de envejecimiento en las semillas. Tal efecto en la germinación de cebada maltera, se le atribuye a la interacción de varios factores como el deterioro natural (tiempo de almacenamiento), artificial (envejecimiento acelerado) y las condiciones de humedad y temperatura que prevalecieron en ese ambiente.

En relación al comportamiento de la germinación en las variedades de cebada maltera sin envejecimiento, se observaron porcentajes de 84 %, 83 %, 74 %, 67 % y 80 % para Adabella, Alina, Armida, Esmeralda y Esperanza, respectivamente, disminuyendo estos valores a 16 %, 17 %, 14 %, 16 % y 37 % en las mismas variedades indicadas en este orden, cuando las semillas se sometieron a tratamiento de envejecimiento acelerado. En semilla sin envejecimiento se presentaron porcentajes de germinación de 59 %, 62 %, 89 % y 93 % en los envases 1, 2, 3 y 4, mientras que con envejecimiento, el porcentaje de germinación fue de 3 % y 12 % para envases 1 y 2, 34 % de germinación para el envase 2 y 40 % de germinación para el envase 4 (Figura 5.1). La reducción en el porcentaje de germinación, en semillas con envejecimiento natural y artificial, resulta de un número de procesos metabólicos que ocurren en las células; al respecto Chauhan *et al.* (2011) estudiaron el efecto del envejecimiento evaluando el nivel de enzimas en semillas de trigo y encontraron que en general, la

disminución de la actividad enzimática en las semillas baja su potencial respiratorio, disminuyendo a su vez la energía (ATP) y el suministro de reservas de las semillas para germinar. Por otra parte, Woonton *et al.* (2005), observaron una correlación positiva entre el índice de germinación y la calidad de la malta, lo que indica que una eficiencia en la germinación de semillas de cebada da como resultado buena calidad de malta.



Ambiente 1 (Texcoco) = 20.5 °C y 90 % HR; Ambiente 2 (Bodega) = 20.1 °C y 47 % HR; Ambiente 3 (Cámara Fría) = 4.5 °C y 78 % HR
 Variedad 1 = Adabella; 2 = Alina; 3 = Armida; 4 = Esmeralda; 5 = Esperanza
 Envase 1 = Costal de yute; 2 = Bolsa de papel; 3 = Frasco de plástico; 4 = Frasco de vidrio

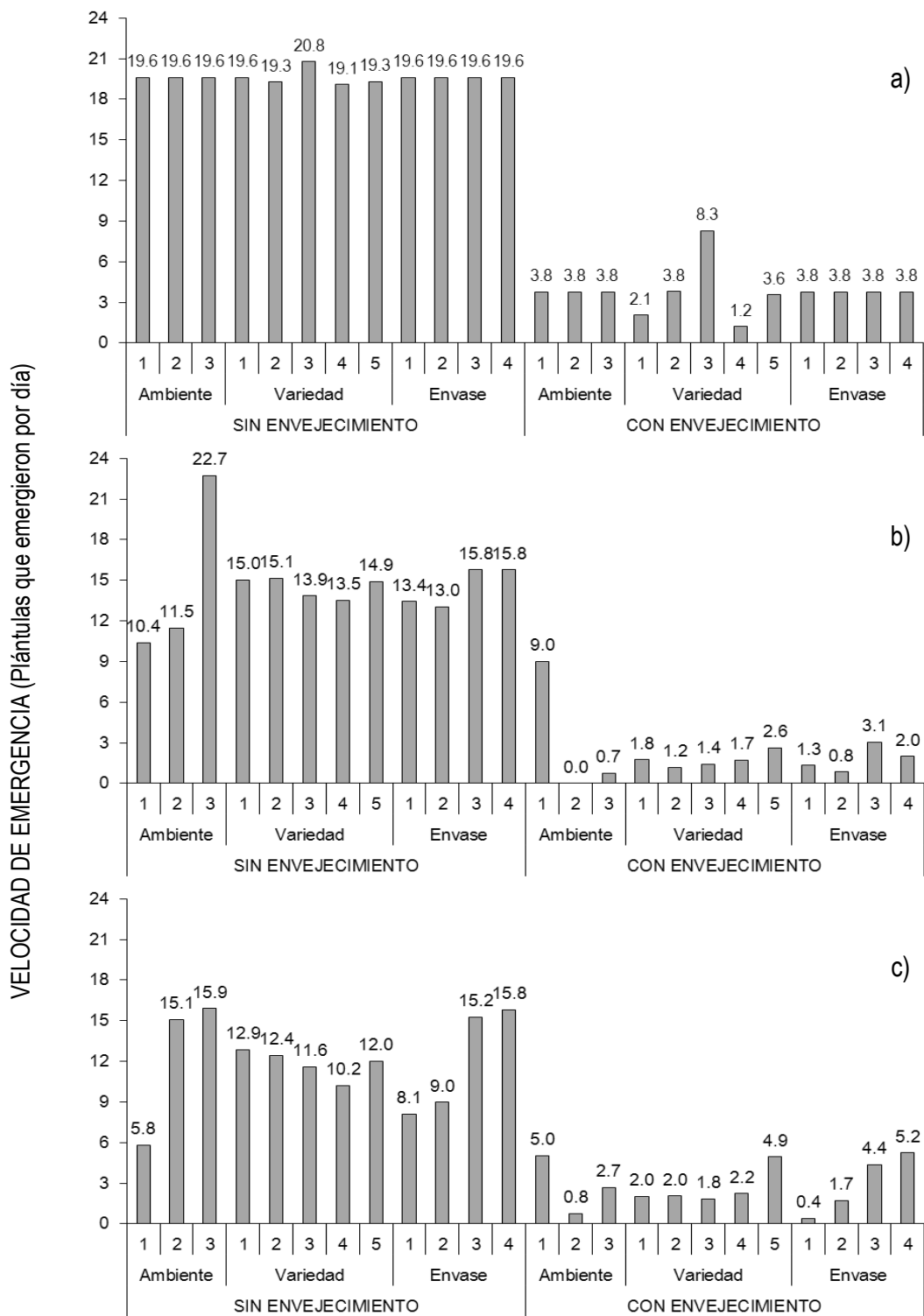
Figura 5.1. Germinación de semillas de cinco variedades de cebada maltera con y sin envejecimiento acelerado, almacenadas en tres ambientes y cuatro tipos de envase durante cero (a), cinco (b) y diez (c) meses.

La velocidad de germinación es una medida directa del vigor de las semillas. Puede definirse como el número de semillas germinadas por día (Tilebeni y Golpayegani, 2011). En la Figura 5.2a se observa que la velocidad de emergencia para cada ambiente y envase en semillas de cebada maltera sin envejecimiento, fue en promedio de 19.6 plántulas emergidas por día; en cuanto a las variedades, cabe mencionar que Armida fue la que tuvo el valor más alto de plántulas (20.8) que emergieron por día, mientras que la velocidad de emergencia con envejecimiento en cada ambiente y envase fue en promedio de 3.8 plántulas emergidas por día, resaltando que las variedades Adabella y Esmeralda fueron las que presentaron el menor valor de velocidad de emergencia (2.1 y 1.2 plántulas emergidas por día, respectivamente). En condiciones de envejecimiento la variedad Armida presentó el valor más alto de velocidad de emergencia con 8.3 plántulas emergidas por día. En cebada maltera, la velocidad de germinación es una característica importante no solo para la calidad de las semillas para siembra, sino también para tener malta de buena calidad (Chloupek *et al.*, 2003).

A los cinco meses de almacenamiento (Figura 5.2b) la velocidad de emergencia en semillas de cebada maltera sin envejecimiento para el ambiente 1, 2 y 3 fue de 10.4, 11.5 y 22.7 plántulas por día, mientras que para las variedades Adabella, Alina, Armida, Esmeralda y Esperanza en este orden, fue de 15.0, 15.1, 13.9, 13.5 y 14.9 plántulas por día; para los envases de almacenamiento, costales de yute y bolsas de papel, presentaron valores similares de velocidad de emergencia de 13.4 y 13.0 plántulas emergidas por día, mientras que en los frascos de plástico y vidrio se tuvo un valor de 15.8 plántulas por día. En el mismo periodo de almacenamiento pero en semillas con tratamiento de envejecimiento acelerado en el ambiente 3 se obtuvo el mayor valor de velocidad de emergencia que fue de 9 plántulas emergidas por día, resaltando que en el ambiente 2 el valor de esta variable fue de 0. En lo que respecta a las variedades, Esperanza presentó en valor más alto que fue de 2.6 plántulas emergidas por día, mientras que Adabella, Alina, Armida y Esmeralda mostraron valores de 1.8, 1.2, 1.4 y 1.7 plántulas emergidas por día, respectivamente. Para los envases de almacenamiento, los frascos de plástico y vidrio presentaron valores de 3.1 y 2.0 plántulas emergidas por día, mientras que en las bolsas de papel se presentó el valor más bajo de velocidad de emergencia (0.8 plántulas por día).

La velocidad de emergencia a los diez meses de almacenamiento sin envejecimiento en los ambientes 1, 2 y 3 fue de 5.8, 15.1 y 15.9 plántulas por día, mientras que para las variedades Adabella, Alina, Armida, Esmeralda y Esperanza fue de 12.9, 12.4, 11.6, 10.2 y 12.0 plántulas por día,

respectivamente; en los frascos de plástico y vidrio se observaron mayores valores de velocidad de emergencia siendo de 15.2 y 15.8 plántulas emergidas por día. En las semillas sometidas a envejecimiento acelerado se presentaron valores de 5.0, 0.8 y 2.7 en los ambientes 1 (Texcoco), 2 (Bodega) y 3 (Cámara Fría), respectivamente. La variedad Esperanza presentó el mayor valor que fue de 4.9 plántulas emergidas por día para esas condiciones, en tanto que Adabella, Alina, Armida y Esmeralda presentaron valores de 2.0, 2.0, 1.8, y 2.2, respectivamente. En lo referente a los envases de almacenamiento el menor valor de velocidad de emergencia se observó en semillas almacenadas en costales de yute siendo de 0.4 plántulas emergidas por día, mientras que el valor mas alto fue de 5.2 en los frascos de vidrio (Figura 5.2c). Rastegar *et al.* (2011) mencionan que en semillas de soya, la velocidad y uniformidad en la geminación se vio afectada por el tiempo de deterioro de las semillas, lo cual indica que estas variables son de importancia para evaluar el vigor de semillas como parámetros de calidad. En el presente estudio, la velocidad de emergencia disminuyó significativamente con el deterioro natural durante el almacenamiento pero el efecto fue mayor con el deterioro artificial (Figura 5.2).



Ambiente 1 (Texcoco) = 20.5 °C y 90 % HR; Ambiente 2 (Bodega) = 20.1 °C y 47 % HR; Ambiente 3 (Cámara Fría) = 4.5 °C y 78 % HR
 Variedad 1 = Adabella; 2 = Alina; 3 = Armida; 4 = Esmeralda; 5 = Esperanza
 Envase 1 = Costal de yute; 2 = Bolsa de papel; 3 = Frasco de plástico; 4 = Frasco de vidrio

Figura 5.2. Velocidad de emergencia de semillas de cinco variedades de cebada maltera con y sin envejecimiento acelerado, almacenadas en tres ambientes y cuatro tipos de envases durante cero (a), cinco (b) y diez (c) meses.

Con respecto a la longitud de plántula y peso seco de la parte aérea, en la Figura 5.3 se observa que en los tres ambientes los valores más altos de estas variables se presentaron en plántulas de cebada maltera cuyas semillas no fueron sometidas a envejecimiento acelerado (testigo), con lo cual se infiere que el envejecimiento acelerado en semillas afecta significativamente la longitud y peso seco de las plántulas. En este contexto, Kapoor *et al.* (2011) mencionan que la eficiencia del crecimiento y otras características de las plántulas como longitud de raíz y hojas disminuyen con el tiempo de envejecimiento en semillas de arroz. Rao *et al.* (2006) encontraron que el vigor de las plántulas se reduce gradualmente con el almacenamiento (deterioro natural).

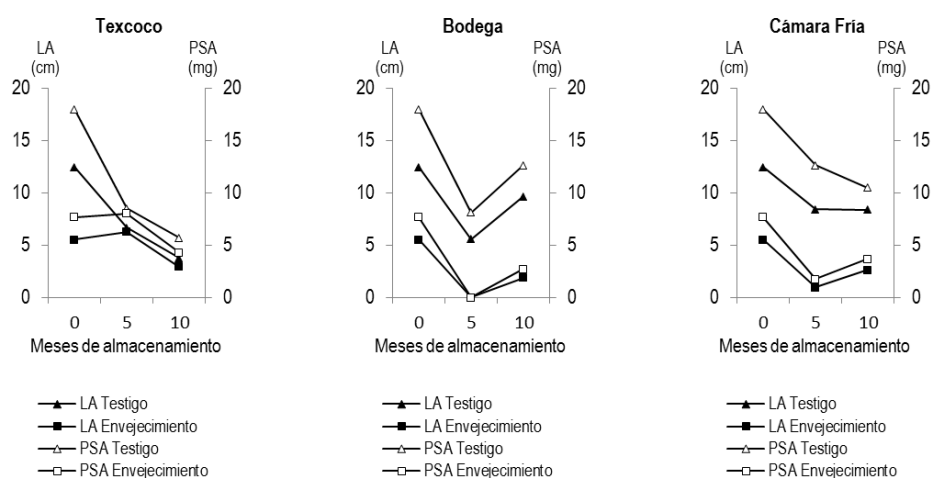


Figura 5.3. Relación de la longitud (LA) y peso seco de la parte aérea (PSA) en los tres ambientes de almacenamiento con y sin envejecimiento (testigo).

En lo referente a las variedades, se observó que el envejecimiento acelerado afectó en mayor grado a las variedades Adabella y Esmeralda, ya que desde los cero meses de almacenamiento se tuvieron valores menores a 5 cm de longitud y 5 mg de peso seco de la parte aérea (Figura 5.4). Las cinco variedades de cebada maltera evaluadas sin envejecimiento acelerado mostraron un comportamiento de longitud y peso seco de la parte aérea similar a los cero, cinco y diez meses de almacenamiento.

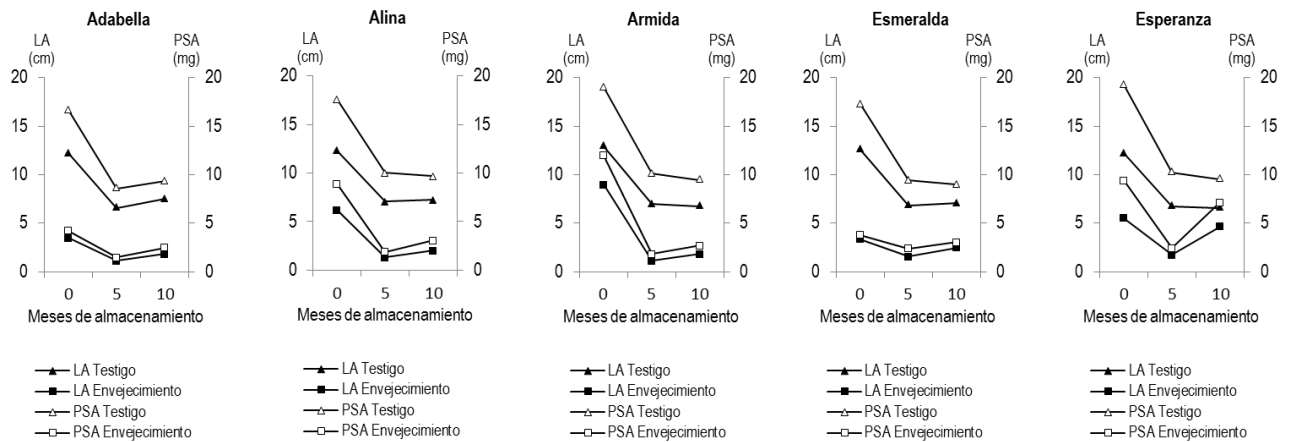


Figura 5.4. Longitud (LA) y peso seco de la parte aérea (PSA) de las cinco variedades de cebada maltera durante el periodo de almacenamiento con y sin envejecimiento.

En cuanto al efecto de los envases, en la Figura 5.5 se observa que usando los costales de yute se tuvieron los valores más bajos de longitud y peso seco de parte aérea en semillas con tratamiento de envejecimiento acelerado, mientras que en los frascos de plástico y vidrio, hubo mayor longitud y peso seco después de diez meses de almacenamiento. Con relación a lo anterior, es importante mencionar que los envases de almacenamiento influyeron en la conservación de semillas de cebada maltera, pues los frascos de plástico y vidrio funcionaron adecuadamente para almacenar semilla por varios meses manteniendo su calidad y mostrando un buen comportamiento después del almacenamiento. En un estudio realizado por Cassini (1999) se encontró que el almacenamiento de semillas de maíz, soya y trigo en envases de plástico, es mejor que en envases de papel pero lo recomendable es almacenar las semillas con bajo contenido de oxígeno y alta concentración de dióxido de carbono, con lo cual se controla la presencia de hongos e insectos que son la principal causa del incremento de temperatura en semilla almacenada.

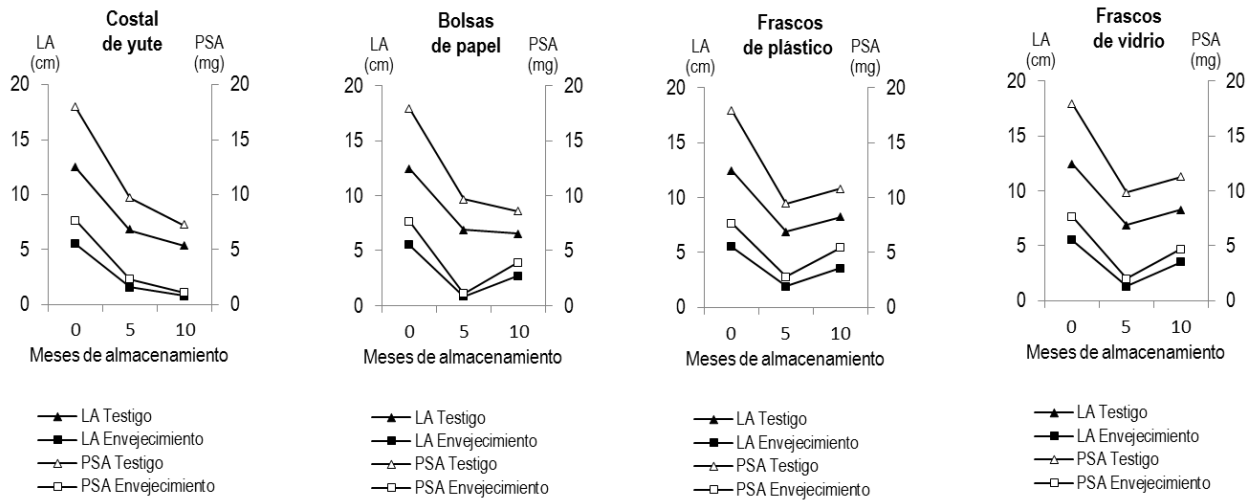


Figura 5.5. Longitud (LA) y peso seco de la parte aérea (PSA) de las cinco variedades de cebada maltera durante el periodo de almacenamiento.

5.4. CONCLUSIONES

- El envejecimiento acelerado permitió evaluar y conocer el vigor de las semillas de cebada maltera asociado con su deterioro fisiológico.
- Esperanza fue la variedad que mostró mayor resistencia al deterioro natural y artificial, mientras que después de deterioro natural Armida fue la variedad más susceptible al envejecimiento.
- Los envases de plástico y vidrio mantienen el vigor de las semillas después de diez meses de almacenamiento.
- Los caracteres de calidad de semilla en términos de germinación, velocidad de emergencia, longitud y peso seco de la parte aérea de las plántulas de cebada maltera, se mantiene después del almacenamiento natural en condiciones de 4.5°C y 78 % de humedad relativa.
- Envases permeables a la humedad (costales de yute y bolsas de papel) no son adecuados para almacenar semillas de cebada maltera, por ningún periodo de almacenamiento.

5.5. LITERATURA CITADA

- Ali, A., Siddiqui, S. U., Afzal, M. and Fayyaz M. C. 2006. Response of wheat (*Triticum aestivum* L) var. chakw al-97 to artificial ageing in relation to its viability under mid-term conservation in genebank. *Pakistan Journal of Botany* 38 (4), 1071-1078.
- Al-Maskri, A. Y., Khan, M. M., Khan, I. A. and Al-Habsi K. 2003. Effect of accelerated ageing on viability, vigor (RGR), lipid peroxidation and leakage in carrot (*Daucus carota* L.) seeds. *International Journal Agriculture & Biology* 5, 580-584.
- Basra, S. M. A., Rehman, K. and Iqbal, S. 2000. Cotton seed deterioration: Assessment of some physiological and biochemical aspects. *International Journal Agriculture & Biology* 2, 195-198.
- Black, M. and J. D. Bewley. 2000. *Seed Technology and its Biological Basis*. Sheffield Academic Press Ltd. Sheffield, England. 419 p.
- Black, M., Bewley, J. D. and Halmer, P. 2006. *The Encyclopedia of Seeds Science, Technology and Uses*. Wallingford, UK. 900 p.
- Brenes, A. E. 2007. Decremento de la calidad fisiológica durante el almacenamiento de semillas de maíz, frijol y canola. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 72 p.
- Cassini, C. 1999. Guidelines for storing grains in plastic bags. <http://www.cosechaypostcosecha.org>. Consultado el 01 de Agosto de 2012.
- Chauhan, D. S., Deswall, D. P., Dahiya, O. S. and Punia, R. C. 2011. Change in storage enzymes activities in natural and accelerated aged seeds of wheat (*Triticum aestivum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 81, 1037-1040.
- Chloupek, O., Hrstková, P. and Jurecka, D. 2003. Tolerance of barley seed germination to cold-and drought-stress expressed as seed vigour. *Plant Breeding* 122, 199-203.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 2001. *Principles of seed science and technology*. Fourth edition. Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts, USA. 467 p.
- Delouche J. C. y C. C. Baskin. 1973. Accelerated ageing techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science & Technology* 1, 427-452.
- Huber, T. A. and McDonald, M. B. Jr. 1982. Gibberellic acid influence on aged and unaged barley seed germination and vigor. *Agronomy Journal* 74, 386-389.
- Jayas, D. S., White, N. D. G., 2003. Storage and drying of grain in Canada: low cost approaches. *Food Control* 14 (4), 255-261.

- Kapoor, N., Arya, A., Siddiqui, M. A., Amir, A. and Kumar, H. 2010. Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated aging. *Asian Journal of Plant Science* 9, 158-162.
- Kapoor, N., Arya, A., Siddiqui, M. A., Kumar, H. and Amir, A. 2011. Physiological and biochemical changes during seed deterioration in aged seeds of rice (*Oryza sativa* L.). *American Journal of Plant Physiology* 6, 28-35.
- Kim, J., Bin, Y., Choe, Z. and Kim, S. 1985. Influence of the accelerated aging of barley seed on the germinability and seedling growth. *J. Inst. Agr. Res. Util.* 19, 1-5.
- Maity, S., Banerjee, G., Roy, M., Pal, C., Pal B., Chakrabarti, D. and Bhattacharjee, A. 2000. Chemical induced prolongation of seed viability and stress tolerance capacity of mung bean seedlings. *Seed Science & Technology* 28 (1), 155-162.
- Manguirre, J.D. 1962. Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2, 176-177.
- Rani, R. S. and Sultana W. 2008. Influence of seed ageing on growth and yield of soybean. *Bangladesh Journal of Botany* 37 (1), 21-26.
- Rao, R. G. S., Singh, P. M. and Rai, M. 2006. Storability of onion seeds and effects of packaging and storage conditions on viability and vigour. *Scientia Horticulturae* 110, 1-6.
- Rastegar, Z., Sedghi, M. and Khomari, S. 2011. Effects of accelerated ageing on soybean seed germination indexes at laboratory conditions. *Notulae Science Biologicae* 3 (3), 126-129.
- SAS Institute. 2002. *Statistical Analysis System*. Version 9.0. North Carolina, USA.
- Shelar, V. R., Shaikh, R. S. and Nikam, A. S. 2008. Soybean seed quality during storage: a review. *Agricultural Reviews* 29 (2), 125-131.
- Sun, Q., Wang, J. and Sun, B. 2007. Advances on seed vigour physiological and genetic mechanisms. *Agricultural Science in China* 6, 1060-1066.
- Tilebeni, G. H. and Golpayegani, A. 2011. Effect of seed ageing on physiological and biochemical changes in rice seeds (*Oryza sativa* L.). *International Journal of AgriScience* 1 (3), 138-143.
- Vashisth, A. and Nagarajan, S. 2009. Germination characteristics of seed of maize (*Zea mays* L.) exposed to magnetic fields under accelerated ageing condition. *Journal of Agricultural Physics* 9, 50-58.
- Woonton, B.W., Jacobsen, J.V., Sherkat, F. and Stuart, I.M., 2005. Changes in germination and malting quality during storage of barley. *Journal of the Institute of Brewing* 111, 33-41.

CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN GENERAL

El deterioro de las semillas durante el almacenamiento es un proceso inevitable e irreversible, que conlleva a la pérdida de su calidad (Copeland y McDonald, 2001), la cual se expresa como cambios en el aspecto físico como pérdida de brillo, cambios de color por presencia de hongos o insectos, granos quebrados o ausencia de alguna parte de la estructura de las semillas; así como disminución en el porcentaje de germinación, velocidad de emergencia, longitud y peso seco de las plántulas. Estos cambios en conjunto ayudan a evaluar un lote de cualquier semilla; particularmente en cebada maltera son de suma importancia para el proceso de mateado debido a que semillas de mayor tamaño tienen mayor cantidad de reservas, resultando durante la germinación una mayor producción de enzimas que en conjunto dan buena calidad de malta, que es algo deseable para la industria maltera.

La composición química proximal de las semillas difiere dentro de cada especie y variedad, siendo éste un parámetro importante para el uso final de los granos y semillas, así por ejemplo, las semillas de cereales contienen en mayor cantidad carbohidratos, específicamente almidón, en oleaginosas los lípidos son las sustancias de reserva presentes en mayor cantidad y en leguminosas las proteínas. Esta característica de los granos y semillas determina el aspecto físico de las mismas, así también, es parte fundamental para el adecuado manejo en almacén evitando causar daños en las semillas (Shelar *et al.*, 2008). La calidad de las semillas es una característica importante que se toma en cuenta para conocer el grado de deterioro de las mismas, sobre todo cuando se almacenan en condiciones no adecuadas de temperatura y humedad relativa, siendo estos factores los que más afectan la calidad de las semillas.

Los resultados de este trabajo, indican que semillas de cebada maltera almacenadas en condiciones de alta humedad relativa, presentaron cambios físicos visibles como granos con presencia de hongos en la superficie, granos quebrados y con perforación externa e interna causada por insectos, los cuales en algunos casos dañaron el endospermo y el embrión, reflejándose en una disminución de la germinación por muerte del embrión o plántulas anormales cuando el embrión estaba incompleto.

En el ambiente de alta temperatura y humedad relativa (20.5 °C y 90 % HR) se observó la mayor disminución de la calidad fisiológica de las semillas de cebada maltera en las variedades Armida

y Esmeralda considerándolas como las más susceptibles al deterioro en condiciones no adecuadas de almacenamiento.

Las variedades Adabella, Alina y Esperanza mostraron mayor resistencia al deterioro disminuyendo paulatinamente su calidad fisiológica conforme el tiempo de almacenamiento. Al respecto, Hrstková *et al.* (2006) encontraron diferencias en la germinación de cebada proveniente de diferentes ciclos y condiciones de producción, con lo que se confirma que diversos factores influyen en la calidad de las semillas y en su deterioro, dentro de éstos se encuentran el genotipo, ambiente donde se producen y almacenan, así como las condiciones de producción.

El envejecimiento natural y artificial de las semillas, causa pérdidas en la viabilidad de las semillas de cebada maltera, expresado como disminución en el porcentaje de germinación, señalando que la tasa de deterioro está muy influenciada por el entorno de almacenamiento, y es mayor con el aumento de la temperatura de almacenamiento y humedad de la semilla (Tang *et al.*, 1999).

Los tratamientos de envejecimiento acelerado disminuyeron significativamente la germinación y la velocidad de emergencia de semillas de cebada maltera, siendo la variedad Armida almacenada en costales de yute y bolsas de papel la más susceptible al deterioro artificial, reduciendo su poder germinativo y velocidad de emergencia durante diez meses de almacenamiento. En este contexto, Ghassemi *et al.* (2010) mencionan que el envejecimiento de semillas de colza disminuye la tasa y porcentaje de emergencia de plántulas. En cereales como la cebada, maíz, avena y trigo, el almacenamiento de semillas por cinco años causa una disminución en el porcentaje de germinación (Guberac *et al.*, 2003). Balešević *et al.* (2010) por otro lado, señalan que la preservación de la viabilidad en semillas de girasol y soya depende de las condiciones y tiempo del almacenamiento, así como de la especie.

Almacenar semillas de cebada maltera en envases herméticos impermeables a la humedad como frascos de vidrio y plástico contribuye a mantener la calidad fisiológica de las semillas por largos periodos de tiempo, junto con el manejo adecuado de temperaturas y humedad relativa del ambiente donde se almacenen. Lo anterior garantiza tener semillas de calidad física y fisiológica como lo requiere la industria maltera.

6.1. LITERATURA CITADA

- Balešević, T. S., Tatić, M., Dordević, V., Nikolić, Z. and Dukić, V. 2010. Seed viability of oil crops depending on storage conditions. *Helia* 33 (52), 153-160.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 2001. Principles of seed science and technology. Fourth edition. Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts, USA. 467 p.
- Ghassemi, G. K., Khomari, S., Dalil, B., Hosseinzadeh, M. A. and Chadordooz J. F. 2010. Effects of seed aging on field performance of winter oilseed rape. *Journal of Food Agriculture & Environment* 8 (1), 175-178.
- Guberac, V., Maric, S., Lalic, A., Drezner, G. and Zdunic Z. 2003. Hermetically sealed storage of cereals seeds and its influence on vigour and germination. *Journal Agronomy & Crop Science* 189 (1), 54-56.
- Hrstková, P., Chloupek, O. and Bérarová, J. 2006. Estimation of barley seed vigour with respect to variety and provenance effects. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 42 (2), 44-49.
- Shelar, V. R., Shaikh, R. S. and Nikam A. S. 2008. Soybean seed quality during storage: a review. *Agricultural Reviews* 29, 125-131.
- Tang, S., Tekrony, D. M., Egli, D. B. and Cornelius, P. L. 1999. Survival characteristics of corn seed during storage: II. Rate of seed deterioration. *Crop Science* 39 (5), 1400-1406.

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES GENERALES

La variedad con mejor calidad física fue Esperanza, la cual también presentó el mayor contenido de carbohidratos.

Las semillas de cebada maltera almacenada a 4.5 °C y 78 % de humedad relativa mantuvieron su germinación y vigor después de diez meses de almacenamiento.

La variedad con mejor calidad fisiológica fue Adabella, la cual se mantuvo después del periodo de almacenamiento.

Las condiciones de alta humedad relativa afectan la germinación de las semillas de cebada maltera, siendo Armida y Esmeralda las variedades con mayor susceptibilidad al deterioro de la calidad fisiológica después de diez meses de almacenamiento.

Los frascos de vidrio y plástico son los envases más adecuados para almacenar semillas de cebada maltera con deterioro fisiológico mínimo y sin causar daño físico en las semillas.

Armida es la variedad más susceptible al deterioro por envejecimiento acelerado, disminuyendo su capacidad de germinación y velocidad de emergencia de plántulas en campo, después del tiempo de almacenamiento evaluado.

La variedad con mayor resistencia al envejecimiento acelerado fue Esperanza, la cual presentó el mayor porcentaje de germinación y velocidad de emergencia, después de diez meses de almacenamiento.

Las semillas de cebada maltera almacenada en costales de yute en un ambiente de 20.5 °C y 90 % de humedad relativa, presentaron la mayor disminución de la longitud de parte aérea de la plántula así como del peso seco de la parte aérea y de la raíz.

ANEXOS

Cuadro A1. Temperatura y humedad relativa (HR) promedio por mes en los ambientes de almacenamiento evaluados.

MES	Texcoco		Bodega		Cámara Fría	
	Temperatura (°C)	HR (%)	Temperatura (°C)	HR (%)	Temperatura (°C)	HR (%)
Enero	16.1	90	13.2	45	4.5	79
Febrero	17.6	90	14.9	44	4.4	84
Marzo	18.9	90	18.3	38	4.6	82
Abril	21.4	90	22.1	34	4.2	80
Mayo	22.8	90	23.5	34	4.3	78
Junio	24.1	90	23.7	40	4.2	77
Julio	23.8	90	21.7	60	4.2	79
Agosto	22.6	90	21.8	60	4.3	79
Septiembre	19.7	90	20.3	61	4.2	80
Octubre	18.2	90	21.4	50	6.3	62
Promedio	20.5	90	20.1	47	4.5	78