



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

**RENDIMIENTO DE GRANO, FENOLOGÍA Y CALIDAD DE SEMILLA EN**

**GENOTIPOS DE CEBADA MALTERA**

**JUAN ARMANDO PÉREZ RUIZ**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2014

La presente tesis titulada: **Rendimiento de grano, fenología y calidad de semilla en genotipos de cebada maltera**, realizada por el alumno: **Juan Armando Pérez Ruiz**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CONSEJO PARTICULAR

Consejero:

  
\_\_\_\_\_  
DR. JOSÉ APOLINAR MEJÍA CONTRERAS

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
DR. MAURO ZAMORA DÍAZ

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
M.C. ADRIÁN HERNÁNDEZ LIVERA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2014

## *AGRADECIMIENTOS*

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

*Al Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas por brindarme la oportunidad de superarme profesionalmente.*

*A los integrantes de mi consejo particular: Dr. José Apolinar Mejía Contreras, Dr. Mauro Zamora Díaz y M.C. Adrián Hernández Livera. Por su confianza, enseñanza, apoyo y orientación durante el desarrollo de esta investigación, muchas gracias.*

*A todos los profesores de esta honorable institución, que contribuyeron a mi formación profesional.*

*Al Programa Nacional de Cebada perteneciente al INIFAP, por proporcionar el material y recursos necesarios para el desarrollo de esta investigación.*

*Al personal del Programa Nacional de Cebada, perteneciente al Campo Experimental Bajío por su apoyo en la conducción del trabajo de campo. En especial al M.C. Salomón Solano Hernández, gracias por su apoyo.*

*Una mención especial al Dr. Raúl Berdeja Arbeu, por motivarme para continuar superándome profesionalmente.*

## *DEDICATORIAS*

*A mis padres:*

*Andrés Pérez Ramírez y Carmina Ruiz Utrera*

*Quienes con sacrificio, dedicación y paciencia han hecho posible mi desarrollo personal y  
formación profesional*

*A mis hermanos y hermanas, con quienes integro este grupo tan especial llamado familia, y  
por los cuales tome la decisión de estudiar lejos de casa*

*A mis amigos y compañeros del Colegio de Postgraduados por compartir tan agradables  
momentos*

*A Netly Leal Leal, mi representante estudiantil, consejera y colaboradora de esta  
investigación*

## CONTENIDO

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| LISTA DE CUADROS.....  | viii          |
| LISTA DE FIGURAS.....  | xi            |
| RESUMEN.....   | xii           |
| SUMMARY.....   | xiv           |
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>                           | <b>1</b>      |
| 1.1. Objetivo general.....   | 3             |
| 1.2. Objetivos particulares.....                                       | 4             |
| 1.3. Hipótesis.....  | 4             |
| <b>CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>                        | <b>5</b>      |
| 2.1. Importancia del cultivo de cebada.....                            | 5             |
| 2.1.1. Producción de cebada en El Bajío.....                           | 6             |
| 2.2. Clasificación morfológica y taxonómica de la cebada.....          | 6             |
| 2.2.1. Etapas fenológicas en cereales de grano pequeño.....            | 7             |
| 2.2.2. Estudio fenológico.....   | 9             |
| 2.3. Rendimiento de grano.....   | 10            |
| 2.3.1. Estabilidad del rendimiento de grano.....                       | 11            |
| 2.3.2. Factores ambientales que afectan la producción.....             | 12            |
| 2.3.3. Estrés por calor.....   | 14            |
| 2.3.4. Estrés por frío.....  | 15            |
| 2.3.5. Fechas de siembra.....  | 17            |
| 2.3.6. Cambio climático.....   | 18            |
| 2.4. Producción de semillas.....                                       | 19            |
| 2.4.1. Características de calidad en semillas.....                     | 19            |
| 2.4.2. Viabilidad.....   | 21            |
| 2.4.3. Vigor.....  | 21            |
| 2.4.4. Latencia de semillas.....                                       | 22            |
| 2.4.5. Parámetros de calidad en grano y semilla de cebada maltera..... | 23            |
| 2.5. Literatura citada.....  | 25            |

### **CAPÍTULO III. FENOLOGÍA DE GENOTIPOS DE CEBADA MALTERA**

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Resumen.....                     | 32 |
| 3.1. Introducción.....           | 33 |
| 3.2. Materiales y métodos.....   | 35 |
| 3.3. Resultados y discusión..... | 38 |
| 3.4. Conclusiones.....           | 48 |
| 3.5. Literatura citada.....      | 49 |

### **CAPÍTULO IV. CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN SEMILLA DE GENOTIPOS DE CEBADA MALTERA**

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Resumen.....                     | 52 |
| 4.1. Introducción.....           | 53 |
| 4.2. Materiales y métodos.....   | 55 |
| 4.3. Resultados y discusión..... | 60 |
| 4.4. Conclusiones.....           | 80 |
| 4.5. Literatura citada.....      | 82 |

### **CAPÍTULO V. LATENCIA EN GRANOS DE CEBADA MALTERA**

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Resumen.....                     | 85 |
| 5.1. Introducción.....           | 86 |
| 5.2. Materiales y métodos.....   | 87 |
| 5.3. Resultados y discusión..... | 89 |
| 5.4. Conclusiones.....           | 96 |
| 5.5. Literatura citada.....      | 97 |

### **CAPÍTULO VI. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS, CALIDAD FÍSICA Y RENDIMIENTO DE GRANO DE CEBADA MALTERA EN RELACIÓN A FECHAS DE SIEMBRA**

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| Resumen.....                     | 99  |
| 6.1. Introducción.....           | 99  |
| 6.2. Materiales y métodos.....   | 101 |
| 6.3. Resultados y discusión..... | 104 |

|   |            |
|---|------------|
| 6.4. Conclusiones.....  | 115        |
| 6.5. Literatura citada.....   | 116        |
| <b>CAPÍTULO VII. ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO DE GRANO EN CEBADA<br/>MALTERA</b> |            |
| Resumen.....  | 119        |
| 7.1. Introducción.....  | 120        |
| 7.2. Materiales y métodos.....  | 121        |
| 7.3. Resultados y discusión.....  | 124        |
| 7.4. Conclusiones.....  | 132        |
| 7.5. Literatura citada.....   | 133        |
| <b>CAPÍTULO VIII. DISCUSIÓN GENERAL.....</b>                                    | <b>136</b> |
| 8.1. Literatura citada.....   | 140        |
| <b>CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>                                 | <b>142</b> |

## LISTA DE CUADROS

| <b>Cuadro</b> |  | <b>Página</b> |
|---------------|--|---------------|
| Cuadro 2.1    | Parámetros y especificaciones para cebada maltera grado México (NMX-FF-043-SCFI-2003).....   | 24            |
| Cuadro 2.2    | Normas de certificación para laboratorio en los factores que se indican en las diferentes categorías de semilla de cebada (SNICS, 1975).....   | 25            |
| Cuadro 3.1    | Cuadrados medios y significancia estadística para la acumulación de unidades calor en diferentes etapas fenológicas de diez genotipos de cebada maltera a través de fechas de siembra.....                                       | 40            |
| Cuadro 3.2    | Requerimiento de unidades calor (UC) a emergencia (EME), embuche (EMB) y espigamiento (ESP) de diez genotipos de cebada maltera cultivados en cinco fechas de siembra.....   | 42            |
| Cuadro 3.3    | Requerimiento de unidades calor (UC) a grano acuoso (GA), grano lechoso (GL) y grano masoso suave (GMS) de diez genotipos de cebada maltera cultivados en cinco fechas de siembra.....   | 43            |
| Cuadro 3.4    | Requerimiento de unidades calor (UC) a grano masoso duro (GMD) y madurez fisiológica (MF) de diez genotipos de cebada maltera cultivados en cinco fechas de siembra.....   | 44            |
| Cuadro 4.1    | Cuadrados medios y significancia estadística para las variables días a embuche, espigamiento y madurez fisiológica evaluadas en diez genotipos de cebada maltera.....  | 61            |
| Cuadro 4.2    | Comparación de medias para las variables evaluadas días a embuche, espigamiento y madurez fisiológica, evaluadas en diez genotipos de cebada maltera.....  | 62            |
| Cuadro 4.3    | Cuadrados medios y significancia estadística de las variables de calidad física y fisiológica evaluadas en diez genotipos de cebada maltera, sembrados en cinco fechas de siembra durante el ciclo otoño-invierno 2012-2013..... | 66            |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Cuadro 4.4  | Comparación de medias de las variables de calidad física evaluadas en diez genotipos de cebada maltera sembrados en cinco fechas de siembra.....                    | 66 |
| Cuadro 4.5  | Comparación de medias de la variable peso hectolítrico ( $\text{kg hL}^{-1}$ ) en diez genotipos de cebada maltera sembrados en cinco fechas de siembra.....        | 68 |
| Cuadro 4.6  | Comparación de medias de la variable peso de mil semillas (g) en diez genotipos de cebada maltera sembrados en cinco fechas de siembra.....                         | 69 |
| Cuadro 4.7  | Promedios de las variables fisiológicas evaluadas en las pruebas de germinación y vigor en diez genotipos de cebada maltera sembrados el 15 de noviembre, 2012..... | 71 |
| Cuadro 4.8  | Promedios de las variables fisiológicas evaluadas en las pruebas de germinación y vigor en diez genotipos de cebada maltera sembrados el 30 de noviembre, 2012..... | 72 |
| Cuadro 4.9  | Promedios de las variables fisiológicas evaluadas en las pruebas de germinación y vigor en diez genotipos de cebada maltera sembrados el 15 de diciembre, 2012..... | 73 |
| Cuadro 4.10 | Promedios de las variables fisiológicas evaluadas en las pruebas de germinación y vigor en diez genotipos de cebada maltera sembrados el 30 de diciembre, 2012..... | 74 |
| Cuadro 4.11 | Promedios de las variables fisiológicas evaluadas en las pruebas de germinación y vigor en diez genotipos de cebada maltera sembrados el 15 de enero, 2013.....     | 75 |
| Cuadro 4.12 | Comportamiento medio de las variables evaluadas en las pruebas de calidad fisiológica en diez genotipos de cebada maltera cultivados en El Bajío.....               | 76 |
| Cuadro 4.13 | Comportamiento medio de las variables evaluadas en las pruebas de calidad fisiológica en diez genotipos de cebada maltera cultivados en El Bajío.....               | 77 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Cuadro 4.14 | Valores de correlación entre variables de calidad física y fisiológica de semillas de cebada maltera cultivadas en cinco fechas de siembra..  | 79  |
| Cuadro 5.1  | Cuadrados medios y significancia estadística del análisis combinado de muestreos para las variables evaluadas en la prueba de germinación de diez genotipos de cebada maltera.....      | 91  |
| Cuadro 5.2  | Comparación de medias para la variable porcentaje de germinación (PG) en diez genotipos de cebada maltera evaluados a partir de madurez fisiológica.....                                | 92  |
| Cuadro 5.3  | Comparación de medias para la variable porcentaje de plántulas anormales (PPA) en diez genotipos de cebada maltera evaluados a partir de madurez fisiológica.....                       | 93  |
| Cuadro 5.4  | Comparación de medias para la variable porcentaje de granos frescos (PGF) en diez genotipos de cebada maltera evaluados a partir de madurez fisiológica.....                            | 94  |
| Cuadro 6.1  | Cuadrados medios y significancia estadística para características agronómicas, calidad física de grano y rendimiento de grano de diez genotipos de cebada maltera.....                  | 105 |
| Cuadro 6.2  | Comportamiento medio de las características agronómicas y calidad física de grano de diez genotipos de cebada maltera, evaluados en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas..... | 106 |
| Cuadro 6.3  | Comparación de medias para la variable rendimiento de grano ( $t\ ha^{-1}$ ) de diez genotipos de cebada maltera, cultivados en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas.....     | 111 |
| Cuadro 7.1  | Análisis de varianza combinado y significancia estadística para diez genotipos de cebada maltera evaluados en diez ambientes en El Bajío  | 125 |
| Cuadro 7.2  | Análisis de varianza AMMI y significancia estadística para diez genotipos de cebada maltera evaluados en diez ambientes en El Bajío   | 126 |
| Cuadro 7.3  | Rendimiento medio y contribución del primer componente principal para diez genotipos de cebada maltera evaluados en diez ambientes...   | 127 |

## LISTA DE FIGURAS

| <b>Figura</b>  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Figura 3.1 Duración del desarrollo fenológico desde emergencia hasta madurez fisiológica (días) en genotipos de cebada maltera cultivados en cinco fechas de siembra en El Bajío. Promedio de diez genotipos de cebada maltera.....  | 38            |
| Figura 3.2 Temperatura media en cada una de las fases fenológicas de genotipos de cebada maltera cultivados en cinco fechas de siembra en El Bajío. Promedio de diez genotipos de cebada maltera.....  | 39            |
| Figura 3.3 Dendograma de agrupamiento con base a distancias Euclidianas, usando el método Ward, para ocho etapas fenológicas de diez genotipos de cebada: Adabella (1), Alina (2), Armida (3), Esmeralda (4), Esperanza (5), M-173 (6), M-174 (7), M-176 (8) y M-177 (9) y M-10542 (10)..... | 46            |
| Figura 4.1 Temperaturas máximas y mínimas durante las etapas fenológicas de días a embuche, espigamiento y madurez fisiológica, promedio de diez genotipos de cebada maltera, cultivados en cinco fechas de siembra en El Bajío, ciclo 2012-2013.....  | 64            |
| Figura 5.1 Comportamiento de la germinación y contenido de humedad del grano en diez genotipos de cebada maltera evaluados a partir de madurez fisiológica.....  | 90            |
| Figura 7.1 Gráfica Biplot del CP1 en función del rendimiento de diez genotipos de cebada evaluados en diez ambientes en El Bajío, ciclos agrícolas 2012-2013 y 2013-2014.....  | 129           |

# RENDIMIENTO DE GRANO, FENOLOGÍA Y CALIDAD DE SEMILLA EN GENOTIPOS DE CEBADA MALTERA

Juan Armando Pérez Ruiz, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

## RESUMEN

En el presente estudio se evaluó: el requerimiento de unidades calor de diez genotipos de cebada maltera; pruebas de calidad física y fisiológica (germinación y vigor) en semilla; el proceso de germinación del grano a partir de madurez fisiológica para determinar la presencia de latencia; el rendimiento y estabilidad del rendimiento de grano a través de fechas de siembra y años de cultivo. En base al requerimiento de unidades calor se distinguieron tres grupos, el primero integrado por los genotipos M-173, Armida y Alina, el segundo constituido por Esmeralda, M-174, M-176, M-177 y M-10542, y el tercero lo conforman Adabella y Esperanza. Las semillas cosechadas provenientes de la siembra del 15 de diciembre mostraron mayor calidad física y fisiológica, la presencia de heladas durante el llenado de grano de la siembra del 30 de noviembre afectó la calidad fisiológica de las semillas, mientras que en las semillas provenientes de la siembra del 30 de diciembre y 15 de enero la calidad física de la semilla disminuyó. Se considera que los genotipos de cebada maltera evaluados no presentan latencia debido a que hubo germinación a partir de su madurez y el mayor tiempo para obtener más de 90 % de germinación fue de 28 días. Las siembras realizadas el 15 y 30 de noviembre, y 15 de diciembre permitieron una mejor expresión de los genotipos en cuanto a número de macollos, número de nudos del tallo principal, altura de planta, peso hectolítrico y peso de mil granos, contribuyendo a un mayor rendimiento. El genotipo M-174 fue estable y su

rendimiento fue superior a la media general (6.5 t ha<sup>-1</sup>), en tanto que los genotipos Alina, Armida y M-10542 mostraron mayor rendimiento pero interactuaron más con el ambiente, mientras que los genotipos Adabella, Esmeralda, M-173 y M-177 mostraron buena respuesta a la variación ambiental pero su rendimiento fue menor a la media general.

**Palabras clave:** *Hordeum vulgare* L., fenología, calidad física y fisiológica de granos y semillas, latencia, rendimiento de grano y estabilidad.

GRAIN YIELD, PHENOLOGY AND SEED QUALITY IN MALTING BARLEY  
GENOTYPES

Juan Armando Pérez Ruiz, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

**SUMMARY**

In the present study was evaluated: the degree-day requirement of ten malting barley genotypes; test of physical and physiological quality seed (germination and vigor); grain germination process from physiological maturity to determine grain dormancy; grain yield and yield stability across planting dates and crop years. Based on the degree-day requirements three groups were distinguished, the first one composed of the genotypes M-173, Armida and Alina, the second constituted by Esmeralda, M-174, M-176, M-177 and M-10542, and the third conformed by Adabella and Esperanza. Seeds harvested from December 15 planting date showed greater physical and physiological quality, the frost presence during grain filling period of the November 30 planting date affected the physiological quality of seeds, whereas in seeds from the 30 December and 15 January planting dates the physical seed quality declined. It is considered that the evaluated malting barley genotypes have no dormancy because germination from grain maturity to get over 90 % germination was 28 days. The 15 and 30 November and 15 December planting dates allowed a better expression of genotypes in number of tillers per plant, number of nodes of the main stem, plant height, hectoliter weight and a thousand kernel weight, that contributed to a higher yield. The genotype M-174 was stable and its yield was higher than the overall mean ( $6.5 \text{ t ha}^{-1}$ ), whereas Alina, Armida and M-10542 showed higher yield, but interacted more with the environment, while Adabella,

Esmeralda, M-173 and M-177 showed good response to the environmental variation, but their performance was lower than the overall mean.

**Keywords:** *Hordeum vulgare* L., phenology, physical and physiological quality of seeds and grains, dormancy, grain yield and stability.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La cebada es el cuarto cereal más cultivado a nivel mundial después del trigo, arroz y maíz (FAO, 2012). Entre sus usos más importantes están la alimentación animal mediante forraje o grano, alimentación humana y extracción de malta para la elaboración de cerveza (Sun y Gong, 2010; Schulze, 2014). La cebada es un cereal de maduración precoz y con buen potencial de rendimiento de grano. Se puede encontrar en ambientes muy diversos, incluyendo los extremos de latitud y longitud donde otros cultivos no se adaptarían (Sun y Gong, 2010). Generalmente la cebada se produce en zonas templadas con siembras en invierno o primavera, y en climas semiáridos subtropicales con siembras de invierno (Ullrich, 2011).

Existen sistemas de escalas numéricas creados para describir el desarrollo de los cereales de grano pequeño (Jackson y Williams, 2006). Este estudio fenológico facilita operaciones para el manejo agronómico como son riegos, fertilizaciones, aplicaciones de herbicidas o insecticidas (Shaykewich, 1995), o estimar calendarios para realizar la cosecha (Bonhomme, 2000). El método más simple para estimar o predecir el desarrollo de los cultivos es el sistema de grados día (Shaykewich, 1995), que se refiere a la velocidad de la tasa de desarrollo de las plantas a temperatura del aire (Bauer et al., 1984).

El potencial de rendimiento de grano se basa en la adaptación de los cultivos a factores bióticos y abióticos (Fischer, 2011), cada cambio en un factor ambiental influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Gaspar *et al.*, 2002). En cebada, la disminución del rendimiento de grano se atribuyen a diversos factores de estrés abiótico como la sequía, salinidad, viento y temperaturas extremas, además, el cambio climático previsto aumentará aún más el problema (Schulze, 2014).

Diversos estudios muestran que la fecha de siembra también afecta el rendimiento de grano, por efecto de las condiciones climáticas (Mendoza *et al.*, 2011). Actualmente el factor de estrés abiótico que causa mayor problema en la producción agrícola son las temperaturas extremadamente altas (Balla *et al.*, 2009). El calor acelera el crecimiento y desarrollo de los cultivos. En especies con ciclos de vida cortos, se reduce la oportunidad de interceptar radiación y realizar fotosíntesis, junto con una fase reproductiva más corta que resulta en rendimientos bajos (Bentley *et al.*, 2013). En cebada la disminución del rendimiento de grano se atribuye a periodos con altas temperaturas en la etapa reproductiva y llenado de grano (Alam *et al.*, 2007).

Durante la producción de semillas varios factores ambientales como la temperatura, lluvia, viento, luz, etc., influyen en la floración, polinización, formación de semilla, maduración, e infección de enfermedades, las cuales tienen un efecto significativo sobre la calidad de la semilla (Bishaw *et al.*, 2012). Evidentemente la calidad del grano o semilla depende de numerosos factores, y representa los efectos integrados del ambiente durante su producción, desde el desarrollo del grano hasta su maduración en la planta madre (Corbineau, 2012; Hamdollah, 2012).

Un gran número de factores influyen en la calidad final del grano de cebada para uso agrícola o industrial, además también tienen un efecto en la síntesis del almidón y el contenido de proteína del grano, el cual afecta el proceso de malteo para la elaboración de cerveza (Fox, 2010). La cebada utilizada para malta debe cumplir con ciertas características como son el tamaño y peso de grano, contenido de proteína del grano, actividad de varias enzimas, entre otros rasgos (Horsley *et al.*, 2009).

La cebada maltera es uno de los pocos cultivos donde se requiere que el grano germine para el desarrollo del producto deseado, es decir, la producción de malta. La incapacidad de los granos de cebada para germinar a un nivel aceptable, es decir menor a 85%, puede causar problemas durante el proceso de malteado, por tanto, la comprensión del nivel de latencia en los granos de cebada es crítica en términos de calidad de malta (Fox, 2010). La producción de cebada frecuentemente es afectada por los fenómenos climáticos que se presentan durante su crecimiento y desarrollo, especialmente durante el llenado de grano, que tiene como consecuencia la disminución de calidad en las cosechas, y al mismo tiempo un posible rechazo del grano por parte de la industria maltera. La mayoría de los productores se basan en su experiencia, esencialmente en fechas de siembra, para obtener cosechas que garanticen un buen rendimiento y calidad de grano para la industria maltera, sin embargo, los recientes cambios climáticos hacen que esta práctica no sea una opción viable para elegir el mejor momento de siembra. Esto pudiera deberse a las altas temperaturas que llegan a presentarse durante las diferentes fases fenológicas del cultivo, afectando consecutivamente la calidad física y fisiológica del grano. Por este motivo es importante conocer cuando ocurren los diferentes estados de desarrollo del cultivo de cebada para llevar a cabo un mejor manejo agronómico que permita obtener mayor rendimiento y calidad de grano o semilla en variedades de cebada maltera.

### **1.1. Objetivo general**

- a) Evaluar el comportamiento de diez genotipos de cebada, a través de fechas de siembra, respecto a fenología, calidad física y fisiológica con fines de uso como semilla, efectos de latencia en el grano, características agronómicas, calidad física y rendimiento de grano en El Bajío.

## **1.2. Objetivos particulares**

- a) Determinar el requerimiento de unidades calor en ocho etapas fenológicas de diez genotipos de cebada maltera en el ciclo otoño-invierno 2012-2013.
- b) Evaluar la calidad física y fisiológica de semilla de diez genotipos de cebada maltera cultivados en el ciclo otoño-invierno 2012-2013.
- c) Estudiar efectos de latencia a partir de la madurez fisiológica del grano de diez genotipos de cebada maltera sembrados en el ciclo otoño-invierno 2013-2014.
- d) Analizar características agronómicas, calidad física y rendimiento de grano de diez genotipos de cebada maltera en los ciclos de otoño-invierno 2012-2013 y 2013-2014.

## **1.3. Hipótesis**

- a) El requerimiento de unidades calor para pasar de una etapa fenológica a otra es diferente para cada genotipo de cebada maltera.
- b) Las condiciones ambientales en las cuales se desarrollan los genotipos de cebada maltera influyen en la calidad física y fisiológica de la semilla.
- c) Al menos un genotipo de cebada maltera presenta efectos de latencia.
- d) La fecha de siembra afecta las características agronómicas, calidad física y rendimiento de grano en al menos un genotipo de cebada maltera.

## CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Importancia del cultivo de cebada

La cebada es uno de los cultivos más antiguos, y que ha desempeñado un papel importante en el desarrollo humano, tanto en la agricultura, civilizaciones, culturas y en ciencias como agronomía, fisiología, mejoramiento genético, malteado y elaboración de cerveza (Ullrich, 2011). En la actualidad la producción mundial de grano es superior a 132 millones de toneladas y países como Alemania, Francia, Ucrania, Canadá, Australia, Turquía y Reino Unido aportan el 41 % de la producción mundial con un rendimiento promedio de 2.7 t ha<sup>-1</sup> (FAO, 2012). La cebada es un cultivo de gran importancia debido a su alta adaptación ecológica, el grano tiene varios usos como la alimentación humana o animal y la fabricación de malta para cerveza (Schulze, 2014). Recientemente a nivel mundial, entre el 55 a 60 % de la cosecha de cebada se ha utilizado como forraje, de 30 a 40 % para malta, de 2 a 3 % para alimentación humana y aproximadamente el 5 % para semilla (Ullrich, 2011).

En México la producción de cebada para grano es superior a un millón de toneladas y de cebada para semilla mayor a veintiocho mil toneladas. En Guanajuato, además de producirse grano, se realiza toda la producción de semilla, con un rendimiento promedio de 5.30 y 5.22 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La producción de cebada se ubica en la zona centro de México, en los estados de Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Edo. de México y Tlaxcala (SIAP, 2013). En El Bajío, la cebada se cultiva bajo condiciones de riego, la cual se establece en el ciclo otoño-invierno, y comprende parte de los estados de Guanajuato, Querétaro, Michoacán y Jalisco (Solano *et al.*, 2009). El reciente crecimiento en la superficie sembrada con cebada en la región de El Bajío, se debe a que requiere menor cantidad de agua, tiene un ciclo vegetativo

corto que permite entrar en rotación con otros cultivos, la comercialización es por contrato y tiene bonificaciones o descuentos en base a la calidad del grano (Zamora *et al.*, 2010).

### **2.1.1. Producción de cebada en el Bajío**

El Bajío, es una región que incluye a los municipios asentados en una planicie con pocas elevaciones inmersa dentro de la Mesa Central Guanajuatense y que ocupa aproximadamente 27 % del estado. Tradicionalmente, se le ha considerado como una zona de alta importancia para las actividades agropecuarias (CONABIO, 2012). En México, la cebada se ha producido tradicionalmente en el ciclo agrícola primavera- verano, en tierras de temporal del Altiplano Central (Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Edo. de México), pero cuando la cosecha fue insuficiente para satisfacer la demanda de la industria, está amplió sus áreas de abastecimiento a zonas de riego de alto rendimiento, mediante su producción en el ciclo otoño-invierno y que funcionan desde entonces como proveedoras complementarias. El Bajío guanajuatense es la zona más importante y la que aporta el mayor volumen de producción en este ciclo agrícola (Steffen y Echánove, 2005).

## **2.2. Clasificación morfológica y taxonómica de la cebada**

El cultivo de cebada se remota a los primeros vestigios de la actividad agrícola en el Viejo Mundo, hace unos 10,000 años (Backes *et al.*, 2006). La cebada evoluciono abarcando varias formas morfológicas y comerciales, de tal manera, que encontramos cebadas de dos y seis hileras, con granos cubiertos o desnudos, cebadas para malta o para uso forrajero, grano para alimentación humana o animal, y cebadas para siembras de invierno o primavera (Ullrich, 2011). La cebada cultivada, *H. vulgare* L., es un cultivo diploide ( $2n=14$ ) predominantemente de autopolinización, pertenece a la tribu *Triticeae*, de la familia *Poaceae*

(Sun y Gong, 2010). El género *Hordeum* consta de tres especies, a saber; *H. vulgare* (cebadas hexásticas), *H. distichum* (cebadas dísticas) y *H. spontaneum* (cebadas de raquis frágil, en general silvestres). Todas son plantas herbáceas, anuales y hermafroditas de fecundación autógena, y su cultivo se extiende en zonas templadas (Molina, 1989; Sun y Gong, 2010).

Las especies del género *Hordeum*, tienen un conjunto similar de caracteres morfológicos. La inflorescencia de la cebada es llamada espiga, la inflorescencia está compuesta de espiguillas, cada una consiste de una o más flores, llamadas floretes. Tres espiguillas forman cada nudo, y cada espiguilla tiene un solo florete (Jackson y Williams, 2006). La espiguilla central normalmente carece de pedicelo, o lo tiene muy corto. Tanto la espiguilla central como las laterales poseen dos glumas, a veces aristadas. La espiguilla central es siempre fértil, pero las laterales pueden ser estériles (cebada de dos hileras) o fértiles (cebadas de seis hileras). Cada espiguilla consta de dos glumillas, llamadas lemma y pálea, que envuelven los órganos sexuales. La lemma puede terminar en una arista más o menos larga, o ser recortada (Molina, 1989; Backes *et al.*, 2006; Horsley *et al.*, 2009).

### **2.2.1. Etapas fenológicas en cereales de grano pequeño**

El crecimiento y desarrollo de los cereales de grano pequeño (trigo, triticale, cebada y avena) siguen patrones muy similares (Jackson y Williams, 2006). El desarrollo de los cereales de grano pequeño se divide en varias etapas, que incluyen: germinación, amacollamiento y crecimiento vegetativo, elongación del tallo, embuche, espigamiento y desarrollo del grano. A su vez, los estados de maduración del grano son llamados lechoso, masa suave, masa dura, grano duro y madurez fisiológica (Jackson y Williams, 2006; Anderson *et al.*, 2008).

La germinación comienza después de que la semilla absorbe humedad, entonces la radícula emerge, la cual crece hacia abajo, proporcionando anclaje y absorción de agua y nutrientes, y posteriormente desarrolla raíces laterales. Una vez que la plántula ha emergido, el coleóptilo cesa su alargamiento y la primera hoja verdadera aparece, entonces las hojas aparecen aproximadamente cada 3 a 5 días, dependiendo de la variedad y condiciones ambientales (Anderson *et al.*, 2008). El amacollamiento por lo general comienza cuando la plántula tiene alrededor de tres hojas. En condiciones culturales típicas para cebada de primavera, los macollos emergen aproximadamente durante un período de 2 semanas, el número total de tallos está en función de la variedad y de las condiciones ambientales (Anderson *et al.*, 2008). La elongación del tallo ocurre cuando los entrenudos del tallo incrementan en longitud. Posteriormente las plantas comienzan el estado de embuche, el cual representa el hinchado de la vaina de la hoja bandera, dentro de la cual se desarrollara la espiga (Jackson y Williams, 2006). La espiga también comienza a crecer rápidamente, aunque todavía es demasiado pequeña para poder detectarse fácilmente a través de las vainas de las hojas circundantes. Durante la etapa de embuche, la espiga se hace más prominente dentro de la vaina de la hoja bandera. En cebada la polinización suele tener lugar justo antes o durante la aparición de la espiga desde el embuche. La polinización comienza en la porción central de la espiga y procede hacia la punta y la base (Anderson *et al.*, 2008).

El espigamiento comienza cuando la espiga comienza a emerger a través del collar de la hoja bandera y se completa cuando la base de la espiga es visible (Jackson y Williams, 2006). Una vez emergida la espiga y realizada la polinización, los granos comienzan a desarrollarse. En cebada, la longitud del grano se establece primero, seguida por su anchura.

El primer período de desarrollo del grano se denomina madurez acuosa, seguido de la etapa lechosa, y son extremadamente importantes, ya que determina el número de células que posteriormente servirán para el almacenamiento de almidón. Los granos que están almacenando almidón se caracterizan por un blanco de consistencia semisólida llamada masa suave, cuando el grano se acerca a madurez comienza a perder agua rápidamente, su consistencia se vuelve sólida, y se denomina masa dura, y finalmente, cuando el grano alcanza su madurez pierde su color verde en las glumas y el pedúnculo (Anderson *et al.*, 2008).

Varios sistemas de escalas numéricas se han creado para describir el desarrollo de los cereales de grano pequeño, como es el caso de cebada (Jackson y Williams, 2006; Anderson *et al.*, 2008). Las escalas de crecimiento más comúnmente usadas son las de Zadoks, Feekes, y Haun. La escala de Zadoks utiliza 2 códigos digitales, el primero para referirse a los principales estados de crecimiento desde germinación (0) a través de la madurez del grano (estado 9), y el segundo dígito subdivide cada estadio principal. La escala numérica de Feekes (1 a 11.4) identifica estados desde la emergencia hasta la madurez del grano y es muy similar a la escala de Zadoks. La escala de Haun se basa principalmente en la producción de hojas, en la cual la longitud de cada hoja emergida es expresada como una fracción de la hoja anterior (Jackson y Williams, 2006; Anderson *et al.*, 2008). La escala de Zadoks es la más aceptada universalmente, es aplicable a cualquier cereal de grano pequeño, y sus etapas son fáciles de identificar en campo (Anderson *et al.*, 2008).

### **2.2.2. Estudio fenológico**

Una de las razones de realizar investigaciones científicas, es desarrollar la comprensión de los fenómenos usados para predecir qué sucederá bajo un determinado conjunto de circunstancias.

Esta previsibilidad permite una planificación y proporciona una ventaja económica, un ejemplo de esto, son los modelos de fenología de cultivos por datos climáticos (Shaykewich, 1995). Los estados de desarrollo de las plantas pueden ser determinados visualmente en cualquier momento mediante la inspección en campo, monitoreando el proceso diario del desarrollo de las plantas (Bauer *et al.*, 1984). La tasa de desarrollo fenológico puede ser definida como el recíproco del tiempo requerido por la planta, para pasar de una etapa fenológica a otra (Soto *et al.*, 2009). El estudio fenológico de los cultivos facilita la planeación de operaciones, como son riegos, fertilización, aplicación de herbicidas o insecticidas y estimar el rendimiento del cultivo (Shaykewich, 1995), clasificar plantas de acuerdo a su floración, estimar la madurez y calendarizar la cosecha de los vegetales según su nivel de sensibilidad, etc. (Bonhomme, 2000). El método más simple para estimar o predecir el desarrollo de los cultivos, es el sistema de grados día (Bonhomme, 2000), que se refiere a la velocidad de la tasa de desarrollo de las plantas a temperatura del aire (Bauer *et al.*, 1984). Este método requiere de un registro diario de la temperatura máxima y mínima, para calcular las unidades calor diarias y mantener la suma de los grados día de crecimiento, usualmente promediando la temperatura máxima y mínima diaria y restando una temperatura base. La temperatura base es la temperatura por debajo de la cual no tiene lugar el desarrollo de las plantas y es específica para cada especie (Bauer *et al.*, 1984; Shaykewich, 1995).

### **2.3. Rendimiento de grano**

El rendimiento en cereales de grano pequeño es complejo y depende de caracteres ambientales, morfológicos y fisiológicos (Alam *et al.*, 2007). El rendimiento de grano se atribuye al efecto de la temperatura en los estados vegetativos y reproductivos de las plantas (Tambussi *et al.*, 2005).

En cereales de grano pequeño el rendimiento de grano está relacionado con la densidad de plantas, número de macollos, número de espigas por planta, número de espiguillas por espiga, número de granos por espiguilla y peso del grano (Jackson y Williams, 2006). El rendimiento de los cultivos es un carácter complejo que depende de factores ambientales, morfológicos y fisiológicos, siendo también afectados por las fechas de siembra (Alam *et al.*, 2007). El potencial de rendimiento se atribuye principalmente a características genéticas en conjunto con un buen manejo agronómico, bajo un ambiente favorable, el cual depende del efecto acumulativo de temperaturas óptimas en los estados vegetativo y reproductivo del cultivo, aportando un mayor número de macollos fértiles, número de espigas y buen peso de mil granos (Alam *et al.*, 2007).

Los cultivares de cebada con hábitos de crecimiento de invierno a menudo tienen mayor potencial de rendimiento que las cebadas de primavera, debido a que el llenado de grano ocurre en condiciones frescas, en comparación con las cebadas de primavera donde no se cumple esta condición (Horsley *et al.*, 2009).

### **2.3.1. Estabilidad del rendimiento de grano**

El rendimiento de grano es el principal rasgo de selección en programas de mejoramiento genético, destinado a aumentar el potencial de rendimiento y lograr una adaptación a ambientes sujetos a condiciones de estrés (Araus *et al.*, 2008). El término estabilidad se utiliza para caracterizar a un genotipo, el cual muestra un rendimiento relativamente constante, independientemente de las condiciones ambientales cambiantes. Sobre la base de esta idea, los genotipos con una varianza mínima para rendimiento a través de diferentes ambientes son considerados estables (Mut *et al.*, 2010).

El estudio de la interacción del genotipo, su adaptabilidad en el ambiente y estabilidad del rendimiento es muy importante en el desarrollo de nuevos cultivares, además es uno de los principales problemas en la selección de variedades para diferentes ambientes (Bolandi *et al.*, 2012). Por tanto, la evaluación basada en varios años y ambientes, es decir, en multi-ambientes, es una buena estrategia a seguir en los programas de mejoramiento (Mut *et al.*, 2010). A menudo, los genotipos muestran adaptaciones específicas a determinadas condiciones ambientales (Bolandi *et al.*, 2012). Cuando los genotipos crecen en ambientes muy pobres, los cultivares seleccionados para condiciones de bajo rendimiento, probablemente se desempeñen mejor que los liberados para entornos de alto rendimiento y viceversa (Tambussi *et al.*, 2005). Bouzerzour *et al.* (1996) mencionan que los estudios de estabilidad del rendimiento de grano en cebada, muestran la diferencia entre cultivares en respuesta a las diferentes condiciones ambientales, estos resultados sugieren que los genotipos deben agruparse en base a patrones similares de respuesta a las condiciones ambientales, por tanto, los genotipos deben cultivarse por regiones, en vez de buscar una adaptabilidad general.

### **2.3.2. Factores ambientales que afectan la producción**

Las plantas crecen en un amplio rango de ambientes, con grandes variaciones estacionales de temperatura, incluyendo las heladas, por lo cual la planta enfrenta diversas variaciones de temperatura en un solo día o en cuestión de minutos (Gaspar *et al.*, 2002). Casi todos los organismos tienen que vivir y sobrevivir en un ambiente en tiempo (clima y otros organismos) y espacio (topografía, suelo, otros organismos), esto implica que los organismos no puedan adaptarse de manera óptima todo el tiempo, sino que deben estar bajo estrés por lo menos una parte de su ciclo biológico (Parlevliet, 1990).

Factores como luz, agua, disponibilidad de nutrientes, CO<sub>2</sub> y salinidad, influyen en la sincronización de los estados de desarrollo de las plantas, pero generalmente la temperatura se considera como el factor más importante (McMaster *et al.*, 2005). Los efectos de la temperatura sobre los fenómenos fisiológicos son numerosos, entre ellos la actividad fotosintética, tasa de respiración o desarrollo del cultivo (Bonhomme, 2000). La velocidad de desarrollo de los cereales de grano pequeño, es fuertemente afectada por la temperatura y la temperatura óptima varía entre especies (Bauer *et al.*, 1984). El desarrollo fenológico de los cereales desde emergencia hasta madurez fisiológica, es controlado en gran medida por la temperatura, pero también es afectado por la longitud del día y potenciales de estrés fisiológico, y las respuestas pueden variar entre especies y variedades (Olesen *et al.*, 2012). La fluctuación de temperaturas extremas pueden afectar la supervivencia de algunos órganos de las plantas, altas temperaturas en la etapa de floración pueden reducir el potencial del número de semillas o granos, que subsecuentemente contribuyen al rendimiento del cultivo (Wheeler *et al.*, 2000).

Los factores de estrés biótico con frecuencia limitan el crecimiento y desarrollo de los cereales (Araus *et al.*, 2008), debido a que las plantas se limitan al lugar donde crecen, además tienen una capacidad limitada para evitar cambios desfavorables impredecibles en su entorno (Gaspar *et al.*, 2002). Dentro de una ubicación específica, las fases de desarrollo y rendimiento de grano pueden variar, dependiendo de factores como la disponibilidad de humedad y la temperatura, atribuidos al factor ambiente (Turuspekov *et al.*, 2013). Por tanto, para maximizar el potencial de rendimiento en cualquier ambiente, se requiere que las plantas maximicen el uso de los recursos, como el agua y la energía de radiación, y evitar situaciones de estrés durante el crecimiento y desarrollo del grano (Snape *et al.*, 2001).

### 2.3.3. Estrés por calor

El estrés por calor ocasionado por el aumento de temperaturas es un problema agrícola en muchas áreas del mundo. Temperaturas transitorias o constantemente altas causan una serie de cambios morfo-anatómicos, fisiológicos o químicos en las plantas, que afectan el crecimiento y desarrollo de la planta y pueden llevar a una drástica reducción del rendimiento económico (Wahid *et al.*, 2007).

El estrés por calor a menudo se define como el aumento de la temperatura por un periodo de tiempo suficiente que causó un daño irreversible en el crecimiento y desarrollo de la planta (Wahid *et al.*, 2007). El calor acelera el crecimiento y desarrollo de las plantas, de tal modo que, las especies anuales que tienen ciclos de vida cortos, tienen menos oportunidades de interceptar la radiación y realizar fotosíntesis, además de tener una fase reproductiva más corta, que resulta en menores rendimientos (Bentley *et al.*, 2013). El estrés por calor afecta negativamente un número de etapas reproductivas clave, incluyendo la viabilidad del polen, interacción polen-pistilo, inhibición de la dehiscencia de las anteras, fertilización, y la formación del grano, como consecuencia se genera una severa disminución del rendimiento (Hedhly, 2011; Bentley *et al.*, 2013). El estrés por calor afecta el crecimiento de las plantas en toda su ontogenia, durante la germinación, el estrés por calor puede reducir la velocidad o inhibir totalmente la germinación, dependiendo de la especie y la intensidad del estrés. En etapas posteriores, las altas temperaturas pueden afectar negativamente la fotosíntesis, respiración, relaciones de agua y estabilidad de la membrana y también modular los niveles de hormonas y metabolitos primarios y secundarios (Wahid *et al.*, 2007).

Breves exposiciones de las plantas a estrés por calor durante el llenado de grano pueden acelerar el ciclo de cultivo, disminuir el peso de semilla y cantidad de semillas, y reducir el

rendimiento de grano. Bajo condiciones de estrés las plantas tienden a desviar los recursos para hacer frente al estrés por calor y consecuentemente limita los fotosintatos que estarían disponibles para el desarrollo reproductivo (Wahid *et al.*, 2007). En los cereales, el estrés por calor afecta el llenado de grano, además la etapa de mayor sensibilidad responsable de la pérdida en el número de granos se produce antes de la emergencia de la espiga o de la panícula de la vaina de la hoja bandera (Dolferus *et al.*, 2011).

Investigaciones realizadas en cereales de grano pequeño muestran el efecto negativo del estrés por calor durante el desarrollo de las plantas: en trigo la variación de la temperatura influyó en el comportamiento del rendimiento de grano, independientemente del potencial de rendimiento de la variedad (Asseng *et al.*, 2011); Balla *et al.* (2009) mencionan que el estrés por calor durante el llenado de grano condujo a una reducción significativa en los parámetros de rendimiento en trigo; Hakala *et al.* (2012) señalan que temperaturas  $\geq$  a 25 °C una semana antes o dos semanas después del embuche reducen significativamente el rendimiento en cebada; Alam *et al.* (2007) indican que altas temperaturas particularmente durante el llenado de grano, reducen el peso de grano, y por consiguiente el rendimiento de grano en cebada; mientras que altas temperaturas seguidas por déficit de humedad del suelo afectaron todas las etapas de desarrollo en cebada y trigo, desde la germinación hasta la etapa reproductiva del cultivo, reduciendo drásticamente el rendimiento (Hossain *et al.*, 2012).

#### **2.3.4. Estrés por frío**

En el campo, los cultivos están expuestos a un gran número de factores que pueden obstaculizar su crecimiento y desarrollo, debido a factores de estrés abiótico, en el cual se consideran condiciones como el anegamiento, sequía, acidez en el suelo, viento, granizo, calor y heladas (Parlevliet, 1990).

El descenso de la temperatura causa enormes pérdidas en la agricultura, especialmente en cultivos de climas templados. El estrés por frío, incluye tanto el daño por frío, así como el daño por congelación, además es uno de los estreses abióticos más importantes en la agricultura, que afecta tanto el desarrollo de la planta como el rendimiento (Thakur *et al.*, 2010). El estrés producido por la fluctuación de la temperatura afecta diferentes procesos fisiológicos como también el desarrollo de las plantas, además limita la adaptación de las plantas, especialmente cuando coincide con estados críticos de desarrollo de las plantas (Hedhly, 2011). El estrés por frío afecta tanto la fase vegetativa como la reproductiva del ciclo de vida de las plantas, siendo esta última más susceptible causando anomalías estructurales y funcionales en los órganos reproductivos. El estrés por frío durante la fase reproductiva induce reducción en las tasas metabólicas, abscisión de la flor, esterilidad del polen, distorsión del tubo polínico, aborto del óvulo, o alteración de la división y diferenciación celular. También reduce la tasa y duración del periodo de llenado de grano, inhibiendo la acumulación de proteínas, minerales y aminoácidos en el grano (Thakur *et al.*, 2010). En arroz, el estrés por frío combinado con sequía en la etapa joven de las microsporas en el desarrollo del polen, tienen un fuerte impacto en el número de granos, como consecuencia de la esterilidad del polen (Dolferus *et al.*, 2011). En trigo, la ocurrencia de heladas durante la etapa de anthesis puede producir una completa esterilidad de la espiga (Thakur *et al.*, 2010).

En cereales de grano pequeño los síntomas del daño por helada pueden variar ampliamente, los cultivos tienden a dañarse esporádicamente y no todas las plantas muestran síntomas evidentes (Loss, 2005). Entre los daños causados esta la restricción en la extensión del entrenudo, la muerte de espiguillas y una posterior reducción en el rendimiento de grano (Whaley *et al.*, 2004).

El daño más visible en la espiga es el desecamiento, si la espiga está parcialmente emergida durante la helada, una parte o la totalidad de la espiga puede marchitarse. Es difícil evaluar con precisión el daño que causa una helada, debido a su naturaleza irregular y su dificultad en la predicción de compensación que puede ocurrir durante el llenado de grano, puesto que los granos no afectados tienden a llenar a un tamaño más grande de lo normal, debido a la reducción del número de granos (Loss, 2005). La tolerancia a las heladas es una característica compleja que es el resultado de las actividades de muchos genes y la participación de muchas sustancias, así como cambios en las células y tejidos de las plantas (Prásil *et al.*, 2007).

#### **2.3.5. Fechas de siembra**

El cultivar ideal debe contar con un potencial genético para alto rendimiento, expresado bajo un amplio rango de ambientes contrastantes, es decir con un rendimiento estable a un alto nivel. Esto es posible, sólo si el cultivar muestra resistencia a distintos factores de estrés que puedan ocurrir en la zona donde se cultiva (Parlevliet, 1990). Investigaciones previas en cereales de grano pequeño, muestran efectos negativos relacionados a la fecha de siembra: Mendoza *et al.* (2011), mencionan que en semilla de triticale ocurre una disminución del rendimiento, debido a la fluctuación de las condiciones climáticas, principalmente de temperatura, humedad y fotoperiodo. Las siembras tardías generalmente aceleran el desarrollo de los cultivos, y consecuentemente reducen el periodo de llenado de grano, afectando el rendimiento en cebada (Paynter *et al.*, 2001) y en trigo (Solís *et al.*, 2004).

O'Donovan *et al.* (2012) mencionan que en cebada, el principal efecto de siembras tardías son los días a madurez, concentración de proteína, disminución de la redondez del grano y rendimiento de grano, como consecuencia de la ocurrencia de altas temperaturas durante el periodo de crecimiento. El retraso de la fecha de siembra reduce la duración relativa de cada fase de crecimiento (Paynter *et al.*, 2001), por consiguiente, disminuye el número de macollos por planta, altura de planta, longitud de espiga, número de espigas y peso de mil semillas, los cuales contribuyen al rendimiento de semilla (Alam *et al.*, 2007).

Se ha demostrado que fechas de siembra óptimas contribuyen a un mayor peso de mil granos, número de espigas por metro cuadrado, y rendimiento de grano, en comparación a siembras tardías (Aslani y Mehrvar., 2012). Suaste-Franco *et al.* (2013) mencionan que para el caso de trigo en la región de El Bajío, fechas de siembra adecuadas permiten mayor rendimiento de grano, asociado a una mayor acumulación de biomasa, número de granos por metro cuadrado, número de granos por espiga y peso de grano, mientras que siembras tardías exponen las plantas a temperaturas altas, acortando el periodo de llenado de grano y reduciendo el rendimiento.

### **2.3.6. Cambio climático**

El cambio climático es el resultado de la acumulación de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero, cuya acumulación se prevé pueda ocasionar una multitud de efectos ambientales desfavorables, teniendo en cuenta cambios climáticos regionales, en especial el incremento de temperatura, responsable de cambios observables en los sistemas naturales de las plantas, y que probablemente también tenga repercusiones en la producción mundial de los cultivos (Bentley *et al.*, 2013). Aunque estos cambios dependerán también del efecto del fitomejoramiento y la elección de variedades apropiadas para sembrar (Olesen *et al.*, 2012).

El cambio climático global prevé una mayor frecuencia de fenómenos extremos, como son olas de calor y sequías prolongadas, por tanto, la adaptación de los cultivos será importante para reducir los daños en la agricultura (Hakala *et al.*, 2012). Esto implica el acortamiento del periodo de crecimiento de las plantas, influyendo en una floración y maduración temprana, que muy probablemente llevará a una reducción del rendimiento de los cultivos (Olesen *et al.*, 2012).

## **2.4. Producción de semillas**

La producción de semillas esta entre las actividades más rentables en el campo de la agricultura, las áreas que ocupa son pequeñas en relación con la producción comercial de grano, pero sus efectos financieros son significativamente altos (Milošević *et al.*, 2010). Las diferencias en la calidad de la semilla en diferentes regiones, es el resultado de las condiciones ambientales en las cuales se produce el cultivo y las prácticas de manejo agronómico realizadas por los agricultores. Consecuentemente, la producción de semillas debe ubicarse en zonas con regiones climáticas favorables, con condiciones frescas y secas, y estar libre de factores de estrés abiótico y biótico durante todo el período de crecimiento del cultivo (Bishaw *et al.*, 2012). En la producción de semilla de cebada deben considerarse aspectos del clima, patrones del cultivo, estado de nutrientes en el suelo, plagas y enfermedades, debido a que todos interactúan e influyen entre sí (Parlevliet, 1990).

### **2.4.1. Características de calidad en semillas**

La semilla es una unidad reproductiva compleja, la cual se forma a partir del óvulo vegetal, generalmente después de la fertilización (Doria, 2010).

La semilla marca el comienzo de la producción de plantas y su calidad es prioritaria y un prerequisite para la obtención de buenos rendimientos en todas las especies vegetales (Milošević *et al.*, 2010). Una semilla de buena calidad permite sustentar las actividades agrícolas, mejorando la producción en términos de calidad y rentabilidad (Doria, 2010). La máxima calidad de las semillas generalmente ocurre al final del período de llenado de grano o ligeramente después de esta fase, sin embargo, después de que las semillas alcanzan la máxima calidad, estas tienden a envejecer y los procesos de deterioro comienzan (Hamdollah, 2012). Generalmente las semillas no alcanzan su madurez fisiológica simultáneamente, por tanto, cualquier cosecha de semillas a granel contendrá semillas a partir de una gama de etapas de desarrollo y por lo tanto de diferentes niveles de calidad (Bewley *et al.*, 2013).

Se consideran cuatro atributos básicos en la calidad de las semillas: calidad genética, se refiere a características genéticas específicas inherentes a la constitución genética contenida en la semilla que proporciona el potencial para altos rendimientos, mejor calidad de semilla y tolerancia a factores bióticos y abióticos; calidad fisiológica, referente a semillas con alta viabilidad, germinación y vigor que determinan el potencial de germinación y la posterior emergencia de plántulas y establecimiento del cultivo en campo; calidad física, caracterizada por un mínimo de semillas dañadas, semillas de malezas o materia inerte y semillas con tamaño y peso uniforme, y finalmente; la calidad sanitaria, referente a la presencia o ausencia de enfermedades u organismos causantes, como son hongos, bacterias, virus, insectos, nematodos, parásitos y malezas (Bishaw *et al.*, 2007; Corbineau, 2012). El establecimiento satisfactorio de plántulas en campo es una de las características más importantes en la producción de cultivos (Mohan *et al.*, 2013). El análisis de calidad se fundamenta en la capacidad de las semillas para germinar y producir plántulas normales (Doria, 2010).

### **2.4.2. Viabilidad**

La viabilidad se refiere a la capacidad de la semilla para germinar y producir una plántula normal (Flores, 2004), además determina la actividad y comportamiento de lotes de semilla con germinación comercialmente aceptable bajo diferentes condiciones ambientales (Milošević *et al.*, 2010). El estándar universal de calidad es la prueba de germinación en la cual el número de plántulas normales es el criterio de germinación (Matthews *et al.*, 2012).

La prueba de germinación normalmente se lleva a cabo bajo condiciones óptimas de luz, temperatura y humedad, por tanto dará información acerca de la viabilidad de una población de semillas, pero no proporcionará su comportamiento en campo cuando las condiciones de siembra no son óptimas (Corbineau, 2012).

### **2.4.3. Vigor**

El vigor se considera como la suma total de todas aquellas propiedades de la semilla, que determinan el nivel potencial de actividad y funcionamiento de una semilla o lote de semillas durante su germinación y emergencia, también puede definirse como el potencial para una germinación uniforme y rápido desarrollo de plántulas bajo una amplia gama de condiciones agroclimáticas (Flores, 2004; Corbineau, 2012). La rápida acumulación de peso seco en plántula se considera como un indicador útil del potencial de vigor de las plántulas (Briggs y Dunn, 2000). La velocidad de germinación, porcentaje de germinación, velocidad de crecimiento, longitud de raíz, longitud de tallo, peso fresco y seco de plántula, son de las características más importantes en la expresión del nivel de vigor de las semillas, las cuales generalmente están influenciadas por el cultivar y factores ambientales (Gharoobi, 2011).

Entre los factores que inducen variación en el nivel del vigor están la constitución genética, ambiente y nutrición de la planta madre, estado de madurez a la cosecha, tamaño de semilla, peso o gravedad específica, integridad mecánica, deterioro y envejecimiento, y la presencia de patógenos (Ellis, 1992). Evidentemente la calidad de la semilla depende en gran medida de numerosos factores que intervienen a lo largo de la vida de las semillas, y representa los efectos integrados del ambiente durante la producción, desde el desarrollo de la semilla y maduración en la planta madre, incluyendo aspectos como el manejo agronómico, condiciones de beneficio y almacenamiento después de la cosecha (Hamdollah, 2012).

El vigor de la semilla es importante para mejorar el establecimiento de plántulas, particularmente en regiones áridas y en áreas donde la temperatura del suelo es baja durante la época de siembra (Tyagi *et al.*, 2011).

#### **2.4.4. Latencia de semillas**

La característica de latencia es indeseable en un cultivo agrícola, por lo que ha sido una tendencia a seleccionar plantas sin o con baja latencia, germinación uniforme y fructificación sincronizada. Generalmente las plantas con una larga historia de domesticación, muestran pocas semillas latentes, en comparación con las especies silvestres o recientemente domesticadas (ISTA, 2005). La latencia es el estado en el cual una semilla viable no germina, a pesar de colocarse en condiciones de humedad, temperatura, luz, oscuridad y concentración de oxígeno idóneas para su germinación (Baskin y Baskin, 2007). Entre los principales mecanismos que causan latencia en la semilla se encuentran factores ambientales como la exigencia de luz, bajas temperaturas, ausencia de agua, o bien por factores internos como la testa de la semilla, inmadurez del embrión, presencia de inhibidores y ausencia de promotores del crecimiento (Bidwell, 1983).

El grado de latencia de las semillas depende de la interacción genotipo x ambiente, durante la maduración del cultivo, y la composición genética de la semilla (ISTA, 2005). El mecanismo de latencia es inducido por células especializadas que existen en prácticamente todas las especies de plantas (Flores, 2004). Entre las condiciones ambientales que promueven latencia se incluyen los días cortos, temperaturas frescas y alta humedad durante el periodo de llenado de semilla.

En cebada, la latencia es resultado de la interacción de factores genéticos y ambientales, algunas variedades de cebada muestran muy poca latencia a pesar de las condiciones de crecimiento, mientras que otras variedades presentan un periodo corto de latencia, el cual depende de las condiciones ambientales durante el periodo de llenado de grano. En ocasiones, la latencia puede superarse durante el almacenamiento. Para los productores de cebada, especialmente aquellos de altas latitudes y de climas más fríos, la latencia después de la postcosecha puede ser un problema significativo, debido a que los granos de cebada con latencia no pueden ser malteados y los estándares de malteo requieren que el 85 % de los granos completen la germinación en un periodo de 72 horas (Black y Bewley, 2000).

#### **2.4.5. Parámetros de calidad en grano y semilla de cebada maltera**

La norma mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003 establece las condiciones y características del grano de cebada maltera del género *Hordeum* especies *vulgare* L. y *distichum* L., para poder ser objeto de comercialización en territorio nacional. Se entiende por cebada maltera a las diferentes variedades de grano de seis y dos hileras, que por sus características físicas y químicas sean registradas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación como aptas para la producción de malta. La cebada maltera debe cumplir con varios parámetros y especificaciones (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1. Parámetros y especificaciones para cebada maltera grado México (NMX-FF-043-SCFI-2003).

|  |   |
|--|---|
| Parámetros   | Humedad entre 11.5 % y 13.5 %                         |
|  | Grano de tamaño para uso maltero mínimo 85 %          |
|  | Granos desnudos o quebrados máximo 5 %                |
|  | Impurezas máximo 2.0 %                                |
| Especificaciones                                     | Germinación mínima de 85 %                            |
|  | Grano dañado máximo 10 %                              |
|  | Mezcla de otras variedades máximo 10 %                |
|  | Peso hectolítrico:                                    |
|  | Cebadas de seis hileras mínimo 56 kg hL <sup>-1</sup> |
| Cebadas de dos hileras mínimo 58 kg hL <sup>-1</sup> |   |

Para el caso de uso para semilla, la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas publicada en el diario oficial de la federación (2007), establece las siguientes categorías de semilla (parámetros descritos en el Cuadro 2.2):

Original: Como el producto de los trabajos de investigación, o mejoramiento de variedades de plantas, que permanecen bajo el control de su formador o mejorador, manteniendo la identidad de la variedad, y que además constituirán la fuente inicial para la producción de semillas de categoría básica.

Básica: Esta categoría es la fuente de todas las clases de semilla certificada, y es la multiplicación directa de las semillas originales, que se reproducen con el propósito de obtener un mayor volumen, cumpliendo con las normas para su certificación.

Registrada: Es la progenie de la semilla básica, o de las mismas semillas registradas, que conservan la identidad y pureza genética satisfactoria de la variedad, y se reproducen con el propósito de obtener un mayor volumen y cumpliendo con las normas para su certificación.

Certificada: Es la descendencia o multiplicación de las semillas básicas o registradas, cuyo proceso de producción cumple con las normas para su certificación.

Cuadro 2.2. Normas de certificación para laboratorio en los factores que se indican en las diferentes categorías de semilla de cebada (SNICS, 1975).

|  | Categoría de semilla |            |             |
|--|----------------------|------------|-------------|
|  | Básica               | Registrada | Certificada |
| Semilla pura (mínimo)                      | 98 %                 | 98 %       | 98 %        |
| Materia inerte (máximo)                    | 2 %                  | 2 %        | 2 %         |
| Semilla de otras variedades (máximo)       | Ninguna              | 10 por kg  | 25 por kg   |
| Semillas de cultivos inseparables (máximo) | Ninguna              | Ninguna    | 3 por kg    |
| Semillas de hierbas nocivas (máximo)       | Ninguna              | Ninguna    | Ninguna     |
| Germinación (mínimo)                       | 85 %                 | 85 %       | 85 %        |
| Humedad (máximo)                           | 13.0 %               | 13.0 %     | 13.0 %      |

## 2.5. LITERATURA CITADA

- Alam, M.Z., S.A. Haider and N.K. Paul. 2007. Yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) in relation to sowing times. *Journal of Biological Sciences*, 15: 139-145.
- Anderson P.M, E.A. Oelke and S.R. Simmons. 2008. Growth and development guide for spring barley. University of Minnesota Extension Service, WW-2548-D-GO.

- Aslani F. and M.R. Mehrvar. 2012. Responses of wheat genotypes as affected by different sowing dates. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 4(1): 72-74.
- Asseng S., I. Foster and N.C. Turner. 2011. The impact of temperature variability on wheat yields. *Global change biology*, 17: 997-1012.
- Araus J.L, G.A. Slafer, C. Royo and M.D. Serret. 2008. Breeding for Yield Potential and Stress Adaptation in Cereals. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27(6): 377-412.
- Backes G., J. Orabi, G. Fischbeck and A. Jahoor. 2006. Barley. C. Kole (*Ed.*), *In: Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants. Cereals and Millets.* Vol. 1, pp 155-210.
- Balla K., I. Karsai and O. Veisz. 2009. Analysis of the quality of wheat varieties at extremely high temperatures. *Cereal Research Communications*. 37: 13-16.
- Baskin J.M. and C.C. Baskin. 2007. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14: 1-16.
- Bauer, A., C. Fanning, J.W. Enz and C.V. Eberlein. 1984. Use of growing-degree days to determine spring wheat growth stages. Cooperative Extension Service, North Dakota State University of Agriculture and Applied Science, and U. S. Department of Agriculture Cooperating. Bulletin 37.
- Bentley A.R., E.F. Jensen, I.J. Mackay, H. Hönicka, M. Fladung, K. Hori, M. Yano, J.E. Mullet, I.P. Armstead, C. Hayes, D. Thorogood, A. Lovatt, R. Morris, N. Pullen, E. Mutasa-Göttgens and J. Cockram. 2013. Flowering Time. C. Kole (*ed.*), *In: Genomics and Breeding for Climate-Resilient Crops*, Vol. 2, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 1-66.
- Bewley J.D., J. Kent, W.M. Henk and H. Nonogaki. 2013. Development and Maturation. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*, 3rd Edition. pp 27-83.
- Bishaw Z., A.A. Niane and Y. Gan. 2007. Quality Seed Production. S.S. Yadav *et al.* (*eds.*), *In: Lentil: An Ancient Crop for Modern Times*, pp 349-383.
- Bishaw Z., P.C. Struik and A. J. G. Van Gastel. 2012. Farmers' Seed Sources and Seed Quality: 1. Physical and Physiological Quality. *Journal of Crop Improvement*, 26(5): 655-692.
- Bidwell R.G.S. 1983. *Fisiología vegetal*. 1ra edición. AGT EDITOR, S.A. 784 p.
- Black M. and J.D. Bewley. 2000. *Seed technology and its biological basis*. Sheffield Academic Press Ltd. USA. 419 p.

- Bolandi A., A.A. Imani, H. Shahbazi and A. Mehraban. 2012. The study of compatibility and stability of grain yield in barley advanced genotypes in tropical and subtropical reinfed regions. *Annals of Biological Research*, 3 (12):5540-5544.
- Bonhomme R. 2000. Bases and limits to using 'degree.day' units. *European Journal of Agronomy*, 13: 1-10.
- Briggs K.G. and G.J. Dunn. 2000. Variation amongst Canadian six-row spring barley cultivars for germination and emergence characteristics in controlled environments and in the field. *Canadian Journal of Plant Science*, 80: 247–253.
- Bouzerzour H., A. Djekoune and A. Benmahammed.1996. Genotypic similarity of performance and stability of environmental responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L). *Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc)*, 16(2): 33-38.
- CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2012. La biodiversidad en Guanajuato: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)/Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (IEE). México. 446 p.
- Corbineau F. 2012. Markers of seed quality: from present to future. *Seed Science Research*, 22: S61–S68.
- Dolferus R., X. Ji and R.A. Richards. 2011. Abiotic stress and control of grain number in cereals. *Plant Science*, 181: 331– 341.
- Doria J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31 (1): 74-85.
- Ellis R.H. 1992. Seed and seedling vigour in relation to crop growth and yield. *Plant Growth Regulation*, 11: 249-255.
- FAO. 2012. FAOSTAT: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>, consultado el 07 de mayo de 2014.
- Fischer R.A. 2011. Wheat physiology: a review of recent developments. *Crop and Pasture Science*, 62: 95-115.
- Flores A. 2004. Introducción a la tecnología de las semillas. Universidad Autónoma Chapingo. México. 160 p.
- Fox G. P. 2010. Chemical Composition in Barley Grains and Malt Quality. *In: Genetics and Improvement of Barley Malt Quality. Advanced Topics in Science and Technology in China*, pp. 63-98.

- Gaspar T., T. Franck, B. Bisbis, C. Kevers, L. Jouve, J.F. Hausman and J. Dommes. 2002. Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation*, 37: 263–285.
- Gharoobi, B. 2011. Effects of seed size on seedlings characteristics of five barley cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 1(4): 265-270.
- Hakala K., L. Jauhiainen, S.J., Himanen, R. Rötter, T. Salo and H. Kahiluoto. 2012. Climate change and agriculture paper: Sensitivity of barley varieties to weather in Finland. *Journal of Agricultural Science*, 150: 145-160.
- Hamdollah E. 2012. Seed quality variation of crop plants during seed development and maturation. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 3 (11), 557-560.
- Hasan Md.A., J.U. Ahmed, T. Hossain, Md.A. Khaleque Mian and Md. M. Haque. 2013. Evaluation of the physiological quality of wheat seed as influenced by high parent plant growth temperature. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 16(1): 69-74.
- Hedhly A. 2011. Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. *Environmental and Experimental Botany*, 74: 9– 16.
- Horsley R.D., J.D. Franckowiak and P.B. Schwarz. 2009. Barley. *In: Cereals*. Carena M.J. (ed.), *Handbook of Plant Breeding*. Vol. 3, pp 227-250.
- Hossain A., J.A. Teixeira da Silva, M.V. Lozovskaya, V.P. Zvolinsky and V.I. Mukhortov. 2012. High temperature combined with drought affect rainfed spring wheat and barley in south-eastern Russia: Yield, relative performance and heat susceptibility index. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 4(11): 184-196.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2005. *International Rules for Seed Testing*. Rules. 2005. ISTA Editions, Zurich, Switzerland. 243 p.
- Jackson L. and J. Williams. 2006. Growth and development of small grains. *Small grain production manual part 2*. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Cooperative Extension. Publication 8165.
- Loss E. 2005. Symptoms of frost damage in cereals. Department of Agriculture and Food. Government of Western Australia. [http://www.agric.wa.gov.au/PC\\_92059.html](http://www.agric.wa.gov.au/PC_92059.html). Consultado el 09 de febrero de 2014.
- Matthews S., E. Noli, I. Demir, M. Khajeh-Hosseini and M.H. Wagner. 2012. Evaluation of seed quality: from physiology to international standardization. *Seed Science Research*, 22: S69–S73.

- McMaster, G.S., W.W. Wilhelm and A.B. Frank. 2005. Developmental sequences for simulating crop phenology for water-limiting conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56: 1277-1288.
- Mendoza M., E. Cortez, J.G. Rivera, J.A. Rangel, E. Andrio y F. Cervantes. 2011. Época y densidad de siembra en la producción y calidad de semilla de triticale (*X Triticosecale* Wittmack). *Agronomía Mesoamericana*, 22(2):309-316.
- Milošević M., M. Vujaković and D. Karagić. 2010. Vigour tests as indicators of seed viability. *Genetika*, 42(1): 103-118.
- Mohan A., W.F. Schillinger and K.S. Gill. 2013. Wheat seedling emergence from deep planting depths and its relationship with coleoptile length. *PLOS ONE*, 8(9): e73314.
- Molina C.J. 1989. La cebada. Morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales. *Mundi-Prensa (Ed.)*, Madrid, España. 252 p.
- Mut Z., A. Gülümser and A. Sirat. 2010. Comparison of stability statistics for yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). *African Journal of Biotechnology*, 9 (11): 1610-1618.
- 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.
- Olesen J.E., C.D. Borgeesen, L. Elsgaard, T. Palosuo, R.P. Rotter, A.O. Skjelvag, P. Peltonen-Sainio, T. Borjesson, M. Trnka, F. Ewert, S. Siebert, N. Brisson, J. Eitzinger, E.D. van Asselt, M. Oberforster, and H.J. van der Fels-Klerx. 2012. Changes in time of sowing, flowering and maturity of cereals in Europe under climate change. *Food Additives and Contaminants: Part A*, 29(10): 1527-1542.
- O'Donovan J. T., T.K. Turkington, M.J. Edney, P.E. Juskiw, R.H. McKenzie, K.N. Harker, G.W. Clayton, G.P. Lafond, C.A. Grant, S. Brandt, E.N. Johnson, W.E. May and E. Smith. 2012. Effect of seedling date and seedling rate on malting barley production in western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 92: 321-330.
- Parlevliet J.E. 1990. Stability of stress resistance to biotic and abiotic stress factors. *In: Proceedings of the International Symposium on Biotic Stress of Barley in Arid and Semi-Arid Environments*. The International Center for Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA). Huntley Lodge Big Sky, Montana. pág. 33-46.
- Paynter, B.H., P.E. Juskiw, and J.H. Helm. 2001. Phenological development in two-row spring barley when grown in a long-day (Alberta, Canada) and a short-day (Western Australia, Australia) environment. *Canadian Journal of Plant Science*, 81: 621–629.

- Prásil I.T., P. Prásilová and P. Marík. 2007. Comparative study of direct and indirect evaluations of frost tolerance in barley. *Field Crops Research*, 102: 1-8.
- Schulze J. 2014. Barley. A. Pratap and J. Kumar (*eds.*), *In: Alien Gene Transfer in Crop Plants*, Vol. 2, Achievements and Impacts, pp 85-120.
- Shaykewich C.F. 1995. An appraisal of cereal crop phenology modelling. *Canadian Journal of Plant Science*, 75:329-341.
- SIAP. SAGARPA.2012. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx>, consultado el 27 de julio de 2014.
- Snape J.W., K. Butterworth, E. Whitechurch and A.J. Worland. 2001. Waiting for fine times: genetics of flowering time in wheat. *Euphytica*, 119: 185–190.
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 1975. Normas para la certificación de semillas. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Agricultura. México, D. F. 91 p.
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2007. Ley sobre producción, certificación y comercio de semillas. Publicada en DOF 15-Junio-2007.
- Solano S., M. Zamora, F.P. Gámez, J.J. García, R. Sánchez, J. Ireta, F. Díaz y R. Garza. 2009. Alina, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Agricultura Técnica en México*, 35 (4): 467-469.
- Solís E., M. Hernández, A. Borodanenko, J.L. Aguilar y O.A. Grajeda. 2004. Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4): 323-332.
- Soto F., R. Plana y N. Hernández. 2009. Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum ssp. aestivum*) y triticale (*X Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento. *Cultivos Tropicales*, 30(3): 32-36.
- Steffen C. y F. Echánove. 2005-2. La sustitución del trigo por cebada en tierras ejidales de riego de Guanajuato, México: una alternativa efímera. *Cuadernos Geográficos*, 37: 135-151.
- Suaste-Franco M.P., E. Solís-Moya, L. Ledesma-Ramírez, M.L. de la Cruz-Gonzalez, O.A. Grajeda-Cabrera y A. Báez-Pérez. 2013. Efecto de la densidad y método de siembra en el rendimiento de grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) en El Bajío, México. *Agrociencia*, 47: 159-170.

- Sun D.F. and X. Gong. 2010. Barley Germplasm and Utilization. *In: Genetics and Improvement of Barley Malt Quality Advanced Topics in Science and Technology in China*, pp 18-62.
- Tambussi E.A., S. Nogués, P. Ferrio, J. Voltas and J.L. Araus. 2005. Does higher yield potential improve barley performance in Mediterranean conditions? A case study. *Field Crops Research*, 91: 149–160.
- Thakur P., S. Kumar, J.A. Malik, J.D. Berger and H. Nayyar. 2010. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 67: 429-443.
- Turuspekov Y., B. Sariiev, V. Chudinov, G. Sereda, L. Tokhetova, A. Ortaev, V. Tsygankov, M. Doszhanov, S. Volis, and S. Abugalieva. 2013. Genotype × Environment interaction patterns for grain yield of spring barley in different regions of Kazakhstan. *Russian Journal of Genetics*, 49(2): 196–205.
- Tyagi K., M.R. Park, H.J. Lee, C.A. Lee, S. Rehman, B. Steffenson, K.J. Lee and S.J. Yun. 2011. Diversity for seedling vigor in wild barley (*Hordeum vulgare* L. *subsp.spontaneum*) germplasm. *Pakistan Journal of Botany*, 43(3): 2167-2173.
- Ullrich S.E. 2011. Significance, Adaptation, Production, and Trade of Barley. *In Barley: Production, Improvement, and Uses*. Ullrich S. E. (ed.), Wiley-Blackwell Publishing Ltd. Iowa, USA. pp. 3-13.
- Wahid A., S. Gelani, M. Ashraf and M.R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61: 199–223.
- Whaley J.M., E.J. Kirby, J.H. Spink, M.J. Foulkes and D.L. Sparkes. 2004. Frost damage to winter wheat in the UK: the effect of plant population density. *European Journal of Agronomy*, 21: 105-115.
- Wheeler T.R., P.Q. Craufurd, R.H. Ellis, J.R. Porter and P.V. Vara. 2000. Temperature variability and the yield of annual crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 82: 159–167.
- Zamora M., S. Solano, R. Garza, J. Islas, R. Huerta y M. López. 2010. Armida, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(5): 723-726.

### CAPÍTULO III. FENOLOGÍA DE GENOTIPOS DE CEBADA MALTERA

#### RESUMEN

La temperatura es un factor importante que determina la duración de las etapas de crecimiento y desarrollo de las plantas. Con el objetivo de observar la influencia que ejerce la temperatura sobre la duración del ciclo biológico de diez genotipos de cebada maltera, se determinó el requerimiento de unidades calor (UC) de las siguientes etapas fenológicas: emergencia, embuche, espigamiento, grano acuoso, grano masoso suave, grano masoso duro y madurez fisiológica. Los genotipos fueron cultivados en cinco fechas de siembra; noviembre 15 (FS1) y 30 (FS2), diciembre 15 (FS3) y 30 (FS4) y enero 15 (FS5), en El Bajío, bajo condiciones de riego en el ciclo otoño-invierno 2012-2013. Los datos de temperatura máxima y mínima del aire se tomaron de la estación meteorológica CEBAJ- INIFAP. Los resultados obtenidos confirmaron la influencia de la temperatura en la duración de cada etapa fenológica, independientemente del genotipo. La acumulación de UC para pasar de una etapa fenológica a otra difirió entre fechas de siembra para todos los genotipos, sus valores más altos se observaron en la FS1 y disminuyeron conforme la siembra se hizo más tarde. La diferencia en requerimiento de UC entre genotipos fue notoria a partir de la etapa de embuche, indicando que la duración de cada etapa fenológica depende del genotipo. En base al análisis de conglomerados, se distinguieron tres grupos, el primero integrado por M-173, Armida y Alina, el segundo constituido por Esmeralda, M-174, M-176, M-177 y M-10542, y el tercero formado por Adabella y Esperanza.

**Palabras clave:** *Hordeum vulgare* L., fenología, unidades calor.

### 3.1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento y desarrollo de los cereales de grano pequeño sigue patrones muy similares, el desarrollo de la planta es dividido en varias etapas: germinación y crecimiento temprano de plántulas, amacollamiento y crecimiento vegetativo, elongación del tallo y espigamiento, y floración y desarrollo del grano (Jackson y Williams, 2006). Sin embargo, se debe considerar que las plantas viven en un ambiente variable, siendo la temperatura el factor más importante que determina la duración de las fases de desarrollo del cultivo (Gallagher *et al.*, 1976). En cebada, la temperatura y la humedad del ambiente influyen significativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Castañeda *et al.*, 2004). A menudo, el crecimiento y desarrollo del cultivo es descrito en términos de días, no obstante, determinar el desarrollo en términos de tiempo térmico es más preciso, pues se refiere a la acumulación de calor necesaria para la ocurrencia de los distintos estados fenológicos del cultivo (Salazar *et al.*, 2013). Los cereales así como cualquier otro cultivo, requieren determinada acumulación de calor para pasar de una etapa fenológica a otra (Soto *et al.*, 2009). La tasa de desarrollo fenológico puede ser definida como el recíproco del tiempo requerido por la planta para pasar de una etapa fenológica a otra (Shaykewich, 1995).

La fenología se define como el estudio de los fenómenos periódicos o estacionales que presentan los organismos vivos y sus relaciones con el clima (van Vliet *et al.*, 2003). Las observaciones fenológicas en la agricultura, proporcionan información básica para los agricultores, conocer la información fenológica ayuda a la toma de decisiones para la correcta operación del tiempo, tales como la siembra, fertilización, riego, control de malezas y aplicación de herbicidas o insecticidas, sobre todo cuando este tipo de aplicaciones se hacen en una determinada etapa del cultivo (Shaykewich, 1995).

Asimismo, las observaciones fenológicas también pueden ayudar a dividir el tiempo de crecimiento de los cultivos, en diferentes períodos que son importantes para la formación de rendimiento, así es posible descubrir las relaciones entre el clima y el rendimiento del cultivo para diferentes periodos en los que se vea afectado algún componente del rendimiento (Chmielewski, 2013).

Diversas escalas numéricas han sido creadas para cuantificar los estados de desarrollo de los cereales de grano pequeño. Las escalas más comúnmente usadas son las de Feekes, Haun y Zadoks, siendo esta ultima la más aceptada mundialmente (Jackson y Williams, 2006). Existen modelos fenológicos para diversos cultivos basados en la temperatura del ambiente, los cuales han demostrado ser de utilidad para mejorar el manejo agronómico del cultivo (Shaykewich, 1995). Uno de los métodos más usado y el más simple es el sistema de unidades calor, en el que ciertas fases de desarrollo del ciclo de vida de las plantas son correlacionadas con la acumulación diaria de la temperatura del aire por encima de la temperatura base, debajo de la cual se asume que se inhibe la actividad fisiológica (Bauer *et al.*, 1984). Las unidades calor a menudo son utilizadas esencialmente para estimar o predecir las longitudes de las diferentes fases de desarrollo (Bonhomme, 2000). En cebada y trigo el uso de unidades calor, ha permitido conocer el comportamiento de diversos genotipos durante sus etapas de desarrollo, en beneficio de la producción (Dofing, 1992). El presente trabajo se efectuó con el objetivo de determinar el requerimiento de unidades calor en ocho etapas fenológicas de diez genotipos de cebada maltera cultivados en la región de El Bajío.

### 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron diez genotipos de cebada maltera proporcionados por El Programa Nacional de Cebada, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), cuyo nombre y descripción son los siguientes:

Alina, Armida y Esperanza, son variedades de cebada maltera para condiciones de riego para El Bajío, presentan tolerancia a enfermedades comunes en la región, poseen un alto potencial de rendimiento y tienen buena calidad industrial (Ramírez *et al.*, 1997; Solano *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010).

Adabella y Esmeralda, son variedades de cebada maltera para condiciones de temporal, presentan tolerancia a enfermedades comunes en Valles Altos y poseen buena calidad industrial (Zamora *et al.*, 1997; Zamora *et al.*, 2008).

Las líneas experimentales M-173, M-174, y M-10542 han sido seleccionadas para producción bajo condiciones de riego, presentan tolerancia a las principales enfermedades del cultivo, tienen buen potencial de rendimiento y buena calidad industrial.

Las líneas experimentales M-176 y M-177 han sido seleccionadas para condiciones de temporal, presentan tolerancia a las principales enfermedades del cultivo, tienen potencial de rendimiento aceptable y presentan buena calidad industrial.

La siembra del material experimental se realizó en cinco fechas de siembra: noviembre 15 (FS1) y 30 (FS2), diciembre 15 (FS3) y 30 (FS4) y enero 15 (FS5), en el ciclo otoño-invierno 2012-2013, en el Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto., perteneciente al INIFAP. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones. La siembra se realizó en surcos con separación de 30 cm, cada unidad experimental consistió de cuatro

surcos de 3.0 m de longitud, la densidad de siembra fue de 100 kg ha<sup>-1</sup> a excepción de la variedad Esperanza que fue de 120 kg ha<sup>-1</sup>. Se aplicó un riego al momento de la siembra, posteriormente a los 45, 70 y 90 días después de la siembra. El manejo agronómico empleado fue el recomendado por INIFAP para la región de El Bajío (Zamora *et al.*, 2010).

### 3.2.1. Variables evaluadas

**Requerimiento de unidades calor.** Se determinó en ocho etapas fenológicas, basado en el código decimal de Zadoks (Tottman, 1987), mediante la ecuación empleada por Paynter *et al.* (2001):

$$UC = \sum \left[ \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} > 0^{\circ}C \right]$$

En dónde;

UC= unidades calor

T<sub>max</sub>= es la temperatura máxima

T<sub>min</sub>= es la temperatura mínima

0 °C= temperatura base.

**Emergencia (EME).** Se evaluó de manera visual, se tomó cuando el 50 % de las plántulas habían emergido.

**Embuche (EMB).** Se evaluó de manera visual, se consideró cuando el 50 % de las aristas de la espiga habían salido de la hoja bandera.

**Espigamiento (ESP).** Se evaluó de manera visual, cuando el 50 % de las espigas habían emergido.

Una semana después del espigamiento, se realizaron muestreos cada cinco días, en cinco granos ubicados en la parte media de diferentes espigas del tallo principal, en cada unidad experimental, el procedimiento fue incrustar una uña en la parte media del grano, para determinar el llenado de grano en:

**Grano acuoso (GA).** Los granos mostraban externamente un color verde, en tanto que en el interior el fluido tenía una consistencia translúcida.

**Grano lechoso (GL).** Externamente los granos mostraban un color verde, mientras que en el interior el fluido era de color blanco lechoso.

**Grano masoso suave (GMS).** Los granos se caracterizaban por un color blanco en su interior y una consistencia semisólida.

**Grano masoso duro (GMS).** Al presionarse los granos tenían una consistencia sólida y se dificultaba incrustar la uña, los granos comenzaban a perder el color verde.

**Madurez fisiológica (MF).** Los granos perdieron completamente el color verde y no se podía incrustar la uña.

Los datos de temperatura fueron obtenidos de la estación meteorológica situada en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El CEBAJ se localiza en Celaya, Guanajuato a 20° 32' LN, 100° 48' LW y 1752 msnm.

### 3.2.2. Análisis estadístico

Se empleó el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2002). Se realizó un análisis de varianza combinado y prueba de comparación de medias (Tukey 0.05). Además, con el objetivo de agrupar los genotipos de cebada en base al requerimiento de unidades calor, se realizó un análisis de Conglomerados Jerárquico con base a distancias Euclidianas, usando el método Ward.

### 3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resulta interesante señalar como se pone de manifiesto la importancia de la fecha de siembra en la duración del ciclo de vida de las plantas, pues se observa que en promedio los genotipos sembrados el 15 de noviembre (FS1) completaron su ciclo biológico 16 días después que los que se sembraron el 15 de enero (FS5) (Figura 3.1). Estos resultados son similares a los obtenidos por Soto *et al.* (2009), quienes evaluando genotipos de trigo en diferentes fechas de siembra, observaron diferentes estados de desarrollo del cultivo después de haber transcurrido el mismo tiempo cronológico.

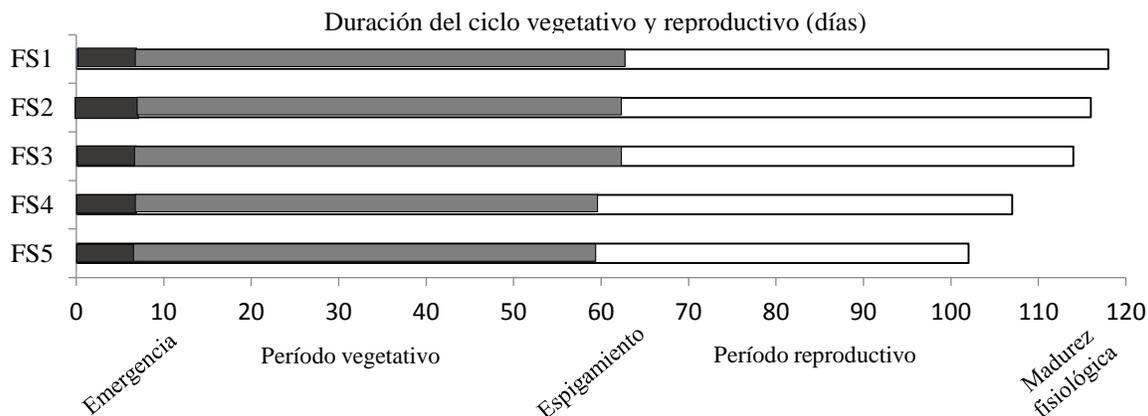


Figura 3.1. Duración del desarrollo fenológico desde emergencia hasta madurez fisiológica (días) en genotipos de cebada maltera cultivados en cinco fechas de siembra en El Bajío. Promedio de diez genotipos de cebada maltera.

En el cultivo de cebada, la temperatura es un factor importante que determina la duración de las diversas fases de crecimiento y desarrollo del cultivo (Gallagher *et al.*, 1976). Lo anterior se evidencia en la Figura 3.2, donde se presenta la temperatura media en cada una de las fases fenológicas evaluadas, en la FS4 y FS5 la temperatura media durante el llenado de grano, siempre fue superior a las presentes en la FS1 y FS2, mientras que en la FS3 solo hubo diferencias en la fase final del llenado de grano, estas variaciones de temperatura explican porque se acorto el ciclo de cultivo en siembras tardías.

Por otra parte, el análisis de varianza mostró diferencias significativas para fechas de siembra (FS) sobre la acumulación de unidades calor (UC) en las etapas fenológicas evaluadas (Cuadro 3.1), esto indica que las condiciones ambientales que inciden sobre el cultivo a través de fechas de siembra, de alguna manera alteran el desarrollo del cultivo. Generalmente, la duración relativa de cada fase de desarrollo del cultivo está influenciada por factores ambientales (Paynter *et al.*, 2001).

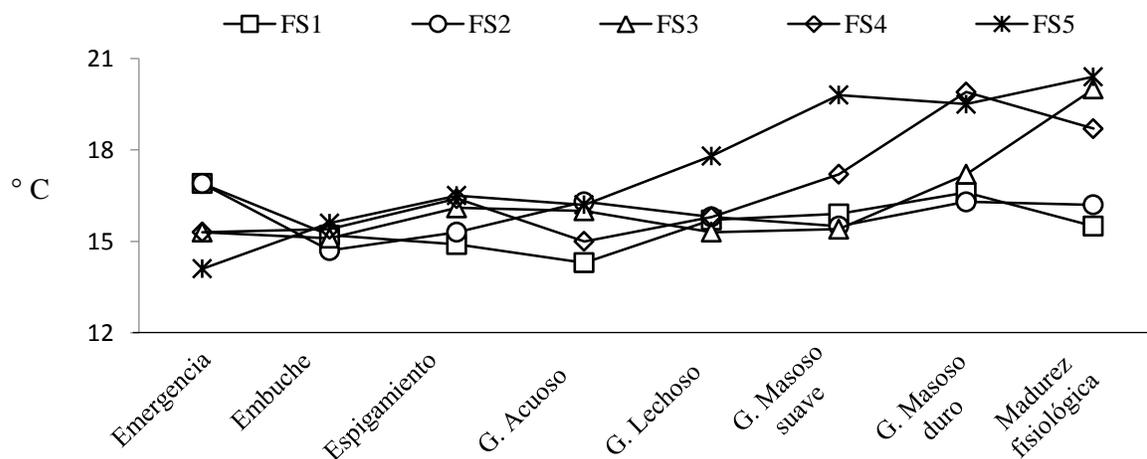


Figura 3.2. Temperatura media en cada una de las fases fenológicas de genotipos de cebada maltera cultivados en cinco fechas de siembra en El Bajío. Promedio de diez genotipos de cebada maltera.

Cuadro 3.1. Cuadrados medios y significancia estadística para la acumulación de unidades calor en diferentes etapas fenológicas de diez genotipos de cebada maltera a través de fechas de siembra.

| FV     | GL | EME    | EMB      | ESP      | GA       | GL       | GMS      | GMD      | MF       |
|--------|----|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| FS     | 9  | 2.29 * | 63.85 *  | 64.93 *  | 98.04 *  | 159.43 * | 264.31 * | 350.90 * | 526.06 * |
| G      | 4  | 0.34   | 112.59 * | 163.46 * | 159.75 * | 136.81 * | 128.91 * | 89.93 *  | 75.94 *  |
| G x FS | 36 | 0.13   | 1.97     | 1.48     | 1.35     | 1.10     | 1.75     | 2.04     | 2.66     |
| CV     |    | 6.10   | 3.26     | 2.95     | 2.87     | 2.34     | 2.28     | 1.99     | 2.01     |

\*= significativo (0.05); FV= factor de variación; GL= grados de libertad; FS=fecha de siembra; G= genotipos; CV; coeficiente de variación; EME= emergencia; EMB= embuche; ESP= espigamiento; GA= grano acuoso; GL= grano lechoso; GMS= Grano masoso suave; GMD= grano masoso duro; MF= madurez fisiológica.

La acumulación de UC para pasar de una etapa fenológica a otra, difirió entre fechas de siembra para todos los genotipos, sus valores más altos se observaron en la FS1 y disminuyeron conforme la siembra se hizo más tarde, de modo que los valores más bajos correspondieron a la FS5 (Cuadro 3.2). Resultados similares fueron obtenidos por Castillo y Santibáñez (1987), Manupeerapan y Pearson (1993), Prabhakar *et al.* (2007) y Amrawat *et al.* (2013) quienes evaluando la acumulación de UC en trigo, observaron que las primeras fechas de siembra requirieron mayor cantidad de UC para completar su ciclo biológico, y este requerimiento se redujo en siembras sucesivas posteriores. A menudo, el retraso de la siembra no permite un adecuado crecimiento vegetativo y reproductivo del cultivo, debido a la presencia de altas temperaturas durante las últimas etapas de desarrollo, que conllevan a la madurez forzada del cultivo, por tanto, el desplazamiento de fechas de siembra ésta relacionado con las fluctuaciones de temperatura, que promueven el alargamiento o acortamiento de los períodos de crecimiento y desarrollo (Prabhakar *et al.*, 2007).

Asimismo, Undersander y Christiansen (1986), mencionan que la disponibilidad de agua en el suelo juega un papel importante en la fenología de los cultivos, y debería ser incorporado en los modelos fenológicos para comprender mejor cómo las variables ambientales afectan el desarrollo del cultivo. Esto pudiera explicar porque a medida que se retrasó la fecha de siembra, el requerimiento de UC para pasar de una etapa fenológica a otra presentó variaciones en todos los genotipos.

La variación encontrada sobre el requerimiento de UC entre de fechas de siembra para cada genotipo, fue más evidente durante la etapa de llenado de grano, así tenemos que, los genotipos M-174 y M-176 mostraron mayor variación durante la etapa de grano acuoso (GA), esta variación persistió en el genotipo M-174 durante la etapa de grano lechoso (GL), mientras que en la etapa de grano masoso suave (GMS) la variación fue más evidente en Alina, M-173 y M-177 (Cuadro 3.3). Para grano masoso duro (GMD) se observó mayor variación en Esmeralda, Esperanza y M-177, mientras que para madurez fisiológica (MF) la variación fue más evidente en Esperanza (Cuadro 3.4). Al respecto, Paynter *et al.* (2001) mencionan que la duración del llenado de grano, se ve influenciada en gran medida por la disponibilidad de humedad, la cual puede explicar parte de la variación de los estudios realizados en condiciones de campo.

El requerimiento de UC mostró significancia para G en las etapas fenológicas evaluadas, a excepción de la etapa de emergencia (Cuadro 3.1). Para la etapa de emergencia (EME), a pesar de que la temperatura media presente en la FS4 y FS5 fue superior a las demás FS, no se encontraron diferencias estadísticas, debido a que durante la emergencia de plántulas, la temperatura del suelo es más importante que la temperatura del aire (Shaykewich, 1995).

Cuadro 3.2. Requerimiento de unidades calor (UC) a emergencia (EME), embuche (EMB) y espigamiento (ESP) de diez genotipos de cebada maltera cultivados en cinco fechas de siembra.

|     |                             | Adabella   | Alina    | Armida   | Esmeralda | Esperanza | M-173      | M-174     | M-176     | M-177     | M-10542   |
|-----|-----------------------------|------------|----------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| EME | FS1                         | 117.85 a   | 112.76 a | 108.55 a | 112.76 a  | 113.50 a  | 107.68 a   | 112.76 a  | 112.76 a  | 113.50 a  | 114.56 a  |
|     | FS2                         | 118.45 a   | 108.55 a | 107.68 a | 113.50 a  | 112.85 a  | 108.55 a   | 113.50 a  | 113.50 a  | 112.76 a  | 107.30 a  |
|     | FS3                         | 110.98 a   | 106.80 a | 107.30 a | 106.80 a  | 112.76 a  | 106.80 a   | 106.80 a  | 107.30 a  | 107.30 a  | 106.96 a  |
|     | FS4                         | 112.85 a   | 107.30 a | 106.80 a | 107.30 a  | 110.98 a  | 107.30 a   | 107.30 a  | 106.80 a  | 106.80 a  | 106.96 a  |
|     | FS5                         | 111.68 a   | 103.35 a | 103.35 a | 103.35 a  | 107.75 a  | 103.35 a   | 103.35 a  | 103.35 a  | 103.35 a  | 103.35 a  |
|     | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 20.86      | 17.37    | 17.37    | 17.37     | 22.61     | 17.37      | 17.37     | 17.37     | 17.37     | 12.22     |
|     | <b>Media</b>                | 114.36     | 107.75   | 106.74   | 108.74    | 111.57    | 106.74     | 108.74    | 108.74    | 108.74    | 107.83    |
| EMB | FS1                         | 920.22 a   | 781.52 a | 792.32 a | 879.48 a  | 915.10 a  | 745.25 a   | 829.03 a  | 910.38 a  | 855.05 a  | 904.78 a  |
|     | FS2                         | 935.63 a   | 782.72 a | 790.77 a | 850.33 ab | 905.23 ab | 749.36 a   | 825.08 a  | 905.33 a  | 849.58 ab | 879.93 a  |
|     | FS3                         | 904.78 a   | 771.37 a | 788.02 a | 820.55 ab | 888.95 ab | 725.30 ab  | 811.55 a  | 899.53 ab | 832.93 b  | 971.72 a  |
|     | FS4                         | 867.97 a   | 756.10 a | 773.02 a | 815.92 ab | 880.38 ab | 711.23 b   | 825.07 a  | 853.25 ab | 815.06 c  | 847.88 a  |
|     | FS5                         | 858.88 a   | 753.87 a | 720.02 a | 802.03 b  | 849.15 b  | 707.15 b   | 796.32 a  | 831.37 b  | 802.50 c  | 825.18 a  |
|     | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 86.08      | 53.87    | 92.55    | 75.69     | 61.52     | 30.89      | 52.81     | 73.72     | 17.71     | 86.93     |
|     | <b>Media</b>                | 897.50     | 769.12   | 772.83   | 833.66    | 887.76    | 727.66     | 817.41    | 879.97    | 831.02    | 885.90    |
| ESP | FS1                         | 1067.70 a  | 895.07 a | 889.22 a | 979.05 a  | 1053.30 a | 829.52 a   | 978.53 a  | 1010.12 a | 991.71 a  | 1000.48 a |
|     | FS2                         | 1048.53 ab | 890.77 a | 870.30 a | 957.25 ab | 1048.53 a | 820.35 ab  | 968.05 a  | 1013.50 a | 973.61 a  | 984.93 a  |
|     | FS3                         | 1019.93 ab | 888.95 a | 867.92 a | 944.41 b  | 1024.77 a | 806.20 abc | 952.30 ab | 1005.72 a | 967.18 ab | 981.85 a  |
|     | FS4                         | 1019.05 ab | 860.55 a | 864.20 a | 913.08 c  | 1024.68 a | 781.82 bc  | 930.52 ab | 998.75 a  | 942.31 b  | 954.18 ab |
|     | FS5                         | 992.87 b   | 858.88 a | 831.37 a | 901.38 c  | 967.97 b  | 773.17 c   | 911.37 b  | 973.35 a  | 901.70 c  | 928.40 b  |
|     | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 66.63      | 88.43    | 62.16    | 27.23     | 35.56     | 39.9       | 52.45     | 53.3      | 30.09     | 50.71     |
|     | <b>Media</b>                | 1029.62    | 878.84   | 864.60   | 939.03    | 1023.85   | 802.21     | 948.15    | 1000.29   | 955.30    | 969.97    |

†Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05).

Cuadro 3.3. Requerimiento de unidades calor (UC) a grano acuoso (GA), grano lechoso (GL) y grano masoso suave (GMS) de diez genotipos de cebada maltera cultivados en cinco fechas de siembra.

|     |                             | Adabella   | Alina      | Armida     | Esmeralda | Esperanza  | M-173      | M-174       | M-176      | M-177      | M-10542    |
|-----|-----------------------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| GA  | FS1                         | 1204.65 a  | 1053.12 a  | 1039.00 a  | 1127.70 a | 1215.97 a  | 979.05 a   | 1126.72 a   | 1162.90 a  | 1147.65 a  | 1157.70 a  |
|     | FS2                         | 1198.93 a  | 1053.77 a  | 1027.20 a  | 1122.85 a | 1208.75 a  | 974.07 a   | 1122.58 ab  | 1163.23 a  | 1147.26 a  | 1152.22 a  |
|     | FS3                         | 1181.90 a  | 1047.02 a  | 1019.05 a  | 1177.15 a | 1182.32 a  | 972.32 a   | 1106.78 abc | 1151.42 a  | 1134.05 a  | 1145.18 a  |
|     | FS4                         | 1179.48 a  | 1024.68 ab | 1007.02 a  | 1065.30 b | 1178.75 a  | 952.70 ab  | 1076.98 bc  | 1142.22 ab | 1100.50 b  | 1132.23 ab |
|     | FS5                         | 1137.33 a  | 979.02 b   | 952.40 b   | 1044.21 c | 1129.75 b  | 920.27 b   | 1061.65 c   | 1112.20 b  | 1061.90 c  | 1090.85 b  |
|     | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 73.92      | 58.96      | 46.95      | 13.58     | 38.61      | 49.94      | 47.23       | 38.54      | 31.54      | 50.13      |
|     | <b>Media</b>                | 1180.46    | 1031.52    | 1008.93    | 1107.44   | 1183.11    | 959.68     | 1098.94     | 1146.39    | 1118.27    | 1135.64    |
| GL  | FS1                         | 1373.47 a  | 1237.60 a  | 1215.50 a  | 1290.75 a | 1395.03 a  | 1158.05 a  | 1301.80 a   | 1324.43 a  | 1312.72 a  | 1324.43 a  |
|     | FS2                         | 1377.53 a  | 1234.15 a  | 1223.68 a  | 1295.20 a | 1394.97 a  | 1163.42 a  | 1311.38 a   | 1322.22 a  | 1311.23 a  | 1322.03 a  |
|     | FS3                         | 1353.05 ab | 1230.12 a  | 1119.53 a  | 1285.45 a | 1368.42 a  | 1161.80 a  | 1286.13 ab  | 1321.20 a  | 1303.62 a  | 1315.60 a  |
|     | FS4                         | 1342.60 ab | 1208.13 ab | 1179.48 a  | 1236.40 b | 1363.12 a  | 1132.23 a  | 1248.23 bc  | 1301.68 a  | 1278.35 ab | 1295.92 ab |
|     | FS5                         | 1292.15b   | 1161.45 b  | 1117.53 b  | 1207.08 b | 1313.92 b  | 1084.65 b  | 1226.98 c   | 1280.10 a  | 1240.62 b  | 1267.18 b  |
|     | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 66.63      | 47.89      | 51.44      | 39.72     | 33.19      | 43.35      | 46.07       | 50.26      | 50.94      | 43.23      |
|     | <b>Media</b>                | 1347.76    | 1214.29    | 1171.14    | 1262.98   | 1367.09    | 1140.03    | 1274.90     | 1309.93    | 1289.31    | 1305.03    |
| GMS | FS1                         | 1526.60 a  | 1416.31 a  | 1389.57 a  | 1461.18 a | 1554.67 a  | 1324.78 a  | 1482.05 a   | 1487.60 a  | 1493.15 a  | 1493.32 a  |
|     | FS2                         | 1523.38 a  | 1422.78 a  | 1382.50 a  | 1461.87 a | 1552.95 ab | 1327.67 a  | 1483.05 a   | 1488.55 a  | 1482.83 ab | 1488.55 a  |
|     | FS3                         | 1493.35 ab | 1394.85 ab | 1357.97 a  | 1445.47 a | 1518.93 ab | 1309.80 ab | 1445.75 ab  | 1474.88 ab | 1475.15 ab | 1469.13 a  |
|     | FS4                         | 1493.10 ab | 1387.51 b  | 1335.25 ab | 1380.63 b | 1511.05 bc | 1272.45 bc | 1419.58 b   | 1452.22 ab | 1445.52 bc | 1452.22 a  |
|     | FS5                         | 1448.20 b  | 1320.73 c  | 1239.23 b  | 1373.00 b | 1474.60 c  | 1233.68 c  | 1400.28 b   | 1419.97 b  | 1419.97 c  | 1445.92 a  |
|     | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 57.99      | 28.76      | 61.15      | 38.19     | 37.55      | 51.19      | 45.63       | 58.1       | 46.94      | 51.2       |
|     | <b>Media</b>                | 1496.93    | 1388.44    | 1340.90    | 1424.43   | 1523.32    | 1293.68    | 1446.14     | 1464.64    | 1463.32    | 1469.83    |

†Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05).

Cuadro 3.4. Requerimiento de unidades calor (UC) a grano masoso duro (GMD) y madurez fisiológica (MF) de diez genotipos de cebada maltera cultivados en cinco fechas de siembra.

|     |                             | Adabella  | Alina     | Armida    | Esmeralda  | Esperanza  | M-173     | M-174      | M-176      | M-177       | M-10542    |
|-----|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|-------------|------------|
| GMD | FS1                         | 1673.00 a | 1586.07 a | 1569.85 a | 1646.03 a  | 1725.15 a  | 1499.92 a | 1654.12 a  | 1637.32 a  | 1673.63 a   | 1660.57 a  |
|     | FS2                         | 1667.82 a | 1574.90 a | 1558.75 a | 1636.20 a  | 1707.05 ab | 1500.23 a | 1651.18 ab | 1632.13 a  | 1660.78 ab  | 1661.37 a  |
|     | FS3                         | 1650.35 a | 1573.88 a | 1540.07 a | 1621.60 ab | 1691.47 ab | 1481.32 a | 1640.47 ab | 1614.72 ab | 1644.30 abc | 1647.57 ab |
|     | FS4                         | 1640.87 a | 1565.98 a | 1531.85 a | 1593.00 bc | 1686.50 b  | 1474.53 a | 1619.33 ab | 1599.63 ab | 1634.18 bc  | 1625.77 ab |
|     | FS5                         | 1603.45 a | 1492.15 b | 1480.60 b | 1560.07 c  | 1646.68 c  | 1433.93 a | 1594.28 b  | 1580.55 b  | 1619.77 c   | 1594.28 b  |
|     | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 79.27     | 47.44     | 40.74     | 36.15      | 38.19      | 66.96     | 58.89      | 43.1       | 37.70       | 61.6       |
|     | <b>Media</b>                | 1647.10   | 1558.60   | 1536.22   | 1611.38    | 1691.37    | 1477.99   | 1631.88    | 1612.87    | 1646.53     | 1637.91    |
| MF  | FS1                         | 1810.88 a | 1760.10 a | 1725.15 a | 1771.92 a  | 1903.13 a  | 1654.75 a | 1805.28 a  | 1771.63 a  | 1851.92 a   | 1806.70 a  |
|     | FS2                         | 1811.37 a | 1759.55 a | 1719.08 a | 1782.85 a  | 1878.92 ab | 1641.07 a | 1815.73 a  | 1771.13 a  | 1827.95 ab  | 1809.82 a  |
|     | FS3                         | 1789.07 a | 1740.28 a | 1720.43 a | 1760.38 a  | 1833.60 bc | 1653.45 a | 1773.55 ab | 1747.22 a  | 1800.45 b   | 1787.00 ab |
|     | FS4                         | 1770.72 a | 1737.70 a | 1697.85 a | 1750.43 a  | 1826.10 bc | 1639.40 a | 1770.72 ab | 1725.70 a  | 1791.33 b   | 1770.72 ab |
|     | FS5                         | 1730.45 a | 1646.41 b | 1639.77 b | 1695.68 b  | 1803.80 c  | 1567.05 b | 1741.98 b  | 1711.32 a  | 1784.63 b   | 1741.98 b  |
|     | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 93.89     | 23.05     | 41.16     | 48.35      | 56.87      | 58.42     | 53.78      | 61.89      | 47.64       | 57.37      |
|     | <b>Media</b>                | 1782.50   | 1728.81   | 1700.46   | 1752.25    | 1849.11    | 1631.14   | 1781.45    | 1745.40    | 1811.25     | 1783.24    |

†Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05).

Analizando la acumulación de UC de cada etapa fenológica, se observa que la diferencia en requerimiento de UC entre genotipos fue notoria desde la etapa de embuche (EMB), tal como lo indica el análisis de varianza (Cuadro 3.1). Genotipos como M-173, Armida y Alina requirieron menor acumulación de UC, con una diferencia inferior a cien UC en comparación a genotipos como Adabella, Esperanza y M-10542 (Cuadro 3.2).

El requerimiento de UC para pasar de una etapa fenológica a otra dependió del cultivar. Así tenemos que, para Adabella, Esperanza, M-176 y M-10542 el requerimiento para alcanzar la etapa de embuche (EMB), fue similar a las requeridas por M-173, Alina y Armida para llegar a espigamiento (Cuadro 3.2). Cuando Adabella y Esperanza acumularon suficientes UC para espigamiento (ESP), Alina, Armida y M-173 ya estaban en la etapa de grano acuoso (GA). El requerimiento de M-176 y M-10542 para llegar a GA fue similar al requerimiento de M-173 para alcanzar la etapa de grano lechoso (GL), mientras que en este rango de UC Adabella y Esperanza aún no pasaban a la etapa de GA (Cuadro 3.3). Asimismo, el requerimiento de Adabella para llegar a GL fue semejante al requerimiento de Armida para alcanzar la etapa de grano masoso suave (GMS), mientras que el requerimiento de M-176, M-177 y M-10542 para pasar a GMS fue parecido al requerimiento de M-173 para alcanzar la etapa de grano masoso duro (GMD) (Cuadro 3.3). Del mismo modo, el requerimiento de Adabella, M-174, M-177 y M-10542 para llegar a GMS fue semejante al de M-173 para alcanzar madurez fisiológica (MF), mientras que el requerimiento de Esperanza para llegar a GMS fue similar al requerimiento de Armida para llegar a MF (Cuadro 3.4). Este comportamiento indica que la duración de cada etapa fenológica depende del genotipo, y es de gran importancia para definir cuándo realizar las diferentes prácticas agrícolas, para que el cultivo exprese su máximo potencial.

Respecto al análisis de conglomerados, y considerando una distancia Euclidiana de 0.10, se distinguen tres grupos, el primero integrado por M-173, Armida y Alina, el segundo constituido por Esmeralda, M-174, M-176, M-177 y M-10542, y el tercero formado por Adabella y Esperanza (Figura 3.3). En base al requerimiento de UC, se puede considerar que el primer grupo está integrado por genotipos precoces, el segundo por genotipos de ciclo intermedio, y el tercer grupo con genotipos de ciclo tardío.

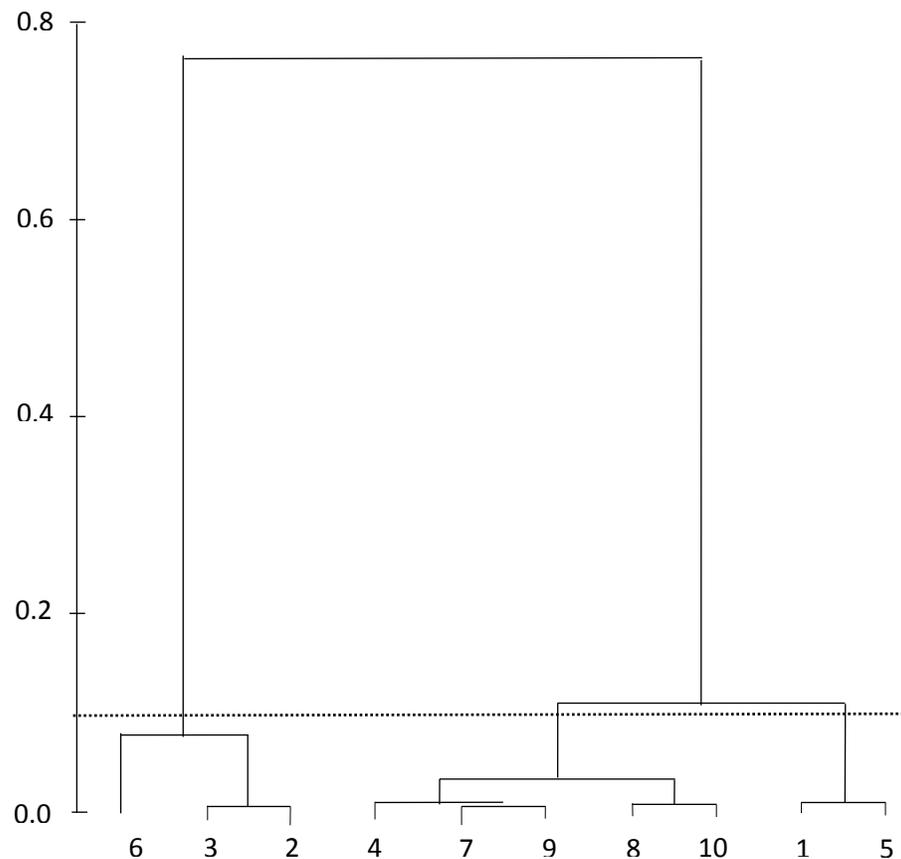


Figura 3.3. Dendrograma de agrupamiento con base a distancias Euclidianas, usando el método Ward, para ocho etapas fenológicas de diez genotipos de cebada: Adabella (1), Alina (2), Armida (3), Esmeralda (4), Esperanza (5), M-173 (6), M-174 (7), M-176 (8) y M-177 (9) y M-10542 (10).

En este estudio, los genotipos tuvieron un ciclo biológico más largo en la FS1 al presentar mayor acumulación de UC para las etapas fenológicas evaluadas. Además, para la mayoría de los genotipos, la diferencia en requerimiento de UC a través de fechas de siembra, solo fue estadísticamente diferente en las siembras tardías (FS4 y FS5). A menudo, las siembras tardías aceleran las diferentes etapas que constituyen el desarrollo del cultivo, y generalmente se asocia a menor acumulación de UC (Solís *et al.*, 2004). Cada cultivar necesita un cierto tiempo para su crecimiento y desarrollo (Chmielewski, 2013). La acumulación de unidades calor depende de la etapa de desarrollo (Salazar *et al.*, 2013), y por tanto difiere de un genotipo a otro (Prabhakar *et al.*, 2007).

El desarrollo fenológico de los cereales, desde emergencia hasta madurez fisiológica, es controlado en gran medida por la temperatura, pero también es afectado por la longitud del día y potenciales de estrés fisiológico, y las respuestas pueden variar entre especies y variedades (Olesen *et al.*, 2012). En trigo de invierno, el desarrollo del cultivo es regulado principalmente por la temperatura, pero también es afectado por la vernalización y fotoperiodo (Salazar *et al.*, 2013). En el caso de algunas variedades de cebada, la duración de cada etapa de crecimiento es afectada por la duración del día y cantidad de radiación interceptada (Paynter *et al.*, 2001).

Otro aspecto importante es que los modelos fenológicos son más precisos cuando se emplean periodos de temperatura relativamente cortos, en lugar de una sola temperatura media diaria (Shaykewich, 1995). Asimismo, la variación en la suma térmica puede deberse al empleo de una temperatura base inadecuada (Castillo y Santibáñez, 1987). Al respecto, Undersander y Christiansen (1986) mencionan que el uso de 4 °C como temperatura base en las etapas fenológicas de trigo, reduce la magnitud de la variabilidad en la suma de UC.

Del mismo modo, Salazar *et al.* (2013) encontraron que la temperatura base no es constante a lo largo de las diferentes etapas de desarrollo de trigo de invierno, y por tanto, no es recomendable el uso de un valor único como temperatura base (0 °C). Posiblemente, en el caso de cebada también exista un efecto similar en cuanto al efecto de la temperatura base durante las diversas etapas de desarrollo, influyendo en parte a la variación encontrada a través del estudio de fechas de siembra.

### 3.4. CONCLUSIONES

- La mayor duración del ciclo biológico hasta madurez fisiológica se obtuvo en la primera fecha de siembra (FS1), y la menor duración en la siembra más tardía (FS5). Es decir las siembras tardías aceleran el desarrollo de los genotipos de cebada, y por tanto, la disminución de la longitud del ciclo se asoció con menor acumulación de unidades calor.
- La acumulación de unidades calor para pasar de una etapa fenológica a otra difirió entre fechas de siembra para todos los genotipos.
- La diferencia en requerimiento de unidades calor entre genotipos fue notoria a partir de la etapa de embuche, indicando que la duración de cada etapa fenológica depende del genotipo y por tanto el manejo agronómico no debe realizarse de manera general, sino en base al genotipo empleado.
- El análisis de Conglomerados Jerárquico distinguió tres grupos, el primero integrado por M-173, Armida y Alina, el segundo constituido por Esmeralda, M-174, M-176, M-177 y M-10542, y el tercero formado por Adabella y Esperanza.

- En base al requerimiento de unidades calor, se puede considerar que el primer grupo está integrado por genotipos precoces, el segundo por genotipos de ciclo intermedio, y el tercer grupo con genotipos de ciclo tardío.

### 3.5. LITERATURA CITADA

- Amrawat T., N.S. Solanki, S.K. Sharma, D.K. Jajoria and M.L. Dotaniya. 2013. Phenology growth and yield of wheat in relation to agrometeorological indices under different sowing dates. *African Journal of Agricultural Research*, 8(49): 6366-6374.
- Bauer, A., C. Fanning, J.W. Enz and C.V. Eberlein. 1984. Use of growing-degree days to determine spring wheat growth stages. Cooperative Extension Service, North Dakota State University of Agriculture and Applied Science, and U.S. Department of Agriculture Cooperating. Bulletin 73.
- Bonhomme R. 2000. Bases and limits to using 'degree.day' units. *European Journal of Agronomy*, 13: 1-10.
- Castañeda S.M.C., L.C. López, M.J. Molina, L.T.B. Colinas y H.A. Livera. 2004. Crecimiento y desarrollo de cebada y trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27 (2): 167-175.
- Castillo H. y F. Santibáñez. 1987. Efecto de la temperatura sobre la fenología del trigo (Cultivar Aurifen)<sup>1</sup>. *Agricultura técnica (Chile)*, 47(1): 29-34.
- Chmielewski F.M. 2013. Phenology in Agriculture and Horticulture. M.D. Schwartz (ed.), *In Phenology: An Integrative Environmental Science. Tasks for vegetation Science*, Volume 39, pp. 539-561.
- Dofing S.M. 1992. Growth, phenology, and yield components of barley and wheat grown in Alaska. *Canadian Journal of Plant Science*, 72: 1227-1230.
- Gallagher J.N., P.V. Biscoe and R.K. Scott. 1976. Barley and its Environment: VI. Growth and Development in Relation to Yield. *Journal of Applied Ecology*, 13 (2): 563-583.
- Jackson L. and J. Williams. 2006. Growth and development of small grains. Small grain production manual part 2. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Cooperative Extension. Publication 8165.
- Manupeerapan, T. and C.J. Pearson. 1993. Apex size, flowering and grain yield of wheat as affected by sowing date. *Field Crops Research*, 32: 41-57.

- Olesen J.E., C.D. Borgeesen, L. Elsgaard, T. Palosuo, R.P. Rotter, A.O. Skjelvag, P. Peltonen-Sainio, T. Borjesson, M. Trnka, F. Ewert, S. Siebert, N. Brisson, J. Eitzinger, E.D. van Asselt, M. Oberforster, and H.J. van der Fels-Klerx. 2012. Changes in time of sowing, flowering and maturity of cereals in Europe under climate change. *Food Additives and Contaminants: Part A*, 29(10): 1527-1542.
- Prabhakar B.N., A.S. Halepyati, B.K. Desai and B.T. Pujari. 2007. Growing degree days and photo thermal units accumulation of wheat (*Triticum aestivum* L. and *T.durum* Desf.) genotypes as influenced by dates of sowing. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 20(3): 594-595.
- Paynter, B.H., P.E. Juskiw and J.H. Helm. 2001. Phenological development in two-row spring barley when grown in a long-day (Alberta, Canada) and a short-day (Western Australia, Australia) environment. *Canadian Journal of Plant Science*, 81: 621–629.
- Ramírez J.F., M. Zamora, L.A. Márquez y A.M. Ibañez. 1997. Esperanza variedad de cebada maltera para El Bajío. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro Experimental El Bajío. México, D.F. Boletín Técnico Núm. 1. 20 p.
- Salazar M.R., J. Johnson, B. Chaves, and G. Hoogenboom. 2013. Relationship of base temperature to development of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, 7(4): 741-762.
- SAS Institute. 2002. Statistical Analysis System Version 9.0 North Carolina, USA.
- Shaykewich C.F. 1995. An appraisal of cereal crop phenology modelling. *Canadian Journal of Plant Science*, 75:329-341.
- Solano S., M. Zamora, F.P. Gámez, J.J. García, R. Sánchez, J. Ireta, F. Díaz y R. Garza. 2009. Alina, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Agricultura Técnica en México.*, 35 (4): 467-469.
- Solís E., M. Hernández, A. Borodanenko, J.L. Aguilar y O.A. Grajeda. 2004. Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4): 323-332.
- Soto F., R. Plana y N. Hernández. 2009. Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum ssp. aestivum*) y triticale (X *Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento. *Cultivos Tropicales*, 30(3): 32-36.
- Tottman D.R. 1987. The decimal code for the growth stages of cereals, with illustrations. *Annals of Applied Biology*, 110 (2): 441-454.

- Undersander D.J and S. Christiansen. 1986. Interactions of water variables and growing degree days on heading phase of winter wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 38: 169-180.
- van Vliet A.J., R.S. de Groot, Y. Bellens, P. Braun, R. Bruegger, E. Bruns, J. Clevers, C. Estreguil, M. Flechsig, F. Jeanneret, M. Maggi, P. Martens, B. Menne, A. Menzel and T. Sparks. 2003. The European phenology network. *International Journal of Biometeorology*, 47: 202-212.
- Zamora M., L.A. Márquez, F. Ramírez y A.M. Ibáñez. 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* Núm. 5. México, D.F. 20 p.
- Zamora M., S. Solano, R. Gómez, I. Rojas, J. Ireta, R. Garza y T.C. Ortiz. 2008. Adabella: variedad de cebada maltera para valles altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México*, 34(4): 491-493.
- Zamora M., S. Solano, R. Garza, J. Islas, R. Huerta y M. López. 2010. Armida, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(5): 723-726.

## **CAPÍTULO IV. CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN SEMILLA DE GENOTIPOS DE CEBADA MALTERA**

### **RESUMEN**

La calidad en las semillas representa los efectos integrados del ambiente durante su producción en campo. La fecha de siembra es útil para aprovechar al máximo las condiciones de clima para favorecer que el cultivo exprese su máximo potencial productivo. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad de semilla de diez genotipos de cebada, cultivados en cinco fechas de siembra en El Bajío: noviembre 15 (FS1) y 30 (FS2), diciembre 15 (FS3) y 30 (FS4) y enero 15 (FS5), bajo condiciones de riego en el ciclo otoño-invierno 2012-2013. En campo se determinó días a embuche, espigamiento y madurez fisiológica (MF). Una vez cosechada la semilla, en laboratorio se evaluó el contenido de humedad de la semilla (CH), peso de mil semillas (PMS) y peso hectolítrico (PHL), se realizaron pruebas de germinación (PGL) en una cámara de germinación a temperatura constante de 20 °C, además de pruebas de vigor de la semilla en camas de arena, bajo condiciones de microtúnel, en donde se evaluó; porcentaje de germinación (PGA), porcentaje de plántulas anormales (PPAA), viabilidad (VI), longitud de plántula (LP), peso seco de la parte aérea (PSA) y velocidad de emergencia (VE). En el análisis de varianza combinado, Alina tuvo el mayor PV (66.88 kg hL<sup>-1</sup>), Armida presentó el mayor PMS (44.13 g), la línea M-10542 mostró el mejor comportamiento en PGL (93.73 %), PGA (94.56 %) y VI (96.86), la línea M-174 tuvo la mejor VE (19.33 plántulas por día), Esmeralda la mejor LP (24.95 cm) y la línea M-176 el mayor PSA (2.78 mg). La presencia de bajas temperaturas afectó el llenado de grano, repercutiendo en la calidad fisiológica de la semilla, mientras que el aumento de temperatura acortó el ciclo de cultivo, disminuyendo la calidad física de la semilla.

**Palabras clave:** *Hordeum vulgare* L., fechas de siembra, temperaturas, calidad física y fisiológica de semilla.

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

La cebada es un cereal importante alrededor del mundo, lo cual se atribuye a su uso como cereal forrajero, alimento humano y uso industrial para la elaboración de cerveza (Ullrich, 2011). En la región de El Bajío, la cebada se cultiva bajo condiciones de riego, la cual se establece en el ciclo otoño-invierno, y comprende parte de los estados de Guanajuato, Querétaro, Michoacán y Jalisco (Solano *et al.*, 2009).

En campo, diversos factores pueden tener un impacto negativo sobre la calidad de la semilla, entre las principales causas están las condiciones ambientales prevalentes después de la antesis y durante el llenado de la semilla, es decir, los efectos detrimentales causados por la presencia de olas de calor o heladas en el desarrollo del cultivo (Fox, 2010). El estrés por calor ocasionado por el aumento de la temperatura es un problema agrícola en muchas áreas del mundo, a menudo se define como el aumento de la temperatura por un periodo de tiempo suficiente para que causé un daño irreversible en el crecimiento y desarrollo de la planta (Wahid *et al.*, 2007). Las temperaturas altas afectan negativamente varias etapas reproductivas claves, incluyendo la viabilidad del polen, interacción polen-pistilo, fertilización y la formación de la semilla (Wahid *et al.*, 2007; Bentley *et al.*, 2013). Exposiciones breves de las plantas a altas temperaturas durante el llenado de la semilla, pueden acelerar la madurez y disminuir el peso de semilla. Esto se atribuye a que bajo tales condiciones, las plantas tienden a desviar recursos para hacer frente al estrés por calor, y por lo tanto limita los fotosintatos que estarían disponibles para el desarrollo reproductivo (Wahid *et al.*, 2007).

Otro factor limitante es el estrés por frío, el cual causa también enormes pérdidas en la agricultura. El estrés por frío afecta tanto la fase vegetativa como la reproductiva de las plantas, siendo esta última más susceptible causando anomalías estructurales y funcionales en los órganos reproductivos. El estrés por bajas temperaturas durante la fase reproductiva induce reducción en las tasas metabólicas, esterilidad del polen, reducción de la tasa y duración del llenado de la semilla, inhibiendo durante el almacenamiento la acumulación de reservas de proteínas, minerales y aminoácidos en la semilla (Thakur *et al.*, 2010).

Se consideran cuatro atributos básicos en la calidad de la semilla: calidad genética, se refiere a características genéticas específicas inherentes a la variedad, contenida en la semilla que proporciona el potencial para altos rendimientos, mejor calidad de grano y tolerancia a factores bióticos y abióticos; calidad fisiológica, referente a semillas con alta viabilidad, germinación y vigor que determinan el potencial de germinación y la posterior emergencia de plántulas y establecimiento del cultivo en campo; calidad física, caracterizada por un mínimo de semillas dañadas, semillas de malezas o materia inerte y semillas con tamaño y peso uniforme; y finalmente; la calidad sanitaria, referente a la presencia o ausencia de enfermedades u organismos causantes, como son hongos, bacterias, virus, insectos, nematodos, parásitos y malezas (Ellis, 1992; Corbineau, 2012).

La semilla de cebada debe cumplir con ciertas características específicas durante el proceso de certificación, entre ellas un porcentaje de germinación de 85 % como mínimo (SNICS, 1975). Otros aspectos importantes son la viabilidad y vigor de la semilla, que son esenciales durante la emergencia y establecimiento de plántulas en campo, y que se relacionan con el potencial de rendimiento de grano (Rajala *et al.*, 2011; Ullmannová *et al.*, 2013).

Evidentemente, la calidad de las semillas depende de numerosos factores, y representa los efectos integrados del ambiente durante su producción (Corbineau, 2012). Las semillas de buena calidad permiten sustentar las actividades con fines agrícolas, mejorando la producción en términos de calidad y rentabilidad. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la fecha de siembra sobre la calidad física y fisiológica de la semilla de diez genotipos de cebada maltera cultivados en la región de El Bajío.

#### **4.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se utilizaron diez genotipos de cebada proporcionados por El Programa Nacional de Cebada, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), cuyo nombre y descripción son los siguientes:

Alina, Armida y Esperanza, son variedades de cebada maltera para condiciones de riego para El Bajío, presentan tolerancia a enfermedades comunes en la región, poseen un alto potencial de rendimiento y tienen buena calidad industrial (Ramírez *et al.*, 1997; Solano *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010).

Adabella y Esmeralda, son variedades de cebada maltera para condiciones de temporal, presentan tolerancia a enfermedades comunes en Valles Altos de la mesa central de México, y poseen calidad industrial (Zamora *et al.*, 1997; Zamora *et al.*, 2008).

Las líneas experimentales M-173, M-174, y M-10542 han sido seleccionadas para producción bajo condiciones de riego, presentan tolerancia a las principales enfermedades del cultivo, tienen buen potencial de rendimiento y buena calidad industrial.

Las líneas experimentales M-176 y M-177 han sido seleccionadas para condiciones de temporal, presentan tolerancia a las principales enfermedades del cultivo, tienen potencial de rendimiento aceptable y presentan buena calidad industrial.

La siembra del material experimental se realizó en cinco fechas de siembra: noviembre 15 (FS1) y 30 (FS2), diciembre 15 (FS3) y 30 (FS4) y enero 15 (FS5), en el ciclo otoño-invierno 2012-2013, en el Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto., perteneciente al INIFAP. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones. La siembra se realizó en surcos con separación de 30 cm, cada unidad experimental consistió de cuatro surcos de 3.0 m de longitud, la densidad de siembra fue de 100 kg ha<sup>-1</sup> a excepción de la variedad Esperanza que fue de 120 kg ha<sup>-1</sup>. Se aplicó un riego al momento de la siembra, posteriormente a los 45, 70 y 90 días después de la siembra. El manejo agronómico empleado fue el recomendado por INIFAP para la región de El Bajío (Zamora *et al.*, 2010). Durante el ciclo de cultivo se registró la temperatura máxima y mínima. Dichos datos se obtuvieron de la estación meteorológica CEBAJ-INIFAP, ubicada en Celaya, Guanajuato a 20° 32'LN, 100° 48'W y 1752 msnm. La investigación constó de tres fases: en la primera se evaluaron características agronómicas en campo, en la segunda se evaluó la calidad física de la semilla y en la tercera se realizaron pruebas de germinación en laboratorio y pruebas de vigor en arena de río bajo condiciones de microtúnel.

#### **4.2.1. Variables evaluadas de campo**

**Días a embuche.** Se determinó cuando el 50 % de las plantas mostraron dehiscencia de las aristas.

**Días a espigamiento.** Se consideró cuando el 50 % de las plantas mostraban la espiga completamente fuera de la hoja bandera.

**Días a madurez fisiológica.** Se consideró cuando el pedúnculo de las espigas se tornó color marrón.

#### **4.2.2. Evaluación de la calidad física de la semilla**

De la semilla cosechada, se obtuvo una muestra de 400 gramos de semilla sin aristas y libre de impurezas, Posteriormente se llevó al Laboratorio de Análisis de Semillas perteneciente al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Edo. de México, en donde se analizó la semilla.

#### **VARIABLES EVALUADAS**

**Peso de Mil Semillas (PMS).** Se contaron y pesaron ocho repeticiones de 100 semillas, con los datos obtenidos se calculó el promedio, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación, el cual fue menor a 4.0 y el peso de mil semillas se obtuvo multiplicando por diez la media aritmética de las ocho repeticiones y fue expresado en gramos.

**Peso hectolítrico (PHL).** Fue expresado en  $\text{kg hL}^{-1}$ , se obtuvo en base al método de la probeta, especificado en la Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, la determinación de  $\text{kg hL}^{-1}$  se obtuvo de la tabla descrita en dicha norma.

#### **4.2.3. Evaluación de la calidad fisiológica de la semilla**

**Prueba de Germinación Estándar (GE).** Se realizó de acuerdo con las recomendaciones del ISTA (2005), se utilizaron cuatro repeticiones de cien semillas por tratamiento, empleando el método “entre papel” (usando toallas plegables tipo sanitas) enrollados en forma de taco, los

rollos se colocaron en bolsas de plástico transparente y fueron puestos en un cuarto de germinación a temperatura constante de 20 °C. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar.

#### **Variables evaluadas**

**Germinación (PGL).** Se evaluó en base al número de plántulas normales, sanas y sin malformaciones, a los siete días después de iniciar la prueba y fue expresado en porcentaje.

**Plántulas anormales (PPAL).** Se determinó en base al número de plántulas que presentaron malformaciones en coleóptilo y hojas, que impidieron un desarrollo normal y se expresó en porcentaje.

**Semillas sin germinar (PSSGL).** Se decretó en base a las semillas que no presentaron germinación y fue expresado en porcentaje.

**Prueba de vigor en microtúnel:** la siembra se efectuó en semilleros, utilizando arena de río como sustrato, las semillas fueron sembradas a 2 cm de profundidad, 2 cm entre plantas y a una distancia de 8 cm entre surcos, se aplicó un riego al momento de la siembra y después diariamente para mantener el sustrato húmedo. Los semilleros fueron colocados bajo condiciones de microtúnel. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones de cien semillas. Las plántulas fueron extraídas catorce días después de la siembra.

#### **Variables evaluadas**

**Germinación (PGA).** Se evaluó en base al número de plántulas con coleóptilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones al finalizar la prueba y fue expresado en porcentaje de acuerdo al número de plántulas normales germinadas al finalizar la prueba.

**Plántulas Anormales (PPAA).** Se contabilizó el número de plántulas que presentaron malformaciones en coleótilo y hojas, que impidieron un desarrollo normal y fue expresado en porcentaje.

**Viabilidad (VI).** Se obtuvo sumando el número de plántulas normales más anormales y se expresó en porcentaje.

**Longitud de Plántula (LP).** Del total de plántulas normales se tomaron 10 plántulas al azar por repetición, y se midió la longitud de la parte aérea desde el cuello de la plántula hasta el ápice de la hoja más larga, el resultado fue expresado en centímetros.

**Peso Seco de la parte Aérea (PSA).** De cada repetición se tomaron todas las plántulas normales y se separó la raíz de la parte aérea a la altura del cuello del tallo; posteriormente, la parte aérea se colocó en una bolsa de papel perforada, se sometió a secado en estufa a 70 °C durante 72 horas y transcurrido ese tiempo se tomó la lectura del peso seco y se expresó en mg.

**Velocidad de Emergencia (VE).** Se realizaron conteos diarios a partir de la emergencia de la primera plántula, hasta que se obtuvo un número constante de estas. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$VE = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{X_i}{N_i} \right]$$

En dónde:

VE: Velocidad de emergencia.

X<sub>i</sub>: Número de plántulas emergidas por día.

N<sub>i</sub>: Número de días después de la siembra.

#### **4.2.4. Análisis estadístico**

Se realizaron análisis de varianza por fechas de siembra y combinados, pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05) y correlaciones entre las variables evaluadas. Se empleó el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2002).

### **4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.3.1. Características agronómicas**

Hubo diferencias significativas en días a embuche, espigamiento y madurez fisiológica para genotipos (Cuadro 4.1). Aunque no hubo diferencia significativa, para Armida y M-176, los días a embuche y espigamiento en la FS2, fueron superiores a la FS1. Para Alina coincidieron los días a embuche, mientras que para M-174 coincidió el número de días a embuche, espigamiento y madurez fisiológica en la FS1 y FS2.

Los genotipos presentaron comportamientos distintos en la duración de las etapas fenológicas evaluadas, el cual estuvo en función de las condiciones climáticas presentes durante el ciclo de cultivo, a medida que aumentó la temperatura se acortó el ciclo fenológico de los genotipos (Cuadro 4.2). De manera general, los genotipos se expresaron mejor cuando el ciclo de cultivo fue largo (FS1, FS2 y FS3), mientras que con el aumento de temperatura se acortó de manera considerable la duración del ciclo fenológico (FS4 y FS5), que posteriormente se reflejó en la calidad física de la semilla. Largos periodos durante el ciclo vegetativo y llenado de grano permiten mayor acumulación de asimilados en el grano, que resulta en granos de mejor calidad (García del Moral *et al.*, 2003). Para el caso de El Bajío, el INIFAP recomienda realizar la siembra el 15 de diciembre para que el cultivo exprese su máximo potencial de rendimiento y calidad física de semilla.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables días a embuche, espigamiento y madurez fisiológica evaluadas en diez genotipos de cebada maltera.

| FV     | GL | Embuche | Espigamiento | Madurez Fisiológica |
|--------|----|---------|--------------|---------------------|
| BLO    | 2  | 0.50    | 0.50         | 0.1                 |
| G      | 9  | 87.91*  | 117.20*      | 140.90*             |
| FS     | 4  | 117.62* | 133.29*      | 719.96*             |
| G x FS | 36 | 1.90*   | 1.85*        | 5.46*               |
| CV     |    | 1.31    | 0.94         | 0.55                |

\*= significativo (0.05); FV= factor de variación; GL; grados de libertad; G= genotipos; FS=fecha de siembra; CV; coeficiente de variación.

Los genotipos evaluados mostraron que a medida que se retrasó la fecha de siembra alcanzaron su madurez fisiológica en menor tiempo (Cuadro 4.2), ya que el desarrollo fenológico de los cereales de grano pequeño es controlado en gran medida por la temperatura (Olesen *et al.*, 2012). La línea M-173 mostró el ciclo de cultivo más precoz, mientras que la variedad Esperanza fue la más tardía, lo cual se relacionó con la fenología de cada cultivar. Generalmente, el tiempo a madurez fisiológica se atribuye a una fuerte interacción entre el cultivar y la fecha de siembra (Paynter *et al.*, 2001). También se encontró significancia para FS en las etapas fenológicas evaluadas (Cuadro 4.1), en general conforme avanzaron las fechas de siembra, los ciclos fenológicos se redujeron, a excepción de la FS1 y FS2, que fueron muy semejantes en la mayoría de los genotipos. La mayor duración del ciclo biológico hasta madurez fisiológica se obtuvo en la primera fecha de siembra (FS1), y la menor duración en la fecha más tardía (FS5), caso similar ocurrió con las etapas de embuche y espigamiento (Cuadro 4.2). A menudo el principal efecto de las fechas de siembra son los días a madurez fisiológica, relacionado con el aumento de temperatura durante el periodo de crecimiento (O'Donovan *et al.*, 2012).

Cuadro 4.2. Comparación de medias para las variables días a embuche, espigamiento y madurez fisiológica, evaluadas en diez genotipos de cebada maltera.

|                     |                             | Adabella             | Alina    | Armida    | Esmeralda | Esperanza | M-173     | M-174    | M-176    | M-177    | M-10542  |
|---------------------|-----------------------------|----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Embuche             | FS1                         | 61.66 a <sup>†</sup> | 53.00 a  | 51.66 a   | 57.00 a   | 62.00 a   | 49.33 a   | 55.33 a  | 59.66 a  | 57.33 a  | 59.66 a  |
|                     | FS2                         | 60.00 b              | 53.00 a  | 52.33 a   | 56.33 a   | 61.33 ab  | 48.66 ab  | 55.33 a  | 60.33 a  | 56.66 a  | 57.66 b  |
|                     | FS3                         | 59.33 b              | 52.33 a  | 51.33 a   | 54.66 b   | 60.00 b   | 47.33 b   | 53.66 ab | 59.33 a  | 54.33 b  | 57.66 b  |
|                     | FS4                         | 53.33 c              | 50.33 b  | 47.33 b   | 51.66 c   | 54.66 c   | 44.66 c   | 52.00 bc | 55.66 b  | 52.66 c  | 53.00 c  |
|                     | FS5                         | 52.33 c              | 47.00 c  | 46.33 b   | 50.66 c   | 52.33 d   | 44.33 c   | 51.00 c  | 52.66 c  | 50.33 d  | 51.33 d  |
|                     | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 1.38                 | 1.55     | 2.59      | 1.38      | 1.69      | 1.55      | 1.69     | 1.55     | 1.55     | 1.38     |
| Espigamiento        | FS1                         | 69.66 a              | 60.33 a  | 57.66 a   | 65.00 a   | 70.00 a   | 55.66 a   | 63.33 a  | 66.66 ab | 65.33 a  | 67.00 a  |
|                     | FS2                         | 69.33 a              | 60.00 ab | 58.00 a   | 63.33 b   | 69.00 a   | 54.66 ab  | 63.33 a  | 68.00 a  | 64.33 a  | 64.66 b  |
|                     | FS3                         | 67.00 b              | 58.66 b  | 57.33 a   | 62.33 b   | 66.66 b   | 53.33 b   | 62.00 a  | 66.33 b  | 62.66 b  | 64.00 b  |
|                     | FS4                         | 61.00 c              | 56.33 c  | 54.33 b   | 59.33 c   | 62.66 c   | 50.66 c   | 58.66 b  | 63.33 c  | 59.33 c  | 59.66 c  |
|                     | FS5                         | 59.66 d              | 53.33 d  | 53.33 b   | 57.66 d   | 59.33 d   | 50.33 c   | 58.33 b  | 60.33 d  | 56.33 d  | 57.66 d  |
|                     | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 1.20                 | 1.38     | 1.38      | 1.38      | 1.69      | 1.55      | 1.38     | 1.38     | 1.55     | 1.20     |
| Madurez fisiológica | FS1                         | 124.00 a             | 115.66 a | 112.00 a  | 118.66 a  | 126.33 a  | 108.66 a  | 117.33 a | 120.33 a | 122.33 a | 122.33 a |
|                     | FS2                         | 120.66 b             | 114.66 a | 110.33 ab | 116.66 b  | 125.33 a  | 107.66 ab | 117.33 a | 117.66 b | 118.66 b | 121.00 b |
|                     | FS3                         | 117.33 c             | 109.00 b | 109.33 b  | 114.66 c  | 119.66 b  | 106.33 b  | 113.66 b | 115.66 c | 115.33 c | 117.00 c |
|                     | FS4                         | 111.66 d             | 105.33 c | 103.33 c  | 107.33 d  | 114.33 c  | 100.00 c  | 107.66 c | 105.66 d | 108.66 d | 110.33 d |
|                     | FS5                         | 103.66 e             | 97.00 d  | 96.66 d   | 100.33 e  | 108.33 d  | 92.33 d   | 101.66 d | 100.00 e | 104.00 e | 103.66 e |
|                     | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 1.83                 | 1.69     | 1.83      | 1.55      | 1.55      | 1.38      | 1.55     | 1.38     | 1.38     | 1.20     |

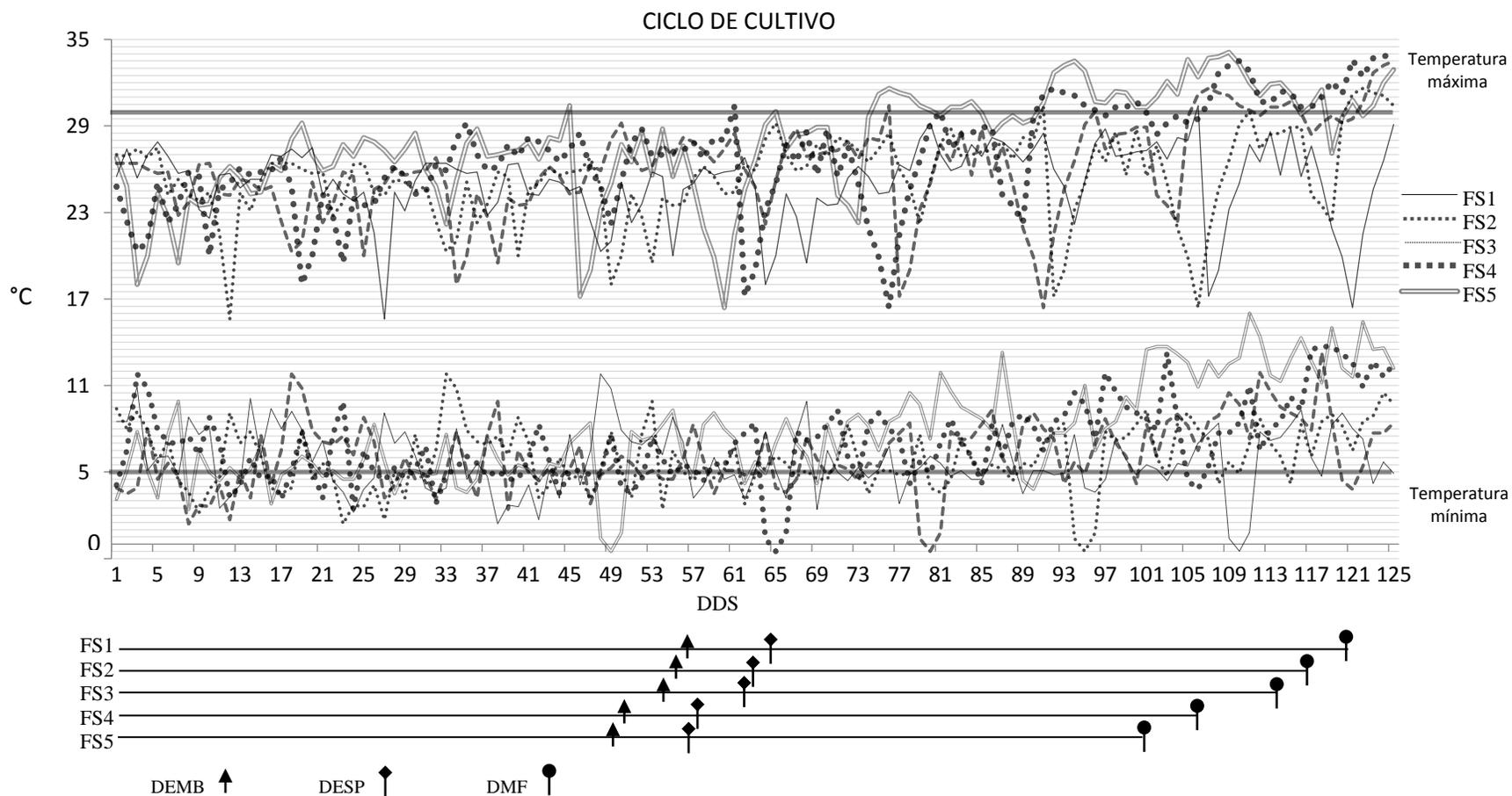
<sup>†</sup>Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); FS= Fecha de siembra.

La interacción G x FS también fue significativa en las etapas fenológicas evaluadas (Cuadro 4.1), indicando el acortamiento del ciclo biológico de los genotipos a medida que se retrasó la fecha de siembra (Cuadro 4.2). Los factores de estrés biótico con frecuencia limitan el crecimiento y desarrollo de las plantas, porque generalmente se acorta el ciclo de cultivo (Alam *et al.*, 2007). Esta interacción muestra la inconsistencia o cambio de una fecha a otra, como respuesta de los genotipos a la variación ambiental (Figura 4.1), existiendo un efecto particular en cada fecha de siembra, por ejemplo, en la FS1, FS2 y FS3, Esperanza requirió más días para llegar a la etapa de embuche y espigamiento, pero en la FS4 y FS5 su requerimiento fue inferior a la línea M-176, sin embargo para madurez fisiológica Esperanza fue consistente, siendo el genotipo más tardío (Cuadro 4.2). Para cebada el umbral de temperatura mínimo y máximo para crecimiento oscila de 5 °C a 25 °C, respectivamente, con un óptimo de 18°C (Ruiz *et al.*, 1999).

Durante el ciclo de cultivo, hubo temperaturas por debajo del umbral mínimo durante la etapa vegetativa, mientras que en la etapa de llenado de grano la incidencia fue menor, además en esta etapa, la temperatura mínima aumentó considerablemente en FS tardías, siendo más obvio en la FS5 (Figura 4.1). En cuanto a la temperatura máxima, para la FS1, FS2 y FS3 hubo un periodo vegetativo con temperaturas relativamente frescas, mientras que en la FS4 y FS5 la temperatura durante la etapa final del llenado de grano fue superior a 30°C. Por tanto, el aumento de la temperatura mínima y máxima durante el periodo vegetativo y el llenado de grano, fue la causa de que el ciclo de cultivo se haya reducido.

El cultivo fue afectado por la presencia de heladas los días 3, 4 y 5 de marzo, con una temperatura mínima de 0.4, -0.5 y 0.8 °C.

Figura 4.1. Temperaturas máximas y mínimas durante las etapas fenológicas de días a embuche, espigamiento y madurez fisiológica, promedio de diez genotipos de cebada maltera, cultivados en cinco fechas de siembra en El Bajío, ciclo 2012-2013.



DEMB= días a embuche; DESP= días a espigamiento; DMF= días a madurez fisiológica; FS=Fecha de siembra.

El descenso de temperatura en la FS1 ocurrió a los 109 días después de la siembra (DDS) y aparentemente no perjudicó el desarrollo del grano, para la FS2 ocurrió a los 94 DDS, afectando el desarrollo del grano, mientras que en la FS3 ocurrió a los 79 DDS y se caracterizó por la muerte de granos en la espiga, posiblemente porque la mayoría de los granos se encontraban en estado acuoso, por lo cual los genotipos fueron más sensibles al daño por frío. En la FS4 las bajas temperaturas se presentaron a los 64 DDS y el desarrollo del cultivo se encontraba en la etapa de espigamiento, mientras que en FS5 se suscitó a los 48 DDS (Figura 4.1), período en el que la mayoría de los genotipos se encontraba en la etapa de embuche, en el primer caso hubo daño en el follaje de todos los genotipos y muerte de granos en espigas de los materiales más precoces, mientras que en el segundo caso solo se observó daño en el follaje.

#### **4.3.2. Calidad física de la semilla**

No hubo diferencias significativas en el contenido de humedad de la semilla (Cuadro 4.3), en general sus valores fueron bajos, pero similares en todos los genotipos, y oscilaron de 8.29 a 8.77 % entre fechas de siembra (Cuadro 4.4).

En peso hectolítrico (PHL) hubo significancia para genotipos (Cuadro 4.3). Alina presentó valores superiores en la mayoría de las fechas de siembra y en promedio general fue la de mejor comportamiento. En base a la Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, el peso hectolítrico mínimo para cebadas de seis hileras debe ser de 56 kg hL<sup>-1</sup>. En este estudio, a pesar de las condiciones climáticas desfavorables que se presentaron durante los diferentes ciclos de cultivo, se superó el PHL mínimo requerido por la industria.

Cuadro 4.3. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables de calidad física y fisiológica evaluadas en diez genotipos de cebada maltera, sembrados en cinco fechas de siembra durante el ciclo otoño invierno 2012-2013.

|        | CH     | PMS  | PHL                    | PGL    | PPAL    | PSSGL  | PGA    | PPAA     | VI       | VE       | LP      | PSA    |       |
|--------|--------|------|------------------------|--------|---------|--------|--------|----------|----------|----------|---------|--------|-------|
| FV     | GL (%) | (g)  | (kg hL <sup>-1</sup> ) | (%)    | (%)     | (%)    | (%)    | (%)      | (%)      | (%)      | (cm)    | (mg)   |       |
| G      | 9      | 0.31 | 36.85*                 | 25.79* | 46.62*  | 2.45   | 42.97* | 179.16*  | 29.38    | 104.29*  | 10.23*  | 20.24* | 3.10* |
| FS     | 4      | 1.02 | 183.73*                | 51.81* | 818.07* | 57.04* | 59.36* | 4560.25* | 2257.15* | 1354.98* | 212.82* | 36.05* | 3.74* |
| G x FS | 36     | 0.17 | 3.10                   | 4.69*  | 37.94*  | 1.18   | 18.01  | 73.58*   | 21.56    | 42.85*   | 3.08*   | 3.31   | 0.49  |
| CV     | 4.7    | 3.53 | 2.28                   | 2.41   | 64.21   | 49.24  | 4.74   | 52.35    | 3.73     | 6.24     | 11.09   | 11.4   |       |

\*= significativo (0.05); FV= Factor de variación; GL= Grados de libertad; G= genotipos; FS=fecha de siembra; CV; coeficiente de variación; CH= Contenido de humedad de la semilla; PMS= Peso de mil semillas; PHL= Peso hectolítrico; PGL= Germinación en laboratorio; PPAL= Plántulas anormales en laboratorio; PSSGL= Semillas sin germinar en laboratorio; PGA; Germinación en prueba de vigor; PPAA= Plántulas anormales en prueba de vigor; VI= Viabilidad en prueba de vigor; VE= Velocidad de emergencia (plántulas emergidas por día); LP; Longitud de plántula; PSA= Peso seco de la parte aérea.

Cuadro 4.4. Comparación de medias de las variables de calidad física evaluadas en diez genotipos de cebada maltera sembrados en cinco fechas de siembra.

|                             | CH      | PHL                    | PMS      |
|-----------------------------|---------|------------------------|----------|
| FS                          | (%)     | (kg hL <sup>-1</sup> ) | (g)      |
| 15 de noviembre             | 8.55 a† | 63.24 ab               | 44.00 a  |
| 30 de noviembre             | 8.32 a  | 61.87 b                | 40.58 b  |
| 15 de diciembre             | 8.29 a  | 65.11 a                | 41.84 ab |
| 30 de diciembre             | 8.77 a  | 65.99 a                | 41.56 b  |
| 15 de enero                 | 8.46 a  | 61.87 b                | 34.68 c  |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 0.49    | 3.05                   | 2.37     |

†Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); CH= contenido de humedad de la semilla; PHL= peso hectolítrico; PMS= peso de mil semillas.

Al encontrarse los genotipos en condiciones de estrés por frío (FS2) y por calor (FS5), en la fase de llenado de semilla, se observó un comportamiento diferente entre genotipos a los cambios ambientales (condiciones climáticas particulares presentes en cada FS). Otros factores que influyen en el tamaño y peso de semilla son la humedad y fertilidad del suelo, luz y posición de la semilla en la espiga (Copeland y McDonald, 1995).

También se observaron diferencias significativas para fechas de siembra (Cuadro 4.3). Los resultados indican que en la siembra más tardía (FS5) disminuyó considerablemente el PHL en la mayoría de los genotipos, además en la FS2 se observan valores bajos en algunos genotipos posiblemente por las bajas temperaturas que se suscitaron durante el ciclo de cultivo (Cuadros 4.4 y 4.5). La interacción G x FS fue significativa (Cuadro 4.3), manifestando que el PHL de los genotipos varía bajo diferentes condiciones ambientales contrastantes. Bajo condiciones de estrés por calor las plantas limitan los fotosintatos disponibles para el desarrollo de la semilla (Wahid *et al.*, 2007), mientras que el estrés por frío reduce la tasa y duración del llenado de semilla, inhibiendo la acumulación de reservas de la semilla (Thakur *et al.*, 2010).

Para peso de mil semillas (PMS) se encontraron diferencias significativas para genotipos, los resultados encontrados indican que los genotipos tienen un comportamiento distinto en la acumulación de reservas en la semilla, el cual depende de las condiciones climáticas presentes en el ciclo de cultivo. Armida y Alina presentaron mejor comportamiento en PMS a través de las fechas de siembra (Cuadro 4.6). Duguid y Brulé (1994), mencionan que el peso de semilla final es de las variables más importante para determinar diferencias en el llenado de semilla entre genotipos, mientras que la tasa y duración del llenado de semilla también son importantes en algunos ambientes.

Cuadro 4.5. Comparación de medias de la variable peso hectolítrico ( $\text{kg hL}^{-1}$ ) en diez genotipos de cebada maltera sembrados en cinco fechas de siembra.

| Genotipo                    | FS1                  | FS2       | FS3      | FS4       | FS5       | Media general |
|-----------------------------|----------------------|-----------|----------|-----------|-----------|---------------|
| Adabella                    | 61.14 d <sup>†</sup> | 59.02 c   | 64.79 ab | 62.00 e   | 58.13 d   | 61.10 b       |
| Alina                       | 66.29 a              | 64.25 ab  | 67.04 a  | 68.75 ab  | 65.18 a   | 66.88 a       |
| Armida                      | 63.93 bc             | 65.32 a   | 64.79 ab | 67.04 abc | 64.46 a   | 64.92 ab      |
| Esmeralda                   | 65.65 ab             | 63.50 abc | 65.86 ab | 65.75 c   | 64.14 ab  | 65.32 ab      |
| Esperanza                   | 62.14 cd             | 61.14 abc | 63.93 b  | 62.75 de  | 58.27 d   | 61.54 b       |
| M-173                       | 64.25 abc            | 60.28 bc  | 58.35 c  | 66.07 bc  | 60.71 bcd | 61.74 ab      |
| M-174                       | 62.85 cd             | 61.99 abc | 66.07 ab | 65.00 cd  | 60.28 cd  | 63.19 ab      |
| M-176                       | 63.39 c              | 59.45 c   | 66.29 ab | 68.97 a   | 65.11 a   | 64.80 ab      |
| M-177                       | 63.93 bc             | 60.71 abc | 65.54 ab | 66.07 bc  | 63.60 abc | 63.71 ab      |
| M-10542                     | 62.85 cd             | 61.99 abc | 66.07 ab | 65.00 cd  | 60.28 cd  | 63.30 ab      |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 2.21                 | 4.63      | 3.02     | 2.78      | 3.72      | 5.26          |

†Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); FS1= Siembra del 15 de noviembre; FS2= Siembra del 30 de noviembre; FS3= Siembra del 15 de enero; FS4= Siembra del 30 de diciembre; FS5=Siembra del 15 de enero.

Un mayor peso de semilla individual resulta de una tasa de llenado de semilla más acelerada (Motzo *et al.*, 1996), o de un periodo de llenado de semilla más largo (Olesen *et al.*, 2012). Posiblemente Alina y Armida a pesar de tener un ciclo de cultivo relativamente corto, tienen buena tasa de llenado de semilla, reflejada en el peso final de semilla. También hubo diferencias significativas para fechas de siembra (Cuadro 4.3), la FS1 y FS2 presentaron en promedio los valores más altos, además se observa que en la FS5 el PMS disminuye drásticamente (Cuadro 4.4), debido probablemente a que se acorto el ciclo de cultivo por el aumento de temperatura, esto coincide con lo reportado por Alam *et al.* (2007) y Balla *et al.* (2009), quienes mencionan que al acelerarse el desarrollo del cultivo se acumula menor cantidad de biomasa y en consecuencia se afecta el peso de semilla. En El Bajío, las siembras establecidas en enero reducen el periodo de llenado de la semilla (Suaste-Franco *et al.*, 2013).

Cuadro 4.6. Comparación de medias de la variable peso de mil semillas (g) en diez genotipos de cebada maltera sembrados en cinco fechas de siembra.

| Genotipo                    | FS1                  | FS2       | FS3      | FS4       | FS5      | Media general      |
|-----------------------------|----------------------|-----------|----------|-----------|----------|--------------------|
| Adabella                    | 40.72 d <sup>†</sup> | 39.14 cd  | 39.15 b  | 37.78 d   | 30.60 e  | 36.92d             |
| Alina                       | 47.75 a              | 42.46 ab  | 42.99 ab | 45.90 a   | 38.28 ab | 43.16ab            |
| Armida                      | 45.08 ab             | 44.96 a   | 44.93 a  | 46.11 a   | 39.44 a  | 44.13 <sup>a</sup> |
| Esmeralda                   | 43.08 bcd            | 39.80 acd | 42.94 ab | 37.71 d   | 35.41 c  | 39.88bcd           |
| Esperanza                   | 43.56 bcd            | 39.61 bcd | 40.05 b  | 38.58 cd  | 31.38 de | 38.66cd            |
| M-173                       | 41.36 cd             | 38.84 d   | 38.99 b  | 41.07 bcd | 33.74 cd | 38.91cd            |
| M-174                       | 44.67 abc            | 41.56 bcd | 42.75 ab | 43.09 ab  | 34.38 c  | 40.93abcd          |
| M-176                       | 44.30 abc            | 41.08 bcd | 45.17 a  | 42.64 abc | 36.28 bc | 41.53abc           |
| M-177                       | 43.83 acd            | 39.15 cd  | 41.00 ab | 39.76 bcd | 34.32 c  | 39.53bcd           |
| M-10542                     | 45.17 ab             | 42.10 abc | 43.58 ab | 42.39 abc | 34.15 c  | 41.71abc           |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 3.51                 | 3.13      | 4.68     | 4.13      | 2.7      | 4.1                |

†Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); FS1= Siembra del 15 de noviembre; FS2= Siembra del 30 de noviembre; FS3= Siembra del 15 de enero; FS4= Siembra del 30 de diciembre; Siembra del 15 de enero.

El PHL es considerado un parámetro de gran importancia en cebadas malteras, y el PMS influye para que este parámetro sea alto. Para el caso de El Bajío la variedad comercial más sembrada es Esperanza, pero los resultados muestran que Armida y Alina, variedades para riego liberadas en años recientes, muestran valores superiores en PHL y PMS en comparación a Esperanza, en la mayoría de las fechas de siembra, por lo cual pueden ser una opción para la producción de grano o semilla en esta región, cuando el tiempo disponible para el ciclo de cultivo sea relativamente corto.

### **4.3.3 Calidad fisiológica de la semilla en laboratorio y microtúnel**

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en el porcentaje de germinación en laboratorio (PGL) para genotipos (Cuadro 4.3), a pesar de esas diferencias, el porcentaje de germinación en laboratorio fue superior a 90 % en todos los genotipos a través de las fechas de siembra, a excepción de la FS2, en la cual, solo los genotipos Armida, Esmeralda y M-10542 superaron el 90% de germinación, situación atribuida a las bajas temperaturas que se suscitaron durante el llenado de semilla (Cuadros 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11), que afectaron la expresión de esta variable en la mayoría de los genotipos. La línea M-10542 mostró buen comportamiento en la mayoría de las fechas de siembra, además presentó el PGL más sobresaliente en promedio de las cinco fechas de siembra (Cuadro 4.12). En promedio, todos los genotipos presentaron el mayor porcentaje de germinación en la FS3 (Cuadro 4.13).

Para porcentaje de plántulas anormales en laboratorio se encontró significancia para fechas de siembra (Cuadro 4.3). En promedio, hubo mayor porcentaje de plántulas anormales en la FS2, mientras que en las demás fechas de siembra fueron estadísticamente iguales (Cuadro 4.13).

Para porcentaje de semillas sin germinar en laboratorio (PSSGL) hubo significancia para genotipos (Cuadro 4.3). Los genotipos mostraron valores diferentes en el PSSGL a través de fechas de siembra, lo cual podría estar relacionado con las condiciones climáticas presentes durante el desarrollo de la semilla (Cuadros 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11). También se encontró significancia para fechas de siembra (Cuadro 4.3), siendo la FS2 donde hubo mayor PSSGL.

Cuadro 4.7. Promedios de las variables fisiológicas evaluadas en las pruebas de germinación y vigor en diez genotipos de cebada maltera sembrados el 15 de noviembre, 2012.

| Genotipo                    | PGL (%)              | PPAL (%) | PSSGL (%) | PGA (%)  | PPAA (%) | VI (%)  | VE       | LP (cm) | PSA (mg) |
|-----------------------------|----------------------|----------|-----------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|
| Adabella                    | 92.75 b <sup>†</sup> | 1.08 a   | 6.16 a    | 92.66 ab | 2.00 ab  | 94.66 a | 18.83 ab | 17.65 a | 2.73 a   |
| Alina                       | 95.58 a              | 1.00 a   | 3.41 a    | 93.00 a  | 1.50 ab  | 94.50 a | 18.28 ab | 17.70 a | 2.96 a   |
| Armida                      | 95.75 a              | 1.00 a   | 3.25 a    | 91.83 ab | 1.83 ab  | 93.66 a | 18.72 ab | 17.24 a | 2.92 a   |
| Esmeralda                   | 94.41 ab             | 1.08 a   | 4.50 a    | 90.83 ab | 2.58 ab  | 93.41 a | 18.79 ab | 17.25 a | 2.74 a   |
| Esperanza                   | 95.58 a              | 0.91 a   | 3.50 a    | 90.08 ab | 2.91 ab  | 93.00 a | 18.40 ab | 15.78 a | 2.77 a   |
| M-173                       | 95.83 a              | 0.66 a   | 3.50 a    | 92.66 ab | 1.66 ab  | 94.33 a | 18.76 ab | 17.29 a | 2.58 a   |
| M-174                       | 94.08 ab             | 0.75 a   | 5.16 a    | 92.66 ab | 2.16 ab  | 94.83 a | 19.33 a  | 16.72 a | 2.73 a   |
| M-176                       | 94.25 ab             | 1.16 a   | 4.58 a    | 91.91 ab | 1.00 b   | 92.91 a | 18.89 ab | 17.86 a | 2.85 a   |
| M-177                       | 92.16 b              | 1.25 a   | 6.58 a    | 88.91 b  | 3.50 a   | 92.41 a | 17.53 b  | 16.40 a | 2.45 a   |
| M-10542                     | 94.50 ab             | 2.08 a   | 3.41 a    | 92.91 a  | 2.33 ab  | 95.25 a | 18.65 ab | 17.43 a | 2.70 a   |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 2.54                 | 1.67     | 5.30      | 3.97     | 2.2      | 3.45    | 1.51     | 2.27    | 1.15     |

<sup>†</sup>Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); PGL= Germinación en laboratorio; PPAL= Plántulas anormales en laboratorio; PSSGL= Semillas sin germinar en laboratorio; PGA; germinación en prueba de vigor; PPAA= Plántulas anormales en prueba de vigor; VI= Viabilidad en prueba de vigor; VE= Velocidad de emergencia (plántulas emergidas por día); LP; Longitud de plántula; PSA= Peso seco de la parte aérea.

En la prueba de vigor, en porcentaje de germinación en la prueba de vigor (PGA) hubo significancia para genotipos (Cuadro 4.3). En el promedio de las cinco fechas de siembra, la línea M-10542 tuvo el mejor comportamiento en PGA (Cuadro 4.12). Para FS también hubo diferencias significativas, el PGA supero el 90% en todas las fechas, con excepción de la FS2, en la cual el PGA fue inferior a 85% para todos los genotipos (Cuadros 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11). En el promedio de fechas de siembra, el mayor PGA se presentó en la FS3 (Cuadro 4.13). La interacción G x FS fue significativa (Cuadro 4.3), manifestando que el PGA de cada genotipo puede variar dependiendo de las condiciones ambientales que ocurren en el ciclo de cultivo, especialmente durante la formación de la semilla.

Cuadro 4.8. Promedios de las variables fisiológicas evaluadas en las pruebas de germinación y vigor en diez genotipos de cebada maltera sembrados el 30 de noviembre, 2012.

| Genotipo                    | PGL (%)                | PPAL (%) | PSSGL (%) | PGA (%)  | PPAA (%)  | VI (%)     | VE         | LP (cm)  | PSA (mg) |
|-----------------------------|------------------------|----------|-----------|----------|-----------|------------|------------|----------|----------|
| Adabella                    | 89.00 abc <sup>†</sup> | 3.82 a   | 7.16 bcd  | 77.58 ab | 8.25 c    | 85.83 abcd | 15.20 abc  | 16.22 ab | 2.66 ab  |
| Alina                       | 85.91 bcd              | 3.80 a   | 10.33 bc  | 71.08 bc | 12.16 abc | 83.25 bcd  | 13.86 bcd  | 15.25 ab | 2.76 ab  |
| Armida                      | 90.16 a                | 5.00 a   | 4.83 cd   | 82.33 a  | 8.91 c    | 91.25 ab   | 16.52 a    | 15.84 ab | 2.88 ab  |
| Esmeralda                   | 91.25 a                | 4.91 a   | 3.83 cd   | 75.58 ab | 11.3 abc  | 86.91 abcd | 15.58 ab   | 16.27 ab | 2.72 ab  |
| Esperanza                   | 85.41 cd               | 0.33 a   | 14.25 ab  | 79.16 ab | 10.41 bc  | 89.58 ab   | 15.60 ab   | 14.32 b  | 2.58 ab  |
| M-173                       | 73.25 e                | 6.25 a   | 20.50 a   | 64.50 c  | 15.83 a   | 80.33 cd   | 13.36 cd   | 15.37 ab | 2.40 b   |
| M-174                       | 89.16 ab               | 4.75 a   | 6.09 cd   | 79.16 ab | 9.41 c    | 88.58 abc  | 16.29 a    | 15.61 ab | 2.71 ab  |
| M-176                       | 88.50 abc              | 2.34 a   | 9.16 bcd  | 71.58 bc | 9.08 c    | 80.66 cd   | 14.48 abcd | 16.97 a  | 3.11 a   |
| M-177                       | 83.83 d                | 5.75 a   | 10.42 bc  | 64.50 c  | 14.66 ab  | 79.16 d    | 12.91 d    | 15.11 ab | 2.49 ab  |
| M-10542                     | 91.66 a                | 6.00 a   | 2.33 d    | 84.91 a  | 7.58 c    | 92.50 a    | 16.03 a    | 16.52 ab | 2.87 ab  |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 3.63                   | 9.78     | 7.10      | 10.04    | 4.78      | 8.34       | 2.11       | 2.42     | 0.66     |

<sup>†</sup>Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); PGL= Germinación en laboratorio; PPAL= Plántulas anormales en laboratorio; PSSGL= Semillas sin germinar en laboratorio; PGA; germinación en prueba de vigor; PPAA= Plántulas anormales en prueba de vigor; VI= Viabilidad en prueba de vigor; VE= Velocidad de emergencia (plántulas emergidas por día); LP; Longitud de plántula; PSA= Peso seco de la parte aérea.

Cuando se presentaron las heladas en la fase masosa durante el llenado de la semilla (FS2), a pesar de existir buenas condiciones de humedad en el suelo, las semillas de cebada cosechadas presentaron malformaciones durante su germinación, además el porcentaje de germinación en la prueba de vigor en arena fue inferior a 85 %, por tanto deben tomarse prevenciones si esta semilla se destinará para siembras en campo. Otro aspecto importante es que, cuando las heladas se suscitaron en la fase acuosa-lechosa (FS3) o espigamiento (FS4), ceso el desarrollo de la semilla, debido a la muerte del embrión, quedando solo la cubierta de la semilla, que fue eliminada durante la trilla, por tanto las semillas restantes cosechadas no presentaron daños.

Cuadro 4.9. Promedios de las variables fisiológicas evaluadas en las pruebas de germinación y vigor en diez genotipos de cebada maltera sembrados el 15 de diciembre, 2012.

| Genotipo                    | PGL (%)              | PPAL (%) | PSSGL (%) | PGA (%) | PPAA (%) | VI (%)  | VE       | LP (cm) | PSA (mg) |
|-----------------------------|----------------------|----------|-----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| Adabella                    | 93.66 b <sup>†</sup> | 0.25 b   | 6.08 a    | 96.25 a | 1.25 ab  | 97.50 a | 20.56 ab | 17.65 a | 2.48 a   |
| Alina                       | 95.25 ab             | 0.25 b   | 4.50 a    | 94.33 a | 1.00 ab  | 95.33 a | 20.20 ab | 17.37 a | 2.57 a   |
| Armida                      | 95.75 ab             | 0.50 ab  | 3.75 a    | 92.41 a | 1.91 ab  | 94.33 a | 20.39 ab | 17.56 a | 2.67 a   |
| Esmeralda                   | 96.25 ab             | 0.66 ab  | 3.08 a    | 95.16 a | 1.08 ab  | 96.25 a | 20.83 a  | 18.14 a | 2.66 a   |
| Esperanza                   | 94.75 b              | 0.16 b   | 5.08 a    | 94.41 a | 1.58 ab  | 96.00 a | 20.46 ab | 15.80 a | 2.35 a   |
| M-173                       | 95.08 ab             | 0.16 b   | 4.75 a    | 83.91 b | 2.91 a   | 86.83 b | 18.52 c  | 18.10 a | 2.30 a   |
| M-174                       | 96.83 ab             | 0.16 b   | 3.00 a    | 92.33 a | 1.16 ab  | 93.50 a | 19.94 ab | 17.13 a | 2.53 a   |
| M-176                       | 95.50 ab             | 0.83 a   | 3.66 a    | 92.08 a | 1.66 ab  | 93.75 a | 20.45 ab | 17.67 a | 2.80 a   |
| M-177                       | 96.75 ab             | 0.16 b   | 3.08 a    | 92.75 a | 1.58 ab  | 94.33 a | 19.34 bc | 16.50 a | 2.38 a   |
| M-10542                     | 98.08 a              | 0.41 ab  | 1.50 a    | 97.41 a | 0.66 b   | 98.08 a | 20.24 ab | 17.72 a | 2.66 a   |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 3.25                 | 0.57     | 7.19      | 5.44    | 1.92     | 5.03    | 1.36     | 2.46    | 0.83     |

†Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); PGL= Germinación en laboratorio; PPAL= Plántulas anormales en laboratorio; PSSGL= Semillas sin germinar en laboratorio; PGA; germinación en prueba de vigor; PPAA= Plántulas anormales en prueba de vigor; VI= Viabilidad en prueba de vigor; VE= Velocidad de emergencia (plántulas emergidas por día); LP; Longitud de plántula; PSA= Peso seco de la parte aérea.

Para porcentaje de plántulas anormales en la prueba de vigor (PPAA), solo se encontraron diferencias significativas para FS (Cuadro 4.3). El mayor PPAA se suscitó en la FS2 con valores que oscilaron entre 7.58 a 15.83 %, mientras que en las demás fechas de siembra, los genotipos de forma individual mostraron un rango inferior a 4% (Cuadros 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11). La línea M-10542 tuvo en promedio el menor número de plántulas anormales (Cuadro 4.12), mientras que en promedio de fechas de siembra, el menor PPAA se encontró en la FS4 (Cuadro 4.13).

Cuadro 4.10. Promedios de las variables fisiológicas evaluadas en las pruebas de germinación y vigor en diez genotipos de cebada maltera sembrados el 30 de diciembre, 2012.

| Genotipo                    | PGL (%)              | PPAL (%) | PSSGL (%) | PGA (%) | PPAA (%) | VI (%)  | VE       | LP (cm)   | PSA (mg)  |
|-----------------------------|----------------------|----------|-----------|---------|----------|---------|----------|-----------|-----------|
| Adabella                    | 96.08 a <sup>†</sup> | 0.58 a   | 3.33 a    | 97.25 a | 0.66 a   | 97.91 a | 20.23 ab | 16.75 abc | 2.03 cd   |
| Alina                       | 93.91 a              | 1.41 a   | 4.66 a    | 97.16 a | 0.66 a   | 97.82 a | 19.89 ab | 17.43 abc | 2.42 abc  |
| Armida                      | 94.75 a              | 1.33 a   | 3.92 a    | 97.16 a | 1.50 a   | 96.16 a | 20.38 a  | 18.09 ab  | 2.59 a    |
| Esmeralda                   | 94.66 a              | 1.00 a   | 4.33 a    | 96.50 a | 1.16 a   | 97.66 a | 20.08 ab | 18.54 a   | 2.33 abcd |
| Esperanza                   | 94.75 a              | 0.16 a   | 5.08 a    | 95.83 a | 1.08 a   | 96.91 a | 19.28 ab | 15.49 c   | 1.96 d    |
| M-173                       | 93.33 a              | 0.58 a   | 6.08 a    | 95.91 a | 0.50 a   | 96.41 a | 19.50 ab | 17.01 abc | 2.30 abcd |
| M-174                       | 94.08 a              | 0.83 a   | 5.08 a    | 96.33 a | 0.66 a   | 97.00 a | 20.27 ab | 16.93 abc | 2.32 abcd |
| M-176                       | 95.50 a              | 0.91 a   | 3.58 a    | 94.50 a | 1.75 a   | 96.25 a | 20.27 ab | 17.47 abc | 2.38 abc  |
| M-177                       | 93.91 a              | 0.50 a   | 5.58 a    | 94.75 a | 1.50 a   | 96.25 a | 19.05 b  | 15.58 bc  | 2.18 bcd  |
| M-10542                     | 93.58 a              | 0.25 a   | 6.16 a    | 97.75 a | 0.58 a   | 98.33 a | 19.33 ab | 17.04 abc | 2.53 ab   |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 2.98                 | 2.25     | 5.20      | 4.07    | 1.65     | 3.42    | 1.2      | 2.59      | 0.4       |

<sup>†</sup>Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); PGL= Germinación en laboratorio; PPAL= Plántulas anormales en laboratorio; PSSGL= Semillas sin germinar en laboratorio; PGA; germinación en prueba de vigor; PPAA= Plántulas anormales en prueba de vigor; VI= Viabilidad en prueba de vigor; VE= Velocidad de emergencia (plántulas emergidas por día); LP; Longitud de plántula; PSA= Peso seco de la parte aérea.

Thakur *et al.* (2010) mencionan que el estrés por frío puede causar anomalías estructurales y funcionales en la semilla, en base a esto, en la evaluación de vigor en cama de arena, se observa de manera más clara el efecto de las bajas temperaturas, expresándose en anormalidades de las plántulas germinadas provenientes de la FS2.

El porcentaje de viabilidad en la prueba de vigor (VI) fue significativo para genotipos (Cuadro 4.3), los genotipos mostraron más de 90% de viabilidad a través de las fechas de siembra, a excepción de la FS2, en la cual solo los genotipos Armida y M-10542 tuvieron valores superiores a 90% de VI (Cuadros 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11).

Cuadro 4.11. Promedios de las variables fisiológicas evaluadas en las pruebas de germinación y vigor en diez genotipos de cebada maltera sembrados el 15 de enero, 2013.

| Genotipo                    | PGL (%)               | PPAL (%) | PSSGL (%) | PGA (%)  | PPAA (%) | VI (%)   | VE      | LP (cm)   | PSA (mg) |
|-----------------------------|-----------------------|----------|-----------|----------|----------|----------|---------|-----------|----------|
| Adabella                    | 94.25 ab <sup>†</sup> | 1.41 a   | 4.33 a    | 96.00 ab | 1.50 a   | 97.50 ab | 19.18 a | 15.36 bcd | 2.17 c   |
| Alina                       | 93.66 ab              | 2.00 a   | 4.33 a    | 96.50 a  | 1.50 a   | 98.00 ab | 19.26 a | 16.43 ab  | 2.68 ab  |
| Armida                      | 93.16 b               | 2.50 a   | 4.33 a    | 96.83 a  | 1.50 a   | 98.33 a  | 19.49 a | 16.34 ab  | 2.74 a   |
| Esmeralda                   | 95.75 a               | 0.33 a   | 3.91 a    | 95.58 ab | 1.58 a   | 97.16 ab | 19.04 a | 16.39 ab  | 2.51 abc |
| Esperanza                   | 93.33 b               | 0.33 a   | 6.33 a    | 95.50 ab | 1.58 a   | 97.08 ab | 18.84 a | 14.29 d   | 2.06 c   |
| M-173                       | 93.16 b               | 0.83 a   | 6.00 a    | 96.66 a  | 1.00 a   | 97.66 ab | 19.15 a | 15.90 abc | 2.21 c   |
| M-174                       | 95.33 ab              | 1.66 a   | 3.00 a    | 95.91 ab | 2.16 a   | 98.08 ab | 19.36 a | 15.17 bcd | 2.34 abc |
| M-176                       | 95.16 ab              | 0.58 a   | 4.25 a    | 95.33 ab | 1.66 a   | 97.00 ab | 19.43 a | 16.83 a   | 2.78 a   |
| M-177                       | 93.33 b               | 0.25 a   | 6.41 a    | 93.00 b  | 2.41 a   | 95.41 b  | 17.77 b | 14.70 cd  | 2.23 bc  |
| M-10542                     | 96.00 a               | 2.58 a   | 1.41 a    | 97.75 a  | 0.91 a   | 98.66 a  | 19.14 a | 16.01 abc | 2.45 abc |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 2.35                  | 4.32     | 4.58      | 3.14     | 2.05     | 2.82     | 0.82    | 1.41      | 0.45     |

<sup>†</sup>Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); PGL= Germinación en laboratorio; PPAL= Plántulas anormales en laboratorio; PSSGL= Semillas sin germinar en laboratorio; PGA; germinación en prueba de vigor; PPAA= Plántulas anormales en prueba de vigor; VI= Viabilidad en prueba de vigor; VE= Velocidad de emergencia (plántulas emergidas por día); LP; Longitud de plántula; PSA= Peso seco de la parte aérea.

En promedio de FS, la línea M-10542 presentó el valor más alto de VI (Cuadro 4.12). También hubo diferencias significativas para FS (Cuadro 4.3), en este caso, el mejor comportamiento se presentó en la FS4 y FS5 con un porcentaje de VI superior a 97% (Cuadro 4.13). Asimismo, la interacción G x FS fue significativa (Cuadro 4.3), manifestando que la VI de las semillas está influenciada por las condiciones ambientales que ocurren especialmente durante la formación de la semilla (factor heladas para este estudio), la cual afectó la viabilidad de la semilla, y la respuesta a las condiciones ambientales fue diferente entre genotipos.

Cuadro 4.12. Comportamiento medio de las variables evaluadas en las pruebas de calidad fisiológica en diez genotipos de cebada maltera cultivados en El Bajío.

| Genotipo                    | PGL (%)                | PPAL (%) | PSSGL (%) | PGA (%)  | PPAL (%) | VI (%)    | VE        | LP (cm)    | PSA (mg) |
|-----------------------------|------------------------|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|----------|
| Adabella                    | 93.16 abc <sup>†</sup> | 1.50 a   | 5.34 a    | 91.60 ab | 6.88 a   | 93.93 abc | 18.93 ab  | 16.38 bcd  | 2.40 abc |
| Alina                       | 92.63 bc               | 1.87 a   | 5.50 a    | 91.13 ab | 6.75 a   | 94.16 abc | 18.40 abc | 16.81 abcd | 2.55 abc |
| Armida                      | 93.86 ab               | 1.99 a   | 4.15 a    | 91.66 ab | 7.10 a   | 94.30 ab  | 19.10 a   | 16.92 abcd | 2.63 ab  |
| Esmeralda                   | 93.83 ab               | 2.82 a   | 3.35 a    | 91.40 ab | 7.90 a   | 94.63 ab  | 18.92 ab  | 17.91 a    | 2.60 abc |
| Esperanza                   | 92.73 bc               | 1.02 a   | 6.25 a    | 90.86 ab | 8.77 a   | 94.26 ab  | 18.56 ab  | 15.08 e    | 2.30 bc  |
| M-173                       | 90.33 d                | 1.82 a   | 7.85 a    | 86.50 c  | 8.94 a   | 91.06 c   | 17.91 bc  | 16.17 cde  | 2.20 c   |
| M-174                       | 94.00 ab               | 2.07 a   | 3.93 a    | 92.36 ab | 7.78 a   | 95.46 a   | 19.33 a   | 16.11 cde  | 2.46 abc |
| M-176                       | 94.13 a                | 1.71 a   | 4.16 a    | 89.36 bc | 7.23 a   | 92.16 bc  | 18.74 ab  | 17.45 ab   | 2.78 a   |
| M-177                       | 91.96 c                | 2.10 a   | 5.94 a    | 86.93 c  | 9.35 a   | 91.03 c   | 17.40 c   | 15.85 de   | 2.35 bc  |
| M-10542                     | 94.40 a                | 1.84 a   | 3.75 a    | 94.56 a  | 6.60 a   | 96.86 a   | 18.92 ab  | 16.99 ab   | 2.55 abc |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 1.39                   | 2.54     | 6.08      | 3.81     | 3.33     | 3.18      | 1.01      | 1.14       | 0.40     |

<sup>†</sup>Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); PGL= Germinación en laboratorio; PPAL= Plántulas anormales en laboratorio; PSSGL= Semillas sin germinar en laboratorio; PGA; germinación en prueba de vigor; PPAA= Plántulas anormales en prueba de vigor; VI= Viabilidad en prueba de vigor; VE= Velocidad de emergencia (plántulas emergidas por día); LP; Longitud de plántula; PSA= Peso seco de la parte aérea.

Hubo significancia en velocidad de emergencia (VE) para genotipos (Cuadro 4.3). Se presentó un comportamiento distinto de los genotipos a través de fechas de siembra, debido a la fluctuación de temperaturas que posiblemente afectó el vigor de la semilla, expresándose en variaciones en la VE de los distintos genotipos, en promedio de fechas de siembra, la línea M-174 mostró el valor más alto (Cuadro 4.12). También hubo diferencias significativas para FS (Cuadro 4.3), la mayoría de los genotipos mostró la mayor VE en la FS3 y FS4. La interacción G x FS resultó significativa, atribuido a las condiciones de estrés presentes en los diferentes ciclos de cultivo, se observó que el daño por bajas temperaturas en la FS2 disminuyó drásticamente la VE en todos los genotipos, en comparación a las demás FS (Cuadros 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11).

Cuadro 4.13. Comportamiento medio de las variables evaluadas en las pruebas de calidad fisiológica en diez genotipos de cebada cultivados en El Bajío.

|                             | PGL                  | PPAL   | PSSGL   | PGA     | PPAL    | VI      | VE      | LP       | PSA     |
|-----------------------------|----------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| Fecha de siembra            | (%)                  | (%)    | (%)     | (%)     | (%)     | (%)     |         | (cm)     | (mg)    |
| 15 de noviembre             | 94.60 b <sup>†</sup> | 1.03 b | 4.17 b  | 91.63 b | 6.77 b  | 93.46 b | 18.52 b | 16.66 b  | 2.55 ab |
| 30 de noviembre             | 86.58 c              | 5.16 a | 8.28 a  | 75.53 c | 18.43 a | 85.98 c | 15.44 c | 15.93 c  | 2.69 a  |
| 15 de diciembre             | 95.71 a              | 0.35 b | 4.02 b  | 92.98 b | 5.13 b  | 94.31 b | 20.08 a | 17.37 a  | 2.48 ab |
| 30 de diciembre             | 94.23 b              | 0.83 b | 5.01 ab | 96.70 a | 3.00 c  | 97.36 a | 19.93 a | 17.24 ab | 2.33 b  |
| 15 de enero                 | 94.40 b              | 0.93 b | 4.63 b  | 96.35 a | 5.31 b  | 97.81 a | 19.13 b | 15.63 c  | 2.38 b  |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 0.85                 | 1.52   | 3.64    | 2.32    | 2.03    | 1.94    | 0.62    | 0.68     | 0.24    |

<sup>†</sup>Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); PGL= Germinación en laboratorio; PPAL= Plántulas anormales en laboratorio; PSSGL= Semillas sin germinar en laboratorio; PGA; germinación en prueba de vigor; PPAA= Plántulas anormales en prueba de vigor; VI= Viabilidad en prueba de vigor; VE= Velocidad de emergencia (plántulas emergidas por día); LP; Longitud de plántula; PSA= Peso seco de la parte aérea.

Para longitud de plántula (LP) se encontraron diferencias significativas para genotipos (Cuadro 4.3). En promedio de fechas de siembra, Esmeralda presento el valor más alto para LP (Cuadro 4.12). La LP también tuvo un comportamiento distinto entre genotipos a través de fechas de siembra, pero a diferencia de las demás variables fisiológicas, no hubo un efecto tan drástico en la reducción de la longitud de las plántulas provenientes de la FS2, en relación a las demás FS, como efecto del daño por bajas temperaturas (Cuadros 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11). También hubo significancia para FS (Cuadro 4.3), en la FS3 y FS4 se obtuvo en promedio de genotipos el mejor comportamiento, además se observó que en la FS5 disminuyó de manera considerable la LP (Cuadro 4.13). Para la interacción G x FS no hubo significancia (Cuadro 4.3).

En peso seco de la parte aérea (PSA) hubo diferencias significativas para variedades (Cuadro 4.3). El comportamiento de los genotipos a través de FS fue similar (Cuadros 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11). En promedio de FS, la línea M-176 presento el valor más alto (Cuadro 4.12). También se encontró significancia para FS (Cuadro 4.3), la FS1, FS2 y FS3 presentaron valores superiores a la FS4 y FS5 (Cuadro 4.13). El comportamiento en velocidad de germinación, porcentaje de germinación, velocidad de crecimiento, longitud y peso seco de plántula, generalmente están influenciados por los cultivares (Gharoobi, 2011). Otros factores que inducen variación en el nivel de vigor son la nutrición de la planta madre, estado de madurez a la cosecha, tamaño de semilla, integridad mecánica y condiciones de almacenamiento (Ellis, 1992; Copeland y McDonald, 1995).

Se encontraron correlaciones positivas y correlaciones negativas (Cuadro 4.14). Estudios previos explican algunas correlaciones encontradas, entre ellas, las semillas grandes presentan plantas con mayor biomasa que las semillas más pequeñas o de menor peso (Aparicio *et al.*, 2002). El porcentaje de germinación, peso seco y longitud de plántula se incrementa al aumentar el tamaño de la semilla (Farahani *et al.*, 2011).

Algunas correlaciones pueden deducirse, semillas con alto PHL aumentan el PMS. El porcentaje de germinación depende de la viabilidad de la semilla, el porcentaje de germinación es un indicativo del posible porcentaje de germinación en campo, durante el proceso de germinación frecuentemente se presenta un porcentaje de plántulas anormales, la capacidad y rapidez para germinar posiblemente tiene un efecto sobre la velocidad de emergencia y longitud de plántula. Bajo condiciones de campo, el porcentaje de germinación está en función de la viabilidad de la semilla, si la viabilidad es baja el porcentaje de plántulas anormales suele aumentar, además el peso seco de la parte aérea puede verse afectado en las

semillas que hayan tenido una germinación normal. Cuando la velocidad de emergencia es rápida existe la posibilidad de un crecimiento acelerado de la longitud de las plántulas. Con el aumento de la longitud de plántula hay mayor acumulación de biomasa y por tanto mayor peso seco de la parte aérea.

Posiblemente la mayoría de las correlaciones estuvo influenciada por los efectos de las bajas temperaturas presentes durante el ciclo de cultivo, que especialmente afectaron a la FS2. El vigor de la semilla, como lo indica el peso de plántula, producción de plántulas normales, emergencia de plántulas, además de otras variables, se reduce en semillas provenientes de plantas desarrolladas bajo condiciones de estrés (Hasan *et al.*, 2013).

Cuadro 4.14. Valores de correlación entre variables de calidad física y fisiológica de semillas de cebada cultivadas en cinco fechas de siembra.

|       | CH   | PHL   | PMS    | PGL    | PPAL   | PSSGL | VI     | PGA    | PPAA    | VE      | LP      | PSA     |
|-------|------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| CH    | 1.00 | -0.03 | -0.11  | 0.04   | -0.01  | -0.11 | 0.15   | 0.15   | -0.11   | 0.08    | -0.30   | -0.23   |
| PHL   |      | 1.00  | 0.53 * | 0.33 * | -0.26  | 0.08  | 0.36 * | 0.37 * | -0.36 * | 0.45 *  | 0.39 *  | 0.14    |
| PMS   |      |       | 1.00   | 0.09   | -0.07  | 0.27* | 0.11   | -0.07  | 0.003   | 0.07    | 0.44 *  | 0.48 *  |
| PGL   |      |       |        | 1.00   | -0.65* | 0.07  | 0.73 * | 0.77 * | -0.79 * | 0.77 *  | 0.37 *  | -0.08   |
| PPAL  |      |       |        |        | 1.00   | -0.10 | -0.63* | -0.69* | 0.72*   | -0.68*  | -0.19*  | 0.24*   |
| PSSGL |      |       |        |        |        | 1.00  | 0.15   | 0.13   | -0.11   | 0.15    | 0.08    | 0.06    |
| VI    |      |       |        |        |        |       | 1.00   | 0.96*  | -0.86 * | 0.87 *  | 0.19 *  | -0.29 * |
| PGA   |      |       |        |        |        |       |        | 1.00   | -0.95 * | 0.92 *  | 0.28 *  | -0.29 * |
| PPAA  |      |       |        |        |        |       |        |        | 1.00    | -0.92 * | -0.39 * | 0.25*   |
| VE    |      |       |        |        |        |       |        |        |         | 1.00    | 0.43 *  | -0.24   |
| LP    |      |       |        |        |        |       |        |        |         |         | 1.00    | 0.31 *  |
| PSA   |      |       |        |        |        |       |        |        |         |         |         | 1.00    |

\*= significativo (0.05); CH= Contenido de humedad de la semilla; PMS= Peso de mil semillas; PHL= Peso hectolítrico; PGL= Germinación en laboratorio; PPAL= Plántulas anormales en laboratorio; PSSGL= Semillas sin germinar en laboratorio; PGA; germinación en prueba de vigor; PPAA= Plántulas anormales en prueba de vigor; VI= Viabilidad en prueba de vigor; VE= Velocidad de emergencia (plántulas emergidas por día); LP; Longitud de plántula; PSA= Peso seco de la parte aérea.

En relación con los resultados observados en este estudio, en la siembra del 15 de diciembre (FS3), las semillas cosechadas adquirieron un mayor número de cualidades en calidad física y fisiológica, lo cual concuerda con las recomendaciones realizadas por INIFAP, para el caso de cebada. Aun así, como se indica en las correlaciones, no habría que descartar la posibilidad de que los resultados hayan sido influenciados por la presencia de bajas temperaturas que se suscitaron en FS tempranas.

También se observó que en la siembra del 15 de enero (FS5), las semillas cosechadas presentaron menor calidad, a pesar de que presentaron buenas características de germinación y viabilidad, disminuyó de manera considerable el PHL, PMS y LP, por lo cual sería recomendable evitar sembrar en este periodo, para que las plantas no se desarrollen bajo condiciones de estrés como consecuencia del aumento de temperatura, en detrimento de la disminución de la calidad de las semillas. Otro inconveniente, es que cuando se retrasa la fecha de siembra, los cultivos se vuelven más dependientes de riegos, debido a que la humedad disponible del suelo se agota rápidamente, por lo que se requiere de la aplicación de riegos adicionales con mayor frecuencia, para evitar que disminuya la calidad de las semillas (Carter y Stoker, 1985).

#### **4.4. CONCLUSIONES**

- La fenología, calidad física y fisiológica en semillas de cebada varía en función del clima que se presenta durante el ciclo de cultivo, el cual cambia a través de fechas de siembra.

- Retrasar la fecha de siembra implica menor tiempo para la acumulación de biomasa, a causa del estrés por calor, y como consecuencia se disminuyen los parámetros de calidad de las semillas.
- Las variedades Armida y Alina presentaron las mejores características en calidad física de la semilla a través de las distintas fechas de siembra, por lo que son una alternativa para la producción de grano o semilla en la región de El Bajío, además de poseer un ciclo de cultivo más corto que la variedad Esperanza.
- La línea M-10542 presentó el mejor comportamiento en germinación estándar, mientras que en la prueba de vigor mostró el mejor porcentaje de plántulas normales y viabilidad de semillas, además de presentar el menor porcentaje de plántulas anormales.
- Todos los genotipos expresaron mejores características en calidad física y fisiológica de la semilla en la siembra realizada el 15 de diciembre.
- Debido a que la producción de semilla de los genotipos generados para condiciones de temporal se realiza en El Bajío, sería recomendable evitar sembrar en periodos que sometan al cultivo a condiciones de estrés, para evitar que la calidad de la semilla disminuya.
- La presencia de heladas durante la fase de llenado de la semilla en la siembra del 30 de noviembre, afectó todas las variables de calidad física y fisiológica de la semilla, caso similar sucedió en las fechas de siembra tardías, debido al aumento de temperatura, pero con un menor grado de afectación.

#### 4.5 LITERATURA CITADA

- Alam, M.Z., S.A. Haider and N.K. Paul. 2007. Yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) in relation to sowing times. *Journal of Biological Science*, 15: 139-145.
- Aparicio N., D. Villegas, J.L. Araus, R. Blanco and C. Royo. 2002. Seedling development and biomass as affected by seed size and morphology in durum wheat. *Journal of Agricultural Science*, 139: 143–150.
- Balla K., I. Karsai and O. Veisz. 2009. Analysis of the quality of wheat varieties at extremely high temperatures. *Cereal Research Communications*, 37: 13-16.
- Bentley A.R., E.F. Jensen, I.J. Mackay, H. Hönicka, M. Fladung, K. Hori, M. Yano, J.E. Mullet, I.P. Armstead, C. Hayes, D. Thorogood, A. Lovatt, R. Morris, N. Pullen, E. Mutasa- Göttgens and J. Cockram. 2013. Flowering Time. C. Kole (ed.), *In: Genomics and Breeding for Climate-Resilient Crops*, Vol. 2, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 1-66.
- Carter K.E. and R. Stoker. 1985. Effects of irrigation and sowing date on yield and quality of barley and wheat, *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 13(1): 77-83.
- Corbineau F. 2012. Markers of seed quality: from present to future. *Seed Science Research*, 22: S61–S68.
- Duguid, S.D. and Brulé-Babel, A.L. 1994. Rate and duration of grain filling in five spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 74: 681-686.
- Ellis R.H. 1992. Seed and seedling vigour in relation to crop growth and yield. *Plant Growth Regulation*, 11: 249-255.
- Farahani H.A., P.I Moaven and M. Kasra. 2011. Effect of seed size on seedling production in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Advances in Environmental Biology*, 5(7): 1711-1715.
- Fox G.P. 2010. Chemical Composition in Barley Grains and Malt Quality. *In: Genetics and Improvement of Barley Malt Quality. Advanced Topics in Science and Technology in China*, pp. 63-98.
- García del Moral L.F., Y. Rharrabti, D. Villegas and C. Royo. 2003. Evaluation of grain yield and its components in Durum wheat under Mediterranean conditions: An ontogenic approach. *Agronomy Journal*, 95: 266-274.
- Gharoobi, B. 2011. Effects of seed size on seedlings characteristics of five barley cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology* 1 (4): 265-270.

- Hasan Md.A., J.U. Ahmed, T. Hossain, Md.A. Khaleque Mian and Md.M. Haque. 2013. Evaluation of the physiological quality of wheat seed as influenced by high parent plant growth temperature. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 16(1): 69-74.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2005. *International Rules for Seed Testing. Rules*. 2005. ISTA Editions, Zurich, Switzerland. 243 p.
- Motzo R., F. Giunta and M. Deidda. 1996. Relationships between grain-filling parameters, fertility, earliness and grain protein of durum wheat in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 47: 129-142.
- 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.
- Olesen J.E., C.D. Borgeesen, L. Elsgaard, T. Palosuo, R.P. Rotter, A.O. Skjelvag, P. Peltonen-Sainio, T. Borjesson, M. Trnka, F. Ewert, S. Siebert, N. Brisson, J. Eitzinger, E.D. van Asselt, M. Oberforster, and H.J. van der Fels-Klerx. 2012. Changes in time of sowing, flowering and maturity of cereals in Europe under climate change. *Food Additives and Contaminants: Part A*, 29(10): 1527-1542.
- O'Donovan J. T., T.K. Turkington, M.J. Edney, P.E. Juskiw, R.H. McKenzie, K.N. Harker, G.W. Clayton, G.P. Lafond, C.A. Grant, S. Brandt, E.N. Johnson, W.E. May and E. Smith. 2012. Effect of seedling date and seedling rate on malting barley production in western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 92: 321-330.
- Paynter, B.H., Juskiw, P.E. and J.H. Helm. 2001. Phenological development in two-row spring barley when grown in a long-day (Alberta, Canada) and a short-day (Western Australia, Australia) environment. *Canadian Journal of Plant Science*, 81: 621-629.
- Rajala A., M. Niskanen, M. Isolahti and P. Peltonen-Sainio. 2011. Seed quality effects on seedling emergence, plant stand establishment and grain yield in two-row barley. *Agricultural and Food Science*, 20: 228-234.
- Ramírez J. F., M. Zamora, L.A. Márquez y A.M. Ibañez. 1997. Esperanza variedad de cebada maltera para El Bajío. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro Experimental El Bajío. México, D.F. Boletín Técnico Núm. 1. 20 p.
- Ruiz C.J.A., G.G. Medina, I.J.A. Gonzáles, C.T. Ortiz, H.E.L. López, R.A.P. Martínez y K.F.M. Byerly. 1999. Requerimientos agroecológicos de cultivos. SAGAR. INIFAP. CIRPAC. Libro técnico No. 3. Guadalajara, Jalisco, México. 324 p.
- SAS Institute. 2002. *Statistical Analysis System Version 9.0* North Carolina, USA.

- Solano S., M. Zamora, F.P. Gámez, J.J. García, R. Sánchez, J. Ireta, F. Díaz y R. Garza. 2009. Alina, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Agricultura Técnica en México*, 35 (4): 467-469.
- Suaste-Franco M.P., E. Solís-Moya, L. Ledesma-Ramírez, M.L. de la Cruz-Gonzalez, O.A. Grageda-Cabrera y A. Báez-Pérez. 2013. Efecto de la densidad y método de siembra en el rendimiento de grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) en El Bajío, México. *Agrociencia*, 47: 159-170.
- Thakur P., S. Kumar, J.A. Malik, J.D. Berger and H. Nayyar. 2010. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 67: 429-443.
- Ullmannová K., T. Středa and O. Chloupek. 2013. Use of barley seed vigour to discriminate drought and cold tolerance in crop years with high seed vigour and low trait variation. *Plant Breeding*, 132, 295–298.
- Ullrich S.E. 2011. Significance, Adaptation, Production, and Trade of Barley. *In* Barley: Production, Improvement, and Uses. Ullrich S. E. (ed.), Wiley-Blackwell Publishing Ltd. Iowa, USA. pp. 3-13.
- Wahid A., S. Gelani, M. Ashraf and M.R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61: 199–223.
- Zamora M., L.A. Márquez, F. Ramírez y A.M. Ibáñez. 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 Núm. 5. México, D.F. 20 p.
- Zamora M., S. Solano, R. Gómez, I. Rojas, J. Ireta, R. Garza y C. Ortiz. 2008. Adabella: variedad de cebada maltera para valles altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México*, 34(4): 491-493.
- Zamora M., S. Solano, R. Garza, J. Islas, R. Huerta y M. López. 2010. Armida, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(5): 723-726.

## CAPÍTULO V. LATENCIA EN GRANOS DE CEBADA MALTERA

### RESUMEN

La latencia se considera como la nula germinación de un lote de granos o semillas viables, a pesar de colocarse en condiciones óptimas para su germinación, por tanto un grano recién maduro puede no germinar en condiciones favorables y, en cambio, puede hacerlo después de un breve periodo de almacenamiento después de su maduración. En esta investigación se estudió el proceso de germinación de diez genotipos de cebada maltera a partir de madurez fisiológica, hasta que estos alcanzaron un porcentaje de germinación superior a 90 %. La prueba de germinación se realizó en una cámara de germinación a temperatura constante de 25 °C, empleando cuatro repeticiones de cien granos por muestreo, además se determinó el contenido de humedad del grano antes de cada evaluación. Se empleó un diseño de bloques completos al azar. Los resultados mostraron un comportamiento distinto en el porcentaje de germinación a partir de madurez fisiológica entre genotipos. Se considera que los genotipos de cebada maltera evaluados no presentan latencia, debido a que hubo germinación de los granos a partir de su madurez y el tiempo para obtener más de 90 % de germinación fue de 21 días después de alcanzar la madurez fisiológica, con excepción de los genotipos Alina, Armida y M-173 que requirieron 28 días.

**Palabras clave:** *Hordeum vulgare* L., germinación, latencia.

## 5.1. INTRODUCCIÓN

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

La germinación incorpora aquellos eventos que comienzan con la absorción de agua por la semilla y termina con la elongación del eje embrionario (Bewley, 1997). La ausencia de germinación puede tener varias causas, entre ellas, que la semilla no es viable, el ambiente no es óptimo para la germinación, o la semilla presenta latencia (Hilhorst, 2011). La latencia de una semilla, se refiere al estado en el cual una semilla viable no germina, a pesar de colocarse en condiciones favorables como humedad, temperatura, luz, oscuridad y concentración de oxígeno idóneas para su germinación (Baskin y Baskin, 2007). La latencia puede persistir por días o por años, dependiendo de la especie (Taylorson y Hendricks, 1977). La latencia se basa en factores que inhiben la germinación; ya sean endógenos (embrión) o exógenos (cubierta de la semilla) (Hilhorst, 2011). La cubierta del grano, y las glumas de los cereales, pueden actuar como barreras físicas que limitan el oxígeno, el agua y la absorción de nutrientes por el embrión. El endospermo puede ser una barrera que restringe el crecimiento del embrión en granos embebidos (Barrero *et al.*, 2010). Además, varios mecanismos bioquímicos están asociados con la latencia, incluyendo el efecto antagónico entre el ácido abscísico y el ácido giberélico (Fox, 2010).

Los principales mecanismos que causan latencia en granos de cebada, se deben a factores ambientales como días cortos, temperaturas frescas y alta humedad durante el llenado de grano (Black y Bewley, 2000). La ventaja de tener un lote de granos de cebada recién cosechado con la capacidad de germinar de manera rápida y uniforme está relacionada con la posibilidad de realizar un malteado inmediato. En México, se desconoce si las variedades de cebada maltera empleadas en las distintas zonas de producción presentan efectos de latencia, por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue evaluar efectos de latencia a partir de la madurez fisiológica en granos de diez genotipos de cebada maltera.

## **5.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se utilizaron granos de cebada maltera de los genotipos Adabella, Alina, Armida, Esmeralda, Esperanza, M-173, M-174, M-176, M-177 y M-10542, proporcionados por el Programa Nacional de Cebada, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), sembrados el 15 de noviembre en el ciclo otoño-invierno 2013-2014 en el Campo Experimental Bajío en Celaya, Gto.

El diseño experimental de campo utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones. La siembra se realizó en surcos con separación de 30 cm, cada unidad experimental consistió de cuatro surcos de 3.0 m de largo, la densidad de siembra fue de 100 kg ha<sup>-1</sup> a excepción de la variedad Esperanza que fue de 120 kg ha<sup>-1</sup>, los riegos fueron proporcionados al momento de la siembra, a los 45, 70 y 90 días después del primer riego. El manejo agronómico empleado fue el recomendado por INIFAP para la región de El Bajío (Zamora *et al.*, 2010). La madurez fisiológica del cultivo se consideró cuando el pedúnculo de las espigas se tornó color marrón.

Una vez alcanzada la madurez fisiológica en cada genotipo, se procedió a cosechar espigas hasta obtener una muestra de 1,500 gramos por genotipo, de los granos cosechados se realizaron muestreos cada 7 días, para determinar el contenido de humedad del grano y realizar pruebas de germinación, esta operación se repitió hasta que el porcentaje de germinación de los genotipos fuera superior a 90 %, dichos procedimientos se realizaron en el Laboratorio de Cebada perteneciente al INIFAP, Campo Experimental Bajío.

### **5.2.1. Prueba de germinación**

Se realizó de acuerdo con las recomendaciones del ISTA (2005), se utilizaron cuatro repeticiones de cien granos por genotipo, bajo un diseño completamente al azar. Los granos fueron colocados y espaciados en toallas de papel (22.5 x 23.5 cm) y enrollados en forma de taco (método entre papel). Los rollos se colocaron en bolsas de plástico y fueron puestos en una cámara de germinación a temperatura constante de 20 °C, durante siete días.

#### **Variables evaluadas**

**Contenido de humedad del grano.** Se determinó mediante el uso de tres repeticiones de 120 gramos, en un determinador de humedad marca BURROWS, modelo DMC750 DIGITAL MOISTURE COMPUTER, y el resultado obtenido se reportó en porcentaje.

**Germinación (PG).** Se determinó en base al número de plántulas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones y se expresó en porcentaje.

**Plántulas anormales (PPA).** Se estableció en base a plántulas con malformaciones y fue expresado en porcentaje.

**Granos frescos (PGF).** Se determinó en base al total de granos sin germinar y se expresaron en porcentaje.

### **5.2.2. Análisis estadístico**

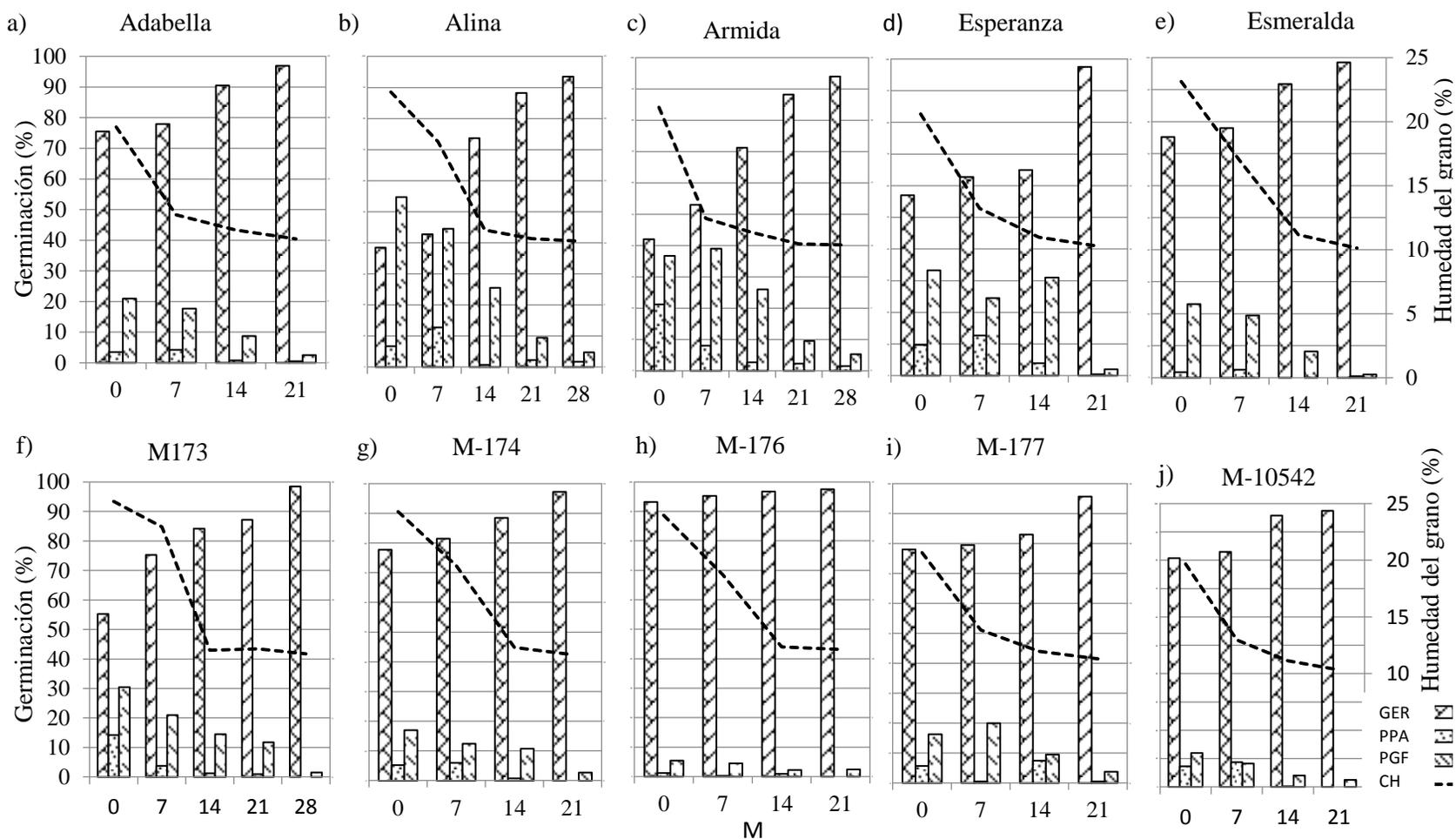
Se realizó un análisis de varianza combinado de muestreos y prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05), se empleó el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2002). Además se graficaron los datos de germinación y contenido de humedad del grano.

## **5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el análisis de varianza, solo se evaluaron los muestreos de la prueba de germinación realizados en madurez fisiológica (M1), a los 7 (M2), 14 (M3) y 21 (M4) días posteriores a esta, debido a que la mayoría de los genotipos alcanzó más del 90 % de germinación en ese lapso, a excepción de Alina, Armida y M-173 que requirieron de una semana más (28 días), para alcanzar ese porcentaje (Figura 5.1).

Para germinación (PG) hubo significancia entre genotipos (Cuadro 5.1), en este estudio, Alina y Armida fueron los únicos genotipos que mostraron menos del 50 % de germinación en madurez fisiológica, pero a medida que aumentó el número de muestreos, el porcentaje de germinación de todos los genotipos fue aumentando, aun así, el comportamiento de la germinación fue diferente entre genotipos. Flores (2004), menciona que algunas semillas son capaces de germinar a un alto nivel, antes de terminar su desarrollo o inmediatamente después de ser cosechadas, mientras que, otras pueden ser latentes y requieren de un periodo de desarrollo adicional para que la germinación ocurra.

Figura 5.1. Comportamiento de la germinación y contenido de humedad del grano en diez genotipos de cebada maltera evaluados a partir de madurez fisiológica.



M= muestros a partir de madurez fisiológica (días); PG= germinación; PPA= Plántulas anormales; PGF=granos frescos; CH= contenido de humedad del grano.

Cuadro 5.1. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis combinado de muestreos para las variables evaluadas en la prueba de germinación de diez genotipos de cebada maltera.

| FV    | GL | PG        | PPA      | PGF       |
|-------|----|-----------|----------|-----------|
| G     | 9  | 1065.20 * | 52.19 *  | 715.94 *  |
| M     | 3  | 29.37 *   | 200.54 * | 1617.46 * |
| G x M | 27 | 114.49 *  | 26.07 *  | 75.89 *   |
| CV    |    | 1.57      | 16.69    | 8.59      |

\*= significativo (0.05); FV= Factor de variación; GL= Grados de libertad; G= genotipos; M= muestreos a partir de madurez fisiológica (días); CV= coeficiente de variación; PG; porcentaje de germinación; PPA= porcentaje de plántulas anormales; PGF= porcentaje de granos frescos.

Para muestreos (M) también hubo significancia (Cuadro 5.1), la línea M-176 mostró más de 90 % de germinación al alcanzar su madurez, en tanto que Adabella, Esmeralda y M-10542 lo hicieron 14 días posteriores a dicho evento, Esperanza, M-174 y M-177 a los 21 días (Cuadro 5.2), mientras que Alina, Armida y M-173 a los 28 días (Figura 5.1).

El objetivo de la prueba de germinación es obtener información con respecto a la capacidad de las semillas para generar plántulas normales (Moreno, 1996). La interacción G x M fue significativa (Cuadro 5.1), indicando que después de transcurrir un breve periodo de almacenamiento, el porcentaje de germinación superó el 90 % (Cuadro 5.2). Hilhorst (2011), menciona que cuando se realizan pruebas de germinación y se obtienen variaciones en el porcentaje de germinación, se debe interpretar que las semillas o granos están parcialmente inactivas, por otra parte, si la germinación es nula, las semillas presentan latencia y en otras ocasiones las semillas no son viables.

Cuadro 5.2. Comparación de medias para la variable porcentaje de germinación (PG) en diez genotipos de cebada maltera evaluados a partir de madurez fisiológica.

| <b>Genotipo</b>             | <b>M1</b>  | <b>M2</b>  | <b>M3</b>  | <b>M4</b> |
|-----------------------------|------------|------------|------------|-----------|
| Adabella                    | 75.50 cd † | 78.00 de † | 90.50 bc † | 97.00 a † |
| Alina                       | 38.50 g    | 42.75 h    | 71.25 e    | 88.25 b   |
| Armida                      | 42.00 f    | 53.00 g    | 73.75 e    | 88.25 b   |
| Esmeralda                   | 75.25 d    | 78.00 de   | 91.75 b    | 98.50 a   |
| Esperanza                   | 57.00 e    | 62.75 f    | 65.00 f    | 97.50 a   |
| M-173                       | 55.25 e    | 75.25 e    | 84.25 d    | 87.25 b   |
| M-174                       | 77.75 cd   | 81.50 bc   | 88.50 c    | 97.25 a   |
| M-176                       | 93.25 a    | 95.25 a    | 96.75 a    | 97.50 a   |
| M-177                       | 78.00 c    | 79.50 cd   | 83.00 d    | 95.75 a   |
| M-10542                     | 80.75 b    | 83.00 b    | 95.75 a    | 97.50 a   |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 2.70       | 3.26       | 2.58       | 3.10      |

†Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); M= muestreos a partir de madurez fisiológica (días).

Para plántulas anormales (PPA) se observaron diferencias significativas entre genotipos (Cuadro 5.1), todos los genotipos presentaron plántulas anormales al inicio de las pruebas de germinación, pero el comportamiento vario entre genotipos (Cuadro 5.3). Durante la prueba de germinación, se consideran anormales todas las plántulas que presentan alguna deficiencia en el desarrollo de sus estructuras esenciales, que les impide un desarrollo normal cuando crecen en suelo y bajo condiciones favorables (Moreno, 1996). En la evaluación de plántulas anormales también hubo significancia para muestreos (Cuadro 5.1), en madurez fisiológica hubo mayor porcentaje de plántulas anormales, pero a medida que transcurrieron los días posteriores a la cosecha, el porcentaje de plántulas anormales disminuyó a menos de 3% en el cuarto muestreo (Cuadro 5.3), posiblemente en los primeros muestreos, los granos aún se

encontraban en un estado inmaduro, por tanto al iniciarse el proceso de germinación, la inmadurez del grano se expresaba como una plántula anormal.

Para plántulas anormales también fue significativa la interacción G x M, mostrando variación entre genotipos, por ejemplo, Alina en el M1 tuvo menor porcentaje de PA que en el M2, pero en el M3 vuelve a disminuir y aumenta nuevamente en el M4 (Figura 5.1), tal vez debido a una posible inmadurez del grano.

El porcentaje de granos frescos mostro diferencias significativas para genotipos, (Cuadro 5.1), el porcentaje de granos frescos osciló de 5.50 a 54.75 % en madurez fisiológica, mostrando variación entre genotipos.

Cuadro 5.3. Comparación de medias para la variable porcentaje de plántulas anormales (PPA) en diez genotipos de cebada maltera evaluados a partir de madurez fisiológica.

| <b>Genotipo</b>             | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b> |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Adabella                    | 3.50 ef † | 4.25 de†  | 0.75 d†   | 0.50 b†   |
| Alina                       | 6.75 d    | 12.75 a   | 0.75 d    | 2.25 a    |
| Armida                      | 21.25 a   | 8.00 bc   | 2.75 bc   | 2.25 a    |
| Esmeralda                   | 1.75 f    | 2.50 ef   | 0.00 d    | 0.50 b    |
| Esperanza                   | 9.75 c    | 12.75 a   | 4.00 b    | 0.50 b    |
| M-173                       | 14.25 b   | 3.75 de   | 1.25 cd   | 1.00 b    |
| M-174                       | 5.25 ed   | 6.00 cd   | 0.75 d    | 0.00 b    |
| M-176                       | 1.25 f    | 0.25 f    | 1.00 d    | 0.00 b    |
| M-177                       | 5.75 de   | 0.50 f    | 7.50 a    | 0.50 b    |
| M-10542                     | 7.25 d    | 8.75 b    | 0.25 d    | 0.00 b    |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 2.48      | 2.35      | 1.61      | 1.20      |

†Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); M= muestreos a partir de madurez fisiológica (días).

Para muestreos también hubo significancia, en el transcurso de los muestreos posteriores a madurez, el porcentaje de granos frescos fue disminuyendo, de tal manera que a los 21 días después de madurez fisiológica (M4), el rango osciló de 1.00 a 11.75 % (Cuadro 5.4). Asimismo, la interacción G x M fue significativa, mostrando que en todos los genotipos disminuyó el porcentaje de granos frescos, durante el periodo de almacenamiento que transcurrió a partir de su madurez.

Para el caso de Alina, Armida y M-173, al parecer el contenido de humedad del grano, solo influyó en el porcentaje de germinación en madurez fisiológica y siete días posteriores a esta, mientras que en el resto de los genotipos no se observa efecto alguno (Figura 5.1), este efecto posiblemente se debió a un exceso de agua en el grano, que dificultó la llegada de oxígeno al embrión, actuando desfavorablemente en la germinación (Doria, 2010).

Cuadro 5.4. Comparación de medias para la variable porcentaje de granos frescos (PGF) en diez genotipos de cebada maltera evaluados a partir de madurez fisiológica.

| <b>Genotipo</b>             | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b> |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Adabella                    | 21.00 d † | 17.75 d † | 8.75 de † | 2.50 bc † |
| Alina                       | 54.75 a   | 44.50 a   | 25.50 b   | 9.50 a    |
| Armida                      | 36.75 b   | 39.00 b   | 26.00 b   | 9.50 a    |
| Esmeralda                   | 23.00 d   | 19.50 d   | 8.25 e    | 1.00 c    |
| Esperanza                   | 33.25 c   | 24.50 c   | 31.00 a   | 2.00 bc   |
| M-173                       | 30.50 c   | 21.00 cd  | 14.50 c   | 11.75 a   |
| M-174                       | 17.00 e   | 12.50 e   | 10.75 d   | 2.75 bc   |
| M-176                       | 5.50 g    | 4.50 f    | 2.25 f    | 2.50 bc   |
| M-177                       | 16.25 e   | 20.00 d   | 9.50 de   | 3.75 b    |
| M-10542                     | 12.00 f   | 8.25 f    | 4.00 f    | 2.50 bc   |
| <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 3.38      | 3.90      | 2.24      | 2.53      |

†Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); M= muestreos a partir de madurez fisiológica (días).

Después de que el grano llega a madurez fisiológica, el contenido de humedad disminuye rápidamente (Hamdollah, 2012), como era de suponer, los resultados de este estudio siguieron dicha tendencia. A los 14 días después de madurez fisiológica, el contenido de humedad del grano se estabilizó en 11 % (Figura 5.1).

En cebada, la latencia generalmente se expresa cuando el cultivo se produce en condiciones de clima frío y húmedo (Reuss *et al.*, 2003), en otros casos, la latencia puede superarse después de un corto periodo de almacenamiento (Black y Bewley, 2000). En base a los resultados obtenidos, se puede considerar que no existe latencia en los genotipos evaluados, puesto que hubo germinación de los granos a partir de su madurez y el tiempo para obtener más de 90 % de germinación fue de 21 días después de alcanzar la madurez fisiológica, con excepción de los genotipos Alina, Armida y M-173 que requirieron 28 días. Takeda y Hori (2007) mencionan que la latencia de los granos de cebada es controlada predominantemente por efectos genéticos. En adición a los factores genéticos, el ambiente tiene gran influencia sobre la presencia de latencia durante el desarrollo del grano.

El efecto de factores ambientales explica ampliamente porque el grado de latencia varía con la procedencia del grano. El efecto de la temperatura sobre la expresión de latencia durante el desarrollo del grano, es promovida por temperaturas relativamente bajas, como sucede en avena, trigo y cebada (Bewley *et al.*, 2013). En el caso de la región de El Bajío, el desarrollo del grano ocurre en condiciones de temperaturas relativamente altas, lo cual hace más remota la posibilidad de que el grano adquiriera latencia. Otro factor que influye para que los genotipos de cebada maltera evaluados no presenten latencia, son los criterios de selección empleados en el Programa Nacional de Cebada, entre esos criterios, se pretende que los granos puedan utilizarse inmediatamente después de ser cosechados.

El grado de latencia generalmente se ajusta mediante el mejoramiento, indicativo de un control genético, lo cual permite su uso en un periodo de tiempo relativamente corto. Durante la domesticación de cultivos, las plantas son modificadas para mejorar sus características agronómicas, entre ellas, una germinación elevada. La selección de granos sin o con baja latencia, es una de las principales características de la domesticación de los cereales de grano pequeño (Barrero *et al.*, 2010). Sin embargo, un corto periodo de latencia a menudo es deseable en cereales como cebada y trigo, para impedir la germinación antes de la cosecha (Taylorson y Hendricks, 1977), sobre todo cuando se presentan lluvias al final del ciclo de cultivo, fenómeno que deriva en grandes pérdidas para la industria maltera (Bewley, 1997). Por otra parte, un largo periodo de latencia puede ser problemático, porque los granos necesitan ser almacenados por varios meses o ser tratados para romper la latencia (Barrero *et al.*, 2010).

#### 5.4. CONCLUSIONES

- Los granos de los genotipos de cebada maltera evaluados mostraron variación en el tiempo requerido después de madurez fisiológica para alcanzar más de 90 % de germinación.
- Se considera que los genotipos evaluados no presentan latencia, debido a que hubo germinación de los granos a partir de su madurez y el tiempo para obtener más de 90 % de germinación fue de 21 días después de alcanzar la madurez fisiológica, con excepción de los genotipos Alina, Armida y M-173 que requirieron 28 días.

## 5.5. LITERATURA CITADA

- Barrero J.M., J. Jacobsen and F. Gubler. 2010. Seed Dormancy: Approaches for finding new genes in cereals. *In: E.C. Pua and M.R. Davey (eds.), Plant Developmental Biology – Biotechnological Perspectives, Vol. 1: 361-381.*
- Baskin J.M. and C.C. Baskin. 2007. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research, 14: 1-16.*
- Bewley J. D. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell, 9: 1055-1066.*
- Bewley J.D., K.J. Bradford, H.W.M. Hilhorst and H. Nonogaki. 2013. Dormancy and the Control of Germination. *In; J.D. Bewley et al. (eds.), Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy, 3rd Edition, 247-297.*
- Black M. and J.D. Bewley. 2000. Seed technology and its biological basis. Sheffield Academic Press Ltd. USA. 419 p.
- Doria J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales, 31 (1): 74-85.*
- Flores A. 2004. Introducción a la tecnología de las semillas. Universidad Autónoma Chapingo. México. 160 p.
- Fox G.P. 2010. Chemical Composition in Barley Grains and Malt Quality. *In: Genetics and Improvement of Barley Malt Quality. Advanced Topics in Science and Technology in China, pp. 63-98.*
- Hamdollah E. 2012. Seed quality variation of crop plants during seed development and maturation. *International Journal of Agronomy and Plant Production, 3 (11): 557-560.*
- Hilhorst H.W.M. 2011. Standardizing Seed Dormancy Research. *In: Allison R. Kermode (ed.), Seed Dormancy: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology, Vol. 773: 43-52.*
- ISTA (International Seed Testing Association). 2005. International Rules for Seed Testing. Rules. 2005. ISTA Editions, Zurich, Switzerland. 243 p.
- Moreno M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 383 p.
- Reuss R., J.A. Cassells and J.R. Green. 2003. Malting barley: storage, dormancy and processing quality. E.J. Wright, M.C. Webb and E. Highley, (ed.), *Stored grain in Australia. Proceedings of the Australian Postharvest Technical Conference, Canberra, 25–27 June 2003. CSIRO Stored Grain Research Laboratory, Canberra. pp. 44-48.*

SAS Institute. 2002. Statistical Analysis System Version 9.0 North Carolina, USA.

Takeda K. and K. Hori. 2007. Geographical differentiation and diallel analysis of seed dormancy in barley. *Euphytica*, 153:249–256.

Taylorson R.B. and S.B. Hendricks. 1977. Dormancy in seeds. *Annual Review of Plant Physiology*, 28:331-54.

Zamora M., S. Solano, R. Garza, J. Islas, R. Huerta y M. López. 2010. Armida, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(5): 723-726.

**CAPÍTULO VI. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS, CALIDAD FÍSICA Y  
RENDIMIENTO DE GRANO DE CEBADA MALTERA EN RELACIÓN A FECHAS  
DE SIEMBRA**

**RESUMEN**

El rendimiento se basa en la respuesta del comportamiento de los cultivos a factores bióticos y abióticos. El objetivo de este estudio fue evaluar características agronómicas, calidad física de grano y rendimiento de grano de diez genotipos de cebada, cultivados en cinco fechas de siembra: noviembre 15 (FS1) y 30 (FS2), diciembre 15 (FS3) y 30 (FS4) y enero 15 (FS5), bajo condiciones de riego, en el ciclo otoño-invierno 2012-2013 y 2013-2014, en El Bajío. Se determinó el número de macollos por planta (NM), número de nudos del tallo principal (NN), altura de planta (AP), peso hectolítrico (PHL), peso de mil granos (PMG) y rendimiento de grano. En ambos años de estudio, las siembras realizadas el 15 y 30 de noviembre y 15 de diciembre permitieron una mejor expresión de los genotipos en cuanto a NM, NN, AP, PHL, PMG y rendimiento de grano, mientras que en las siembras realizadas el 30 de diciembre y 15 de enero se redujeron estas variables, por tanto disminuyó el rendimiento de grano. La capacidad de amacollamiento y altura de planta estuvo en función del cultivar y fue superior en los genotipos seleccionados para condiciones de temporal. El número de nudos también dependió del cultivar. El genotipo Alina presentó buen comportamiento en PHL, mientras que Armida lo hizo en PMG. En ambos años de prueba, los genotipos mostraron mejor comportamiento de rendimiento en la FS1 y FS2, y algunos genotipos como Alina y Armida también lo hicieron en la FS3, sin embargo en la FS4 y FS5 el rendimiento disminuyó considerablemente en todos los genotipos debido a las variaciones ambientales. La presencia

de heladas atípicas durante el ciclo agrícola 2012-2013 disminuyó el rendimiento en FS tempranas, siendo más notorio en la FS3.

**Palabras clave:** *Hordeum vulgare* L., características agronómicas, calidad física de grano, fechas de siembra, rendimiento de grano.

## 6.1. INTRODUCCIÓN

La cebada es un cereal importante alrededor del mundo, lo cual se atribuye a su uso como cereal forrajero, alimento humano, por su malteado de calidad y su empleo en la elaboración de cerveza, este cultivo generalmente se produce en zonas templadas con siembras en invierno o primavera (Ullrich, 2011). En la región de El Bajío, la cebada se cultiva bajo condiciones de riego, la cual se establece en el ciclo otoño-invierno, y comprende parte de los estados de Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco (Solano *et al.*, 2009). El reciente crecimiento de la superficie sembrada con cebada en esta región, se debe a que requiere menor cantidad de agua, tiene un ciclo vegetativo corto que permite entrar en rotación con otros cultivos, su comercialización es por contrato y tiene bonificaciones por calidad del grano (Zamora *et al.*, 2010). Sin embargo, en condiciones de campo el cultivo está expuesto a diversos factores de estrés abiótico, que pueden obstaculizar su crecimiento y desarrollo, el término estrés usado en sentido amplio, significa que cualquier factor que cause un daño irreversible en el desarrollo de las plantas se denomine como factor de estrés, entre estos factores están las sequías, heladas y calor, y su intensidad varía entre estaciones y localidades (Parlevliet, 1990). El potencial de rendimiento se atribuye principalmente a características genéticas en conjunto con un buen manejo agronómico, bajo un ambiente favorable, el cual depende del efecto acumulativo de temperaturas óptimas en los estados vegetativo y reproductivo del cultivo, aportando un mayor número de macollos fértiles, número de espigas y peso alto de mil granos

(Alam *et al.*, 2007). Habitualmente, las temperaturas estacionales altas aceleran el tiempo a floración, derivando en menor tiempo para la acumulación de biomasa, debido a que se acorta el ciclo de cultivo (Asseng *et al.*, 2011), además cuando se presentan en la etapa reproductiva disminuyen los componentes del rendimiento y por tanto también afectan el rendimiento (Alam *et al.*, 2007). La pérdida de rendimiento es el resultado de la diferencia entre el rendimiento bajo condiciones de estrés y el rendimiento en ausencia de estrés (Parlevliet, 1990). Evidentemente el rendimiento de semilla está en función de diversos factores, siendo el objetivo del siguiente estudio evaluar características agronómicas, calidad física y rendimiento de grano de diez genotipos de cebada cultivados en la región de El Bajío, en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas.

## **6.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se utilizaron diez genotipos de cebada proporcionados por El Programa Nacional de Cebada, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), cuyo nombre y descripción son los siguientes:

Alina, Armida y Esperanza, son variedades de cebada maltera para condiciones de riego para El Bajío, presentan tolerancia a enfermedades comunes en la región, poseen un alto potencial de rendimiento y tienen buena calidad industrial (Ramírez *et al.*, 1997; Solano *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010).

Adabella y Esmeralda, son variedades de cebada maltera para condiciones de temporal, presentan tolerancia a enfermedades comunes en Valles Altos y poseen buena calidad industrial (Zamora *et al.*, 1997; Zamora *et al.*, 2008).

Las líneas experimentales M-173, M-174, y M-10542 han sido seleccionadas para producción bajo condiciones de riego, presentan tolerancia a las principales enfermedades del cultivo, tienen buen potencial de rendimiento y buena calidad industrial.

Las líneas experimentales M-176 y M-177 han sido seleccionadas para condiciones de temporal, presentan tolerancia a las principales enfermedades del cultivo, tienen potencial de rendimiento aceptable y presentan buena calidad industrial.

La siembra del material experimental se efectuó en cinco fechas de siembra: noviembre 15 (FS1) y 30 (FS2), diciembre 15 (FS3) y 30 (FS4) y enero 15 (FS5), por dos años, en los ciclos otoño-invierno 2012-2013 y 2013-2014, en el Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto., perteneciente al INIFAP. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones. La siembra se realizó en surcos con separación de 30 cm, cada unidad experimental consistió de cuatro surcos de 3.0 m de longitud, la densidad de siembra fue de 100 kg ha<sup>-1</sup> a excepción de la variedad Esperanza que fue de 120 kg ha<sup>-1</sup>. Se aplicó un riego al momento de la siembra, posteriormente a los 45, 70 y 90 días después de la siembra. El manejo agronómico empleado fue el recomendado por INIFAP para la región de El Bajío (Zamora *et al.*, 2010). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con un arreglo factorial de tratamientos con tres factores de estudio, fechas de siembra, ciclo de cultivo y genotipos de cebada, empleando tres repeticiones por tratamiento.

### **6.2.1. Características agronómicas**

De cada unidad experimental se seleccionaron diez plantas al azar con competencia completa, ubicadas en los surcos centrales, en los cuales se evaluaron tres características agronómicas.

### **Variables evaluadas**

**Número de macollos.** Se contabilizó el número de macollos por planta, a los 35 días después de la siembra.

**Numero de nudos.** Cuando las plantas se encontraban en la etapa de espigamiento, se procedió a contar el número de nudos del tallo principal.

**Altura de planta (cm).** Se tomó la altura de planta a partir de la base del tallo principal, hasta donde termina el último grano de la espiga.

### **6.2.2. Evaluación del rendimiento de grano y calidad física del grano**

La cosecha del grano se realizó con una minicombinada para parcelas experimentales. Del grano cosechado se tomó una muestra de 400 gramos libre de impurezas y sin presencia de aristas para determinar peso hectolítrico y peso de mil granos.

### **Variables evaluadas**

**Contenido de humedad del grano.** Se determinó mediante el uso de tres repeticiones de 120 gramos por unidad experimental, mediante un determinador de humedad marca BURROWS, modelo DMC750 DIGITAL MOISTURE COMPUTER.

**Rendimiento de grano.** Después de obtener el contenido de humedad del grano, se procedió a pesar el grano cosechado y realizar una corrección del contenido de humedad del grano para ajustar el rendimiento a 13 % de humedad, y posteriormente se hizo la transformación a  $t \text{ ha}^{-1}$  para el análisis de datos.

**Peso hectolítrico (PHL).** Fue expresado en  $\text{kg hL}^{-1}$ , se obtuvo en base al método de la probeta, especificado en la Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, la determinación de  $\text{kg hL}^{-1}$  se obtuvo de la tabla descrita en dicha norma.

**Peso de mil granos (PMG).** Se contaron y pesaron ocho repeticiones de 100 granos de cada unidad experimental, con los datos obtenidos se calculó el promedio, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Cuando el coeficiente de variación obtenido fue menor a 4.0, el peso de mil granos se obtuvo multiplicando la media aritmética de las ocho repeticiones por 10.

### **6.2.3 Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza combinado y por fechas de siembra y ciclos de cultivo, además de pruebas de comparación de medias (Tukey al 0.05) entre las variables evaluadas. Se empleó el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2002).

## **6.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para número de macollos por planta (NM) se encontraron diferencias significativas para fechas de siembra (Cuadro 6.1). Los genotipos produjeron mayor NM en siembras tempranas (Cuadro 6.2), seguramente por la ocurrencia de temperaturas frescas que favorecieron el amacollamiento (García y García, 1995), mientras que en siembras tardías disminuyó este parámetro, debido a la presencia de temperaturas más cálidas (López, 1991). En ciclos agrícolas (CA) hubo diferencias significativas (Cuadro 6.1), en el ciclo agrícola 2012-2013 se presentó el mayor NM (Cuadro 6.2), posiblemente se presentaron mejores condiciones ambientales en la etapa vegetativa, las cuales favorecieron el amacollamiento.

Cuadro 6.1. Cuadrados medios y significancia estadística para características agronómicas, calidad física de grano y rendimiento de grano de diez genotipos de cebada maltera.

| FV          | GL | NM       | NN      | AP        | PHL     | PMG      | REN      |
|-------------|----|----------|---------|-----------|---------|----------|----------|
| BLO         | 2  | 0.730    | 0.634   | 14.68     | -----   | -----    | 9.08     |
| FS          | 4  | 3.302 *  | 0.715 * | 3201.25 * | 90.92 * | 350.13 * | 122.24 * |
| CA          | 1  | 27.890 * | 0.004   | 1.39      | 52.65 * | 127.19 * | 90.22 *  |
| G           | 9  | 1.645 *  | 0.528 * | 1254.91 * | 30.04 * | 70.95 *  | 28.31 *  |
| FS x CA     | 4  | 1.260 *  | 0.002   | 349.44 *  | 95.50 * | 30.89 *  | 24.96 *  |
| FS x G      | 35 | 0.128    | 0.073 * | 19.89     | 3.38 *  | 2.30     | 2.62 *   |
| CA x G      | 9  | 0.070    | 0.007   | 15.71     | 2.80    | 5.18 *   | 0.51     |
| FS x CA x G | 36 | 0.067    | 0.004   | 7.86      | 2.80 *  | 3.40 *   | 1.21     |
| CV          |    | 11.70    | 2.03    | 4.71      | 1.84    | 3.31     | 11.14    |

\* Significativo (0.05); FV= factor de variación; CV; coeficiente de variación; GL= grados de libertad; BLO= bloque; FS= fecha de siembra; CA= ciclo agrícola; G=genotipos; NM= número de macollos por planta; Número de nudos del tallo principal; AP= altura de planta; REN= rendimiento; PLH= peso hectolítrico; PMS= peso de mil semillas.

El número de macollo suele ser mayor con temperaturas frescas, pero también está en función de la utilización eficiente del agua, disponibilidad de nutrientes y radiación solar (Hussain *et al.*, 2013). Asimismo, hubo significancia para genotipos (Cuadro 6.1), la capacidad de amacollamiento fue superior en los genotipos generados para condiciones de temporal, siendo el genotipo M-177 el de mejor comportamiento (Cuadro 6.2), mientras que en los genotipos desarrollados para condiciones de riego, esta característica estuvo más limitada, manifestando la influencia de la aptitud genética de cada genotipo (Tamm, 2003).

Cuadro 6.2. Comportamiento medio de las características agronómicas y calidad física de grano de diez genotipos de cebada maltera, evaluados en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas.

| Factor |                             | NM                   | NN                  | AP<br>(cm)           | PHL<br>(kg hL <sup>-1</sup> ) | PMG<br>(g)           |
|--------|-----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|
| FS     | 15 de noviembre             | 2.80 bc <sup>†</sup> | 5.02 c <sup>†</sup> | 84.75 c <sup>†</sup> | 65.00 ab <sup>†</sup>         | 45.19 a <sup>†</sup> |
|        | 30 de noviembre             | 3.02 b               | 5.19 b              | 92.45 a              | 64.54 bc                      | 43.20 b              |
|        | 15 de diciembre             | 3.53 a               | 5.28 a              | 89.03 b              | 65.86 a                       | 42.50 b              |
|        | 30 de diciembre             | 2.77 bc              | 4.99 c              | 75.94 d              | 63.91 c                       | 40.84 c              |
|        | 15 de enero                 | 2.75 c               | 4.90 d              | 67.04 e              | 61.27 d                       | 36.13 d              |
|        | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 0.25                 | 0.07                | 2.74                 | 0.86                          | 1.00                 |
| CA     | 2012-2013                   | 3.40 a               | 5.07 a              | 81.75 a              | 63.52 b                       | 40.65 b              |
|        | 2013-2014                   | 2.54 b               | 5.08 a              | 81.94 a              | 64.71 a                       | 42.49 a              |
|        | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 0.11                 | 0.03                | 1.26                 | 0.38                          | 0.45                 |
| G      | Adabella                    | 3.26 abc             | 5.30 a              | 83.81 c              | 62.56 e                       | 38.84 f              |
|        | Alina                       | 2.91 bcde            | 5.00 bc             | 89.94 ab             | 66.70 a                       | 43.41 ab             |
|        | Armida                      | 2.91 bcde            | 4.91 cd             | 83.39 c              | 65.44 ab                      | 44.73 a              |
|        | Esmeralda                   | 3.31 ab              | 5.05 b              | 85.08 bc             | 64.76 bcd                     | 39.84 ef             |
|        | Esperanza                   | 2.48 e               | 5.00 bc             | 65.91 f              | 62.41 e                       | 40.19 ef             |
|        | M-173                       | 2.80 de              | 4.76 e              | 72.05 e              | 63.21 e                       | 38.76 f              |
|        | M-174                       | 2.74 de              | 5.10 b              | 81.87 cd             | 63.73 cde                     | 42.63 bcd            |
|        | M-176                       | 3.14 bcd             | 5.40 a              | 93.94 a              | 65.19 abc                     | 43.06 abc            |
|        | M-177                       | 3.66 a               | 4.85 de             | 84.38 c              | 64.97 bc                      | 41.12 de             |
|        | M-10542                     | 2.86 cde             | 5.11 b              | 78.34 d              | 63.45 de                      | 42.56 cde            |
|        | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 0.44                 | 0.13                | 4.95                 | 1.51                          | 1.76                 |

<sup>†</sup>Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05); FS= fechas de siembra; CA= ciclo agrícola; G=genotipos; NM= número de macollos por planta; NN= número de nudos del tallo principal; AP= altura de planta; PLH= peso hectolítrico; PMG= peso de mil granos. FS representa el promedio de diez genotipos, A representa el promedio de FS y G en cada CA. G representa el promedio de cada genotipo en ambos CA.

Del mismo modo, la interacción FS x CA fue significativa para número de macollos (Cuadro 6.1), siendo el ciclo agrícola 2012-2013 donde hubo mayor amacollamiento (Cuadro 6.2). Otros factores que influyen en el número de macollos por planta son la densidad de siembra, disponibilidad de humedad, fecha de siembra y cultivar (García y García, 1995).

Para número de nudos del tallo principal (NN) hubo significancia para FS (Cuadro 6.1), en la FS3 los genotipos presentaron mayor NN (Cuadro 6.2). Para genotipos también se encontró significancia (Cuadro 6.1), debido a que el NN está en función del cultivar, siendo Adabella y M-176 quienes presentaron mayor NN (Cuadro 6.2). Cada nudo es una zona meristemática a partir de la cual se diferencian las hojas, que a su vez contribuyen a la acumulación de biomasa y por tanto también al rendimiento (López, 1991). Asimismo, se encontró significancia para la interacción FS x G (Cuadro 6.1), en FS tardías disminuyó el NN en la mayoría de los genotipos, manifestando que el NN a parte de estar influenciado por factores genéticos (López, 1991), también depende de la influencia de factores agrometeorológicos (Molina, 1989).

Para altura de planta (AP) hubo diferencias significativas para FS (Cuadro 6.1), de manera general, retrasar la FS disminuyó la altura de planta (Cuadro 6.2), a menudo los factores ambientales pueden causar variación en las características agronómicas del cultivo (Tamm, 2003). Para genotipos también se encontró significancia (Cuadro 6.1), los genotipos generados para temporal presentaron mayor AP que los genotipos para riego, a excepción de Alina (Cuadro 6.2), la AP es un carácter morfológico que está influenciado por el cultivar (Alam *et al.*, 2007). Comúnmente los genotipos generados para condiciones de temporal tienden a ser más altos que los genotipos generados para condiciones de riego, debido a que cuando los genotipos para temporal se siembran en regiones para las cuales fueron generadas,

el cultivo está limitado principalmente por la escasa disponibilidad de agua, por lo cual su crecimiento puede ser insuficiente, disminuyendo la altura de planta y dificultando su cosecha, por tal motivo son necesarios genotipos con altura relativamente mayor, por otra parte, durante el proceso de mejoramiento genético de genotipos para condiciones de riego, se busca un porte de planta relativamente más bajo, para evitar el acame de plantas cuando se presentan vientos al momento de aplicar los riegos. Para altura de planta, hubo significancia para la interacción FS x CA (Cuadro 6.1), la variación de AP indica una gran influencia de las condiciones ambientales sobre esta característica en ambos años de prueba (Tamm, 2003).

En PHL hubo significancia para FS (Cuadro 6.1), las FS1, FS2 y FS3 tuvieron PHL similares, mientras que en las FS4 y FS5 disminuyó el PHL (Cuadro 6.2), probablemente en respuesta al acortamiento del ciclo de cultivo, como consecuencia de las condiciones de estrés debido al aumento de temperatura y menor disponibilidad de humedad, generalmente el peso de grano está determinado por la duración de la etapa de llenado de grano (García del Moral *et al.*, 2003).

Asimismo, en PHL se encontró significancia para CA (Cuadro 6.1), en el CA 2013-2014 los genotipos expresaron mejor comportamiento en PHL (Cuadro 6.2), probablemente las condiciones ambientales fueron más favorables. Para genotipos hubo significancia (Cuadro 6.1), los genotipos mostraron variación en PHL a través de FS, siendo el genotipo Alina el de mejor comportamiento en PHL, un comportamiento similar presentaron Armida y M-176, mientras que en los genotipos restantes este parámetro fue menor, estos resultados muestran que el genotipo tiene un efecto significativo en esta variable, en cebada entre mayor sea el PHL mayor será el rendimiento y a su vez la calidad del grano es mejor (López *et al.*, 2005).

La interacción FS x CA resultó significativa (Cuadro 6.1), posiblemente debido a la presencia de heladas en las siembras tempranas del CA 2012-2013, que de alguna forma repercutió en el PHL de las FS tempranas. La interacción FS x G fue significativa (Cuadro 6.1), los genotipos mostraron mejor PHL en FS tempranas, pero a medida que se retrasó la FS, hubo un descenso de este parámetro para la mayoría de los genotipos, como respuesta a la presencia de temperaturas altas, las cuales reducen el peso de grano (Alam *et al.*, 2007). La interacción FS x CA x G fue significativa (Cuadro 6.1), mostrando que la presencia de temperaturas frescas y cálidas, y la disponibilidad de humedad a través de fechas de siembra y ciclos agrícolas repercutieron en el PHL de los genotipos de manera distinta.

En PMG hubo significancia para FS (Cuadro 6.1), en la FS1 hubo mejor comportamiento en PMG, y éste disminuyó a medida que se retrasó la FS (Cuadro 6.2), las FS óptimas contribuyen a que el peso de mil granos sea mayor (Aslani y Mehrvar, 2012), mientras que este parámetro disminuye al retrasar la FS (Soleymani y Shahrajabian, 2012), posiblemente por la reducción de humedad en el suelo, la cual repercute en el peso del grano, particularmente cuando ocurre durante la floración o llenado de grano (Copeland y McDonald, 1995). También se encontró significancia para CA (Cuadro 6.1), en el CA 2013-2014 hubo mejor comportamiento en PMG (Cuadro 6.2), derivado de las fluctuaciones de temperatura en ambos ciclos agrícolas, bajo condiciones de estrés el PMG es menor, debido a la disminución del peso individual del grano (Hossain *et al.*, 2012). Asimismo hubo significancia para genotipos (Cuadro 6.1), siendo el genotipo Armida el que mostró mejor comportamiento en PMG, comportamiento similar tuvieron Alina y M-176, mientras que los genotipos restantes mostraron valores más bajos. Generalmente el cultivar tiene un efecto significativo sobre el

peso de mil granos, pero también puede estar influenciado por factores como la densidad de plantas (Soleymani y Shahrajabian, 2012).

La interacción FS x CA fue significativa (Cuadro 6.1), al parecer el aumento de temperatura en FS tardías, en conjunto con la ocurrencia de heladas en el CA 2012-2013 influyeron en esta interacción. Asimismo, la interacción CA x G resultó significativa (Cuadro 6.1), en el CA 2013-2014 los genotipos expresaron mejor PMG, manifestando que la variación de las condiciones ambientales afectó este parámetro de forma distinta, debido a que el efecto ambiental en el mismo lugar puede variar año con año. De igual modo, la interacción FS x CA x G fue significativa (Cuadro 6.1), mostrando que la variación de temperaturas a través de fechas de siembra, repercutió de manera distinta en el PMG de los genotipos en ambos años de prueba. Otros factores que influyen en el peso del grano son la disponibilidad de humedad y fertilidad del suelo, calidad de la luz y posición del grano en la espiga (Copeland y McDonald, 1995).

En rendimiento de grano se encontró significancia para FS (Cuadro 6.1), a medida que se retrasó la fecha de siembra el rendimiento fue decreciendo en ambos ciclos de cultivo, de manera general, las FS1 y FS2 permitieron mayor expresión del rendimiento en ambos años de prueba, mientras que en la FS3 correspondiente al ciclo 2012-2013 se observó una disminución considerable en el rendimiento de grano de la mayoría de los genotipos, esto debido a la presencia de heladas atípicas que afectaron las siembras tempranas, siendo más evidente el daño en la FS3 del ciclo agrícola 2012-2013 (Cuadro 6.3), generalmente retrasar la siembra disminuye el rendimiento de grano (Aslani y Mehrvar, 2012), debido a que en cereales de grano pequeño el rendimiento suele ser más elevado en ambientes frescos que bajo condiciones más cálidas (García del Moral *et al.*, 2003).

Cuadro 6.3. Comparación de medias para la variable rendimiento de grano ( $t\ ha^{-1}$ ) de diez genotipos de cebada maltera, cultivados en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas.

|           |        |                             | Adabella            | Alina    | Armida    | Esmeralda | Esperanza | M-173   | M-174   | M-176    | M-177   | M-10542  |
|-----------|--------|-----------------------------|---------------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|----------|---------|----------|
| Ciclo     | nov-15 | FS1                         | 5.40 a <sup>†</sup> | 8.63 ab  | 7.05 b    | 6.49 ab   | 7.90 a    | 5.93 ab | 7.42 a  | 5.27 a   | 6.84 ab | 7.52 ab  |
| 2012-2013 | nov-30 | FS2                         | 5.94 a              | 9.71 a   | 10.31 a a | 7.33 a    | 7.90 a    | 7.10 a  | 7.46 a  | 5.36 a   | 7.23 a  | 8.88 a   |
|           | dic-15 | FS3                         | 3.13 b              | 8.01 abc | 7.24 b    | 4.32 bc   | 5.53 b    | 3.91 b  | 4.99 b  | 1.47 c   | 3.53 b  | 6.25 bc  |
|           | dic-30 | FS4                         | 3.43 b              | 5.91 bc  | 6.75 b    | 3.87 c    | 5.72 b    | 4.12 ab | 5.75 b  | 2.93 b   | 3.92 ab | 7.09 abc |
|           | ene-15 | FS5                         | 2.96 b              | 5.12 c   | 5.80 b    | 4.26 c    | 4.43 b    | 4.44 ab | 4.61 b  | 3.50 b   | 5.01 ab | 5.18 c   |
|           |        | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 1.50                | 3.01     | 1.6       | 2.18      | 1.33      | 3.02    | 1.5     | 1.38     | 3.33    | 1.98     |
| Ciclo     | nov-15 | FS1                         | 8.29 a              | 12.44 a  | 9.97 ab   | 8.68 a    | 11.80 a   | 6.56 a  | 10.36 a | 8.33 a   | 10.74 a | 11.72 a  |
| 2013-2014 | nov-30 | FS2                         | 8.17 a              | 11.79 a  | 12.25 a   | 9.24 a    | 11.36 a   | 7.80 a  | 9.54 ab | 7.37 ab  | 10.04 a | 10.65 ab |
|           | dic-15 | FS3                         | 6.16 b              | 9.43 ab  | 9.14 b    | 6.14 b    | 7.70 b    | 8.34 a  | 7.45 b  | 5.42 abc | 6.29 b  | 9.43 ab  |
|           | dic-30 | FS4                         | 5.82 b              | 6.95 bc  | 7.93 b    | 5.84 b    | 7.26 b    | 6.55 a  | 7.70 b  | 4.66 bc  | 5.28 bc | 8.07 b   |
|           | ene-15 | FS5                         | 1.51                | 4.19 c   | 3.22 c    | 2.38 c    | 2.09 c    | 2.74 b  | 2.75 c  | 3.68 c   | 3.09 c  | 2.50 c   |
|           |        | <b>DSH<sub>(0.05)</sub></b> | 1.82                | 3.23     | 2.88      | 2.42      | 2.21      | 3.52    | 1.66    | 3.32     | 2.94    | 3.21     |

<sup>†</sup>Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales. DSH= diferencia significativa honesta de Tukey (0.05).

Para el caso de trigo en la región de El Bajío, las fechas de siembra realizadas en diciembre permiten la obtención de mayor rendimiento de grano, mientras que las siembras realizadas en enero exponen al cultivo a temperaturas altas durante el desarrollo del cultivo, acortando el periodo de llenado de grano y por consiguiente disminuye el rendimiento (Suaste-Franco *et al.*, 2013). La amplia variación presente en el rendimiento a través de las fechas de siembra y años de cultivo, pudieran deberse a que los genotipos generalmente muestran adaptaciones específicas a determinadas condiciones ambientales (Bolandi *et al.*, 2012). Otro factor importante en el rendimiento de un cultivo es el manejo agronómico, particularmente el suministro adecuado de agua.

También hubo significancia para CA (Cuadro 6.1), el comportamiento del rendimiento de los genotipos fue variable en ambos ciclos agrícolas, los genotipos mostraron mayor rendimiento en el ciclo agrícola 2013-2014, a excepción de la FS5.

Estos resultados confirman la existencia de fuerte variación en las condiciones ambientales entre ambos ciclos de cultivo, influyendo en gran proporción a la variación del rendimiento de grano, lo cual podría estar asociado a la presencia de heladas durante el ciclo 2012-2013 que afectaron las fechas de siembra tempranas, además del estrés por calor (Figura 4.1) en fechas de siembra tardías, que disminuyen la disponibilidad de humedad en el suelo. Comúnmente el estrés por frío afecta el desarrollo de la planta así como el rendimiento del cultivo (Thakur *et al.*, 2010), mientras que el estrés por calor, solo o en combinación con un déficit hídrico durante la etapa de llenado de grano, conduce a una reducción significativa de los componentes de rendimiento (Hossain *et al.*, 2012). En ambos ciclos agrícolas el rendimiento fue menor en la FS5, posiblemente en respuesta a las variaciones ambientales, para el caso de trigo los bajos rendimientos en siembras tardías resultan por la presencia de

altas temperaturas que prevalecen durante la etapa de llenado de grano (Aslani y Mehrvar. 2012). De igual manera, se debe considerar que los altos rendimientos se asocian con la acumulación de materia seca en las plantas, la cual está en función de la intercepción y utilización de la radiación solar incidente (López-Castañeda y Richards, 1994).

Se observó significancia para genotipos (Cuadro 6.1), los genotipos seleccionados para condiciones de riego mostraron mayor rendimiento que los genotipos seleccionados para temporal, observándose gran variación en su comportamiento a través de fechas de siembra y ciclos de cultivo, resultados similares fueron obtenidos por Saad *et al.*, (2013), quienes evaluando genotipos de cebada en diversos ambientes encontraron una amplia variabilidad entre genotipos, a través de los entornos utilizados para llevar a cabo las evaluaciones.

También hubo significancia para la interacción FS x CA (Cuadro 6.1), posiblemente en respuesta a la presencia de heladas en el ciclo agrícola 2012-2013, la cual disminuyó el rendimiento de grano de manera distinta en las fechas de siembra tempranas, debido a que los genotipos se encontraban en la etapa de espigamiento (FS3), y llenado de grano (FS1 y FS2) respectivamente, mientras que en la FS4 y FS5, se presentaron temperaturas superiores a 30 ° C durante el llenado de grano, pero el comportamiento fue similar en ambos ciclos de cultivo. Existen varias limitaciones en la expresión del potencial de rendimiento, relacionados con el manejo agronómico y el clima, tales como la presencia de heladas durante la floración y altas temperaturas durante el llenado del grano, lo que podría provocar daños irreversibles en el rendimiento del cultivo (Costa *et al.*, 2013). Por otra parte, la necesidad de agua es mayor durante temporadas con alta temperatura y baja humedad relativa, las cuales favorecen la pérdida de agua, no solo del cultivo, sino también del suelo a través de la evaporación, repercutiendo en el rendimiento del cultivo.

La interacción FS x G fue significativa (Cuadro 6.1), los genotipos disminuyeron su rendimiento a medida que se retrasó la fecha de siembra (Cuadro 6.3), como consecuencia del estrés causado por el aumento de temperatura y menor disponibilidad de humedad, manifestando de esta forma que los genotipos reaccionan de manera diferente a los cambios ambientales presentes durante el desarrollo del cultivo, la variación del rendimiento de grano de cebada puede ser explicada por las diferentes condiciones ambientales particulares que predominaron en cada fecha de siembra (Saad *et al.*, 2013). Usualmente los ambientes frescos permiten mayor almacenamiento de fotosintatos, el cual disminuye a medida que el ambiente es más cálido, debido a que la tasa de respiración de las plantas es mayor, influyendo en la cantidad de materia seca acumulada (Thompson, 1975).

En cebada el rendimiento de grano está en función del número de plantas por hectárea, número de tallos fértiles por planta, número de granos por espiga y por el peso individual del grano, por tanto, los factores que afectan directa o indirectamente cada uno de estos componentes también afectan el rendimiento de grano (Hossain *et al.*, 2012). En este estudio, en ambos años de prueba, todos los genotipos expresaron mejores características en cuanto a número de macollos por planta, número de nudos del tallo principal, altura de planta, peso hectolítrico y peso de mil granos en las FS1, FS2 y FS3, mientras que en las FS4 y FS5 estos parámetros disminuyeron, y como consecuencia también hubo una disminución en el rendimiento de grano.

De la misma forma, todos los genotipos evaluados tuvieron mejor comportamiento en rendimiento de grano en las FS1 y FS2, y algunos genotipos como Alina y Armida también lo hicieron en la FS3, mientras que en las FS4 y FS5 el rendimiento disminuyó considerablemente para todos los genotipos en ambos años de estudio.

Debido a que la producción de semilla de cebada se realiza en la región de El Bajío en el ciclo otoño-invierno, sería conveniente evitar las siembras tardías, para que el cultivo no se desarrolle bajo condiciones de estrés, en detrimento de la disminución de la calidad física y rendimiento de semilla. Por otra parte, la presencia de heladas durante el ciclo agrícola 2012-2013 disminuyó el rendimiento de las FS tempranas, siendo más notorio en la FS3, debido a que estas ocurrieron cuando el cultivo se encontraba en la etapa de espigamiento.

#### **6.4. CONCLUSIONES**

- Las características agronómicas, calidad física y rendimiento de grano variaron en función de las condiciones ambientales presentes durante el ciclo de cultivo, el cual cambia a través de fechas de siembra y años de cultivo.
- En ambos años de prueba, las siembras realizadas el 15 (FS1) y 30 de noviembre (FS2), y 15 de diciembre (FS3) permitieron en los genotipos la mejor expresión de los caracteres número de macollos por planta, número de nudos del tallo principal, altura de planta, peso hectolítrico, peso de mil granos y rendimiento de grano, mientras que en las siembras realizadas el 30 de diciembre (FS4) y 15 de enero (FS5) de ambos años de estudio, disminuyeron dichas variables y por tanto se redujo el rendimiento de grano.
- La capacidad de amacollamiento y altura de planta estuvo en función del cultivar y fue superior en los genotipos generados para condiciones de temporal, además, el número de nudos también dependió del cultivar.

- El genotipo Alina presentó el mejor comportamiento en peso hectolítrico a través de fechas de siembra, mientras que Armida se comportó mejor en peso de mil granos.
- Todos los genotipos mostraron mejor rendimiento en las FS1 y FS2, además los genotipos Alina y Armida también lo hicieron en la FS3, mientras que en las FS4 y FS5 el rendimiento disminuyó considerablemente en todos los genotipos, en ambos años de estudio.
- La presencia de heladas durante el ciclo agrícola 2012-2013 disminuyó el rendimiento en las fechas de siembra tempranas, siendo más notorio en la siembra del 15 de diciembre, debido a que estas ocurrieron cuando el cultivo se encontraba en la etapa de espigamiento.

## 6.5. LITERATURA CITADA

- Alam M.Z., S.A. Haider and N.K. Paul. 2007. Yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) in relation to sowing times. *Journal of Biological Science*, 15: 139-145.
- Asseng S., I. Foster and N.C. Turner. 2011. The impact of temperature variability on wheat yields. *Global change biology*, 17: 997-1012.
- Aslani F. and M.R. Mehrvar. 2012. Responses of wheat genotypes as affected by different sowing dates. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 4(1): 72-74.
- Bolandi A., A.A. Imani, H. Shahbazi and A. Mehraban. 2012. The study of compatibility and stability of grain yield in barley advanced genotypes in tropical and subtropical rainfed regions. *Annals of Biological Research*, 3 (12):5540-5544.
- Copeland L.O. and M.B. McDonald. 1995. *Principles of seed science and technology*. 3rd ed. Chapman and Hall. New York. United States. 409 p.
- Costa R., N. Pinheiro, A.S. Almeida, C. Gomes, J. Coutinho, J. Coco, A. Costa and B. Maçãs. 2013. Effect of sowing date and seeding rate on bread wheat yield and test weight under Mediterranean conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 25 (12): 951-961.

- García M.B. and L.F. García. 1995. Tiller production and survival in relation to grain yield in winter and spring barley. *Fields Crops Research*, 44: 85-93.
- García del Moral L.F., Y. Rharrabti, D. Villegas and C. Royo. 2003. Evaluation of grain yield and its components in Durum wheat under Mediterranean conditions: An ontogenic approach. *Agronomy Journal*, 95: 266-274.
- Hossain A., J.A. Teixeira da Silva, M.V. Lozovskaya, V.P. Zvolinsky and V.I. Mukhortov. 2012. High temperature combined with drought affect rainfed spring wheat and barley in south-eastern Russia: Yield, relative performance and heat susceptibility index. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 4(11): 184-196.
- Hussain M., M.B. Khan, Z. Mehmood, A.B. Zia, K. Jabran and M. Farooq. 2013. Optimizing row spacing in wheat cultivars differing in tillering and stature for higher productivity. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(11): 1457-1470.
- López-Castañeda C. and R.A. Richards. 1994. Variation in temperate cereals in rainfed environments II. Phasic development and growth. *Field Crops Research*, 37: 63-75.
- López P., F.A. Guzmán, E.M. Santos, F. Prieto, G. Román y D. Alma. 2005. Evaluación de la calidad física de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala, México. *Revista Chilena de Nutrición*, 32 (3): s/p.
- López B. L. 1991. Cultivos herbáceos. Cereales, vol. 1, Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 539 p.
- Molina C.J. 1989. La cebada. Morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales. Mundi-Prensa (Ed.), Madrid, España. 252 p.
- 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.
- Parlevliet J.E. 1990. Stability of stress resistance to biotic and abiotic stress factors. *In: Proceedings of the International Symposium on Biotic Stress of Barley in Arid and Semi-Arid Environments*. The International Center for Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA). Huntley Lodge Big Sky, Montana. pp. 33-46.
- Ramírez J. F., M. Zamora, L.A. Márquez y A.M. Ibañez. 1997. Esperanza variedad de cebada maltera para El Bajío. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro Experimental El Bajío. México, D.F. Boletín Técnico Núm. 1. 20 p.
- Saad F.A, A.A. Abd El-Mohsen and I.H. Al-Soudan. 2013. Parametric Statistical Methods for Evaluating Barley Genotypes in Multi-environment Trials. *Scientia Agriculturae*, 1(2): 30-39.

- SAS Institute. 2002. Statistical Analysis System Version 9.0 North Carolina, USA.
- Solano S., M. Zamora, F.P. Gámez, J.J. García, R. Sánchez, J. Ireta, F. Díaz y R. Garza. 2009. Alina, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Agricultura Técnica en México.*, 35 (4): 467-469.
- Soleymani A. and M.H. Shahrajabian. 2012. Changes in seed yield and yield components of elite barley cultivars under different plant populations and sowing dates. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(1): 596-598.
- Suaste-Franco M.P., E. Solís-Moya, L. Ledesma-Ramírez, M.L. de la Cruz-Gonzalez, O.A. Grageda-Cabrera y A. Báez-Pérez. 2013. Efecto de la densidad y método de siembra en el rendimiento de grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) en El Bajío, México. *Agrociencia*, 47: 159-170.
- Tamm Ü. 2003. The variation of agronomic characteristics of European malting barley varieties. *Agronomy Research*, 1: 99-103.
- Thakur P., S. Kumar, J.A. Malik, J.D. Berger and H. Nayyar. 2010. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 67: 429-443.
- Thompson L.M. 1975. Weather variability, climatic change, and grain production. *Science*, 188: 535-541.
- Ullrich S.E. 2011. Significance, Adaptation, Production, and Trade of Barley. In *Barley: Production, Improvement, and Uses*. S.E. Ullrich (*ed.*), Wiley-Blackwell Publishing Ltd. Iowa, USA. pp. 3-13.
- Zamora M., L.A. Márquez, F. Ramírez y A.M. Ibáñez. 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 Núm. 5*. México, D.F. 20 p.
- Zamora M., S. Solano, R. Gómez, I. Rojas, J. Ireta, R. Garza y C. Ortiz. 2008. Adabella: variedad de cebada maltera para valles altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México*, 34(4): 491-493.
- Zamora M., S. Solano, R. Garza, J. Islas, R. Huerta y M. López. 2010. Armida, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(5): 723-726.

## **CAPÍTULO VII. ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO DE GRANO EN GENOTIPOS DE CEBADA MALTERA**

### **RESUMEN**

La interacción genotipo x ambiente (G x A) está asociada al comportamiento diferencial que presentan los genotipos bajo diferentes condiciones de desarrollo y años de prueba. El objetivo de este estudio fue evaluar la interacción genotipo x ambiente y estabilidad del rendimiento de grano de diez genotipos de cebada maltera, mediante el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). Los genotipos se sembraron en cinco fechas de siembra y dos ciclos de cultivo en El Bajío: noviembre 15 y 30, diciembre 15 y 30 y enero 15, bajo condiciones de riego, en los ciclos otoño-invierno 2012-2013 y 2013-2014, generando diez ambientes de prueba. El modelo AMMI mostró diferencias significativas para ambientes, genotipos y para la interacción G x A, contribuyendo con 65.7, 18.1 y 8.3 % de la variación total, respectivamente, siendo congruente con lo obtenido en el ANVA, estos resultados confirman la existencia de una fuerte variación de las condiciones ambientales en las diferentes fechas de siembra y años de prueba. El CP1 explicó el 39.1 % de la suma de cuadrados de la interacción G x A, siendo suficiente para explicar la respuesta de los genotipos en los distintos ambientes de prueba. Adabella y Esmeralda interaccionaron poco con el ambiente, pero su rendimiento fue inferior a la media general, igualmente el genotipo M-174 tuvo poca interacción con el ambiente y su rendimiento fue superior a la media general. Mientras que los demás genotipos interactuaron más con el ambiente. Los genotipos seleccionados para condiciones de riego, mostraron mayor potencial de rendimiento en los ambientes A1, A2, A6, A7 y A8. Por otra parte, los genotipos para temporal mostraron mejor respuesta a la variación ambiental, pero su rendimiento fue inferior a la media general.

**Palabras clave:** *Hordeum vulgare* L., interacción genotipo x ambiente, estabilidad del rendimiento, modelo AMMI.

## 7.1. INTRODUCCIÓN

En los programas de mejoramiento genético, el rendimiento de grano es el principal objetivo de selección, destinado a incrementar el potencial de rendimiento y lograr su adaptación en ambientes sujetos a condiciones de estrés (Araus *et al.*, 2008). El rendimiento de un cultivo es el resultado final de una compleja interrelación de los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivos, fuertemente afectados por factores genéticos y ambientales, y principalmente por la interacción de ambos (Slafer, 2007). Los datos de rendimiento en entornos que van desde condiciones óptimas a condiciones graves de estrés permiten conocer la capacidad de adaptación de los genotipos a una amplia gama de condiciones ambientales (Araus *et al.*, 2008). La variación del rendimiento de grano se puede atribuir por un lado al potencial productivo del ambiente y por el otro al potencial genético en interacción con el primero (Hortelano *et al.*, 2013). La interacción genotipo x ambiente, se refiere al comportamiento diferencial de genotipos a través de condiciones ambientales variables (Rodríguez *et al.*, 2011), y es muy importante en el mejoramiento genético de los cultivos, debido a que está presente durante el proceso de selección y recomendación de genotipos (Crossa *et al.*, 1990). El termino estabilidad generalmente se utiliza para caracterizar a un genotipo, el cual demuestra un rendimiento relativamente constante, a través de una amplia gama de ambientes (Eberhart y Russell, 1996). Actualmente existen diversos procedimientos univariados y multivariados para el estudio de la estabilidad. Entre los métodos univariados destaca el modelo de Eberhart y Russell (1996), sin embargo, se sugiere que los métodos multivariados son más adecuados para interpretar los efectos de la interacción genotipo x

ambiente, siendo el modelo AMMI (efectos principales aditivos e interacción multiplicativa) uno de los métodos más empleados para el estudio de estabilidad en cereales de grano pequeño como cebada (Nurminiemi *et al.*, 2002) y trigo (Solano *et al.*, 1998; Rodríguez *et al.*, 2011 y Negash *et al.*, 2013), debido a que facilita la identificación visual del comportamiento de los genotipos y ambientes de evaluación mediante la gráfica Biplot. Vargas y Crossa (2000), indican y ejemplifican la ventaja de la gráfica Biplot para explicar la interacción genotipo x ambiente, cuando en el Análisis de Componentes Principales un genotipo presenta un valor próximo a cero, la interacción es pequeña. El modelo AMMI consiste en combinar las técnicas del análisis de varianza y el análisis de componentes principales en un solo modelo. El análisis de varianza permite estudiar los efectos principales de genotipos y ambientes, mientras que la interacción genotipo x ambiente es tratada en forma multivariada mediante el análisis de componentes principales, realizando una reparametrización del modelo de regresión para mejorar la interpretación de la interacción genotipo x ambiente (Zobel, 1998). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la interacción genotipo x ambiente y la estabilidad del rendimiento de diez genotipos de cebada cultivados en la región de El Bajío, en cinco fechas de siembra y dos ciclos de cultivo.

## **7.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se utilizaron diez genotipos de cebada proporcionados por El Programa Nacional de Cebada, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), cuyo nombre y descripción son los siguientes:

Alina, Armida y Esperanza, son variedades de cebada maltera para condiciones de riego para El Bajío, presentan tolerancia a enfermedades comunes en la región, poseen un alto potencial de rendimiento y tienen buena calidad industrial (Ramírez *et al.*, 1997; Solano *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010).

Adabella y Esmeralda, son variedades de cebada maltera para condiciones de temporal, presentan tolerancia a enfermedades comunes en Valles Altos y poseen buena calidad industrial (Zamora *et al.*, 1997; Zamora *et al.*, 2008).

Las líneas experimentales M-173, M-174, y M-10542 han sido seleccionadas para producción bajo condiciones de riego, presentan tolerancia a las principales enfermedades del cultivo, tienen buen potencial de rendimiento y buena calidad industrial.

Las líneas experimentales M-176 y M-177 han sido seleccionadas para condiciones de temporal, presentan tolerancia a las principales enfermedades del cultivo, tienen potencial de rendimiento aceptable y presentan buena calidad industrial.

La siembra del material experimental se realizó en cinco fechas de siembra: noviembre 15 y 30, diciembre 15 y 30, y enero 15 en los ciclos otoño-invierno 2012-2013 y 2013-2014, en el Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto., perteneciente al INIFAP, generando diez ambientes de prueba, correspondiendo los ambientes del 1 al 5 al ciclo 2012-2013, y del 6 al 10 al ciclo 2013-2014. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones. La siembra se realizó en surcos con separación de 30 cm, cada unidad experimental consistió de cuatro surcos de 3.0 m de longitud, la densidad de siembra fue de 100 kg ha<sup>-1</sup> a excepción de la variedad Esperanza que fue de 120 kg ha<sup>-1</sup>. Se aplicó un riego al momento de la siembra, posteriormente a los 45, 70 y 90 días después de la siembra.

El manejo agronómico empleado fue el recomendado por INIFAP para la región de El Bajío (Zamora *et al.*, 2010). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, bajo un arreglo factorial de tratamientos con tres factores de estudio, fechas de siembra, año de cultivo y genotipos de cebada, empleando tres repeticiones por tratamiento. Con el desdoblamiento de la combinación de fechas de siembra y años de cultivo, se generaron los diez ambientes de prueba descritos anteriormente.

Cuando los genotipos alcanzaron la madurez fisiológica, se procedió a trillar y cosechar los dos surcos centrales de cada unidad experimental con una minicombinada para parcelas experimentales.

#### **7.2.1. Variables evaluadas**

**Contenido de humedad del grano.** Se determinó mediante el uso de tres repeticiones de 120 gramos por unidad experimental, mediante un determinador de humedad marca BURROWS, modelo DMC750 DIGITAL MOISTURE COMPUTER.

**Rendimiento de grano.** Después de obtener el contenido de humedad del grano, se procedió a pesar el grano cosechado y obtener una corrección del contenido de humedad del grano para ajustar el rendimiento a 13 % de humedad, y posteriormente se hizo la transformación a  $t\ ha^{-1}$ .

#### **7.2.2. Análisis estadístico**

Se empleó el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2002). Se realizó un análisis de varianza combinado (ANVA), además se empleó el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), el cual considera el análisis de varianza para efectos de genotipo y ambiente, y un análisis de componentes principales para la interacción genotipo x ambiente. El modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + E_{ij}$$

Dónde:  $Y_{ij}$  = rendimiento del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente;  $\mu$  = media general;  $g_i$  = efecto del i-ésimo genotipo;  $e_j$  = efecto del j-ésimo ambiente;  $\lambda_k$  = raíz cuadrada del vector característico del k-ésimo eje del ACP;  $\alpha_{ik}$  = calificación del ACP para el k-ésimo eje del i-ésimo genotipo;  $\gamma_{jk}$  = calificación del ACP para el k-ésimo eje del j-ésimo ambiente;  $E_{ij}$  = valor del error (Vargas y Crossa, 2000).

### 7.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para rendimiento de grano, en el análisis de varianza combinado (ANVA) se encontraron diferencias estadísticas para ambientes (A), el efecto del ambiente contribuyó con el 63.4 % de la variación total de la suma de cuadrados (Cuadro 7.1), debido a que la expresión del rendimiento se atribuye principalmente a los efectos ambientales presentes en el ciclo biológico de los cultivos (Alam *et al.*, 2007). Asimismo, hubo significancia para genotipos (G), el efecto de genotipos contribuyó con 22.7 % de la suma de cuadrados (Cuadro 7.1), manifestando que el potencial de rendimiento generalmente es superior en algunos genotipos, siempre y cuando las condiciones ambientales permitan su expresión. Del mismo modo, hubo diferencias significativas para la interacción G x A, el efecto de esta interacción contribuyó con 11.4 % de la suma de cuadrados (Cuadro 7.1), generalmente la evaluación de genotipos bajo diversas condiciones ambientales, muestra una amplia variabilidad entre genotipos a través de los ambientes de prueba (Saad *et al.*, 2013).

Cuadro 7.1. Análisis de varianza combinado y significancia estadística para diez genotipos de cebada maltera evaluados en diez ambientes en El Bajío.

| FV              | GL   | SC     | CM      | SC (%) |
|-----------------|------|--------|---------|--------|
| Ambiente (A)    | 9    | 679.1  | 75.45 * | 63.4   |
| Genotipo (G)    | 9    | 243.2  | 27.02 * | 22.7   |
| A x G           | 81   | 122.0  | 1.50 *  | 11.4   |
| Error           | 50   | 27.3   | 0.55    | 2.5    |
| Total corregido | 149  | 1071.5 |         |        |
| CV              | 11.3 |        |         |        |

\* Significativo (0.05); FV= factor de variación; GL= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrados medios; CV= coeficiente de variación.

El modelo AMMI detectó diferencias significativas para ambientes (A), el efecto del ambiente contribuyó con 65.7 % de la variación total de la suma de cuadrados (Cuadro 7.2), siendo similar a la variación encontrada en el ANVA (Cuadro 7.1). Estos resultados confirman la existencia de fuerte variación de las condiciones ambientales entre fechas de siembra y ciclos de cultivo, influyendo de forma considerable en la variación del rendimiento de grano. De la misma forma, los resultados de este estudio concuerdan con los obtenidos por Solano *et al.* (1998) y Negash *et al.* (2013), quienes evaluando la estabilidad del rendimiento de grano en trigo, encontraron que el efecto que contribuyó más a la varianza total fue el correspondiente a la varianza del ambiente. El rendimiento en cereales de grano pequeño suele ser más elevado en ambientes frescos que en condiciones cálidas (García del Moral *et al.*, 2003), lo que coincidió con las tres primeras fechas de siembra, y más cálidas en las dos últimas fechas de siembra, en los dos años de cultivo. Para genotipos (G) también hubo diferencias significativas, el efecto de genotipos contribuyó con 18.1 % de la variación total de la suma de cuadrados (Cuadro 7.2) y fue relativamente inferior a lo encontrado en el ANVA (Cuadro 7.1).

Cuadro 7.2. Análisis de varianza AMMI y significancia estadística para diez genotipos de cebada maltera evaluados en diez ambientes en El Bajío.

| FV              | GL   | SC     | CM       | SC (%) |
|-----------------|------|--------|----------|--------|
| Ambiente (A)    | 9    | 1429.7 | 158.85 * | 65.7   |
| Genotipo (G)    | 9    | 393.4  | 43.70 *  | 18.1   |
| G x A           | 81   | 181.1  | 2.23 *   | 8.3    |
| CP1             | 17   | 70.9   | 4.16 *   | 39.1   |
| CP2             | 15   | 60.1   | 4.00 *   | 33.2   |
| CP3             | 13   | 28.0   | 2.15 *   | 15.4   |
| Error           | 198  | 171.8  | 0.86     | 7.9    |
| Total corregido | 299  | 2176.0 |          |        |
| CV              | 14.2 |        |          |        |

\* Significativo (0.05); FV= factor de variación; GL= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrados medios; CV= coeficiente de variación.

Alina mostró buen comportamiento para rendimiento de grano, de manera general, los genotipos seleccionados para condiciones de riego mostraron mejor comportamiento para esta variable, a excepción del genotipo M-173, en comparación a los genotipos seleccionados para condiciones de temporal (Cuadro 7.3), frecuentemente el potencial de rendimiento depende del genotipo (Soleymani y Shahrajabian, 2012). La interacción G x A también fue significativa, el efecto de esta interacción contribuyó con 8.3 % de la variación total de la suma de cuadrados (Cuadro 7.2), siendo similar a lo encontrado en el ANVA (Cuadro 7.1). Estos resultados, muestran diferencias en rendimiento de grano entre genotipos a través de los diferentes ambientes de prueba (Bahrami *et al.*, 2008), debido a que el rendimiento es fuertemente afectado por factores genéticos, ambientales, y principalmente por su interacción (Slafer, 2007).

Cuadro 7.3. Rendimiento medio y contribución del primer componente principal para diez genotipos de cebada evaluados en diez ambientes.

| Factores             |           |     | Media          | CP1      | CP2      |
|----------------------|-----------|-----|----------------|----------|----------|
| Genotipo             | Adabella  |     | 5.08519        | 0.16760  | -0.12596 |
|                      | Alina     |     | 8.22338        | -0.64373 | 0.46542  |
|                      | Armida    |     | 7.97167        | -0.79303 | -0.73119 |
|                      | Esmeralda |     | 5.85928        | 0.15931  | -0.00142 |
|                      | Esperanza |     | 7.17465        | -0.68835 | 0.68018  |
|                      | M-173     |     | 5.75406        | 0.58515  | -1.47048 |
|                      | M-174     |     | 6.80879        | 0.04608  | 0.00631  |
|                      | M-176     |     | 4.80337        | 1.51269  | 0.39322  |
|                      | M-177     |     | 6.20207        | 0.37345  | 0.95038  |
|                      | M-10542   |     | 7.73649        | -0.71919 | -0.16646 |
| Ciclo 2012-2013      | Nov-15    | A1  | 6.85036        | 0.27995  | 0.42016  |
|                      | Nov-30    | A2  | 7.72735        | -0.35097 | -0.35972 |
|                      | Dic-15    | A3  | 4.84499        | -1.00138 | -0.30153 |
|                      | Dic-30    | A4  | 4.87558        | -0.17530 | -0.38791 |
|                      | Ene-15    | A5  | 4.61462        | 0.62355  | -0.08448 |
| Ciclo 2013-2014      | Nov-15    | A6  | 9.89492        | -0.34922 | 1.59101  |
|                      | Nov-30    | A7  | 9.82662        | -0.61259 | 0.48471  |
|                      | Dic-15    | A8  | 7.47897        | -0.35274 | -0.92113 |
|                      | Dic-30    | A9  | 6.68622        | 0.36301  | -0.54551 |
|                      | Ene-15    | A10 | 2.81931        | 1.57568  | 0.10440  |
| <b>Media general</b> |           |     | <b>6.56189</b> |          |          |

A= ambiente; CP= componente principal.

Los resultados encontrados también muestran que dentro de la variación total, los efectos de variación debido a la interacción G x A estuvieron presentes, por tanto, lo anterior pone de manifiesto la dificultad de lograr un rendimiento estable y poder predecir el comportamiento de los genotipos evaluados (Solano *et al.*, 1998).

Uno de los problemas en la evaluación de genotipos, en un año y lugar específico, es que el efecto del lugar puede ser variable tanto en fechas de siembra como en años (Bahrami *et al.*, 2008). Del mismo modo, la existencia de efectos significativos para la interacción G x A, son similares a los encontrados en otros estudios, como en cebada (Nurminiemi *et al.*, 2002), trigo (Solano *et al.*, 1998; Rodríguez *et al.*, 2011; Castillo *et al.*, 2012 y Negash *et al.*, 2013), sorgo (Williams *et al.* 2010) y maíz (San Vicente *et al.* 2005).

El modelo AMMI indicó que el cuadrado medio de los tres primeros componentes principales fue significativo. El primer componente principal (CP1) explicó el 39.1 % de la suma de cuadrados de la interacción G x A, mientras que el segundo componente principal (CP2) explicó el 33.2 % y el tercer componente principal (CP3) explicó el 15.4 % (Cuadro 7.2). Asimismo, la magnitud del valor del CP1 fue suficiente para dar una clara explicación de los resultados y visualizar la adaptación de los genotipos de cebada en los distintos ambientes (Figura 7.1). En este sentido, Solano *et al.* (1998) señalan que el CP1 permite determinar el efecto de la interacción al predecir el comportamiento de un genotipo en un ambiente, frecuentemente el CP1 describe la mayor cantidad de interacción, por tanto, es el componente principal que mejor discrimina entre genotipos. Resultados similares a este estudio fueron obtenidos por Negash *et al.* (2013), quienes estudiando la interacción G x A en rendimiento de trigo, y analizando de forma separada dos años de prueba mediante el modelo AMMI, encontraron que el CP1 explicó el 43.21 y 58.01 % de la suma de cuadrados de la interacción G x A. Mientras que San Vicente *et al.* (2005) evaluando el rendimiento de maíz, reportan que el CP1 explicó 35 % de suma de cuadrados de la interacción G x A.

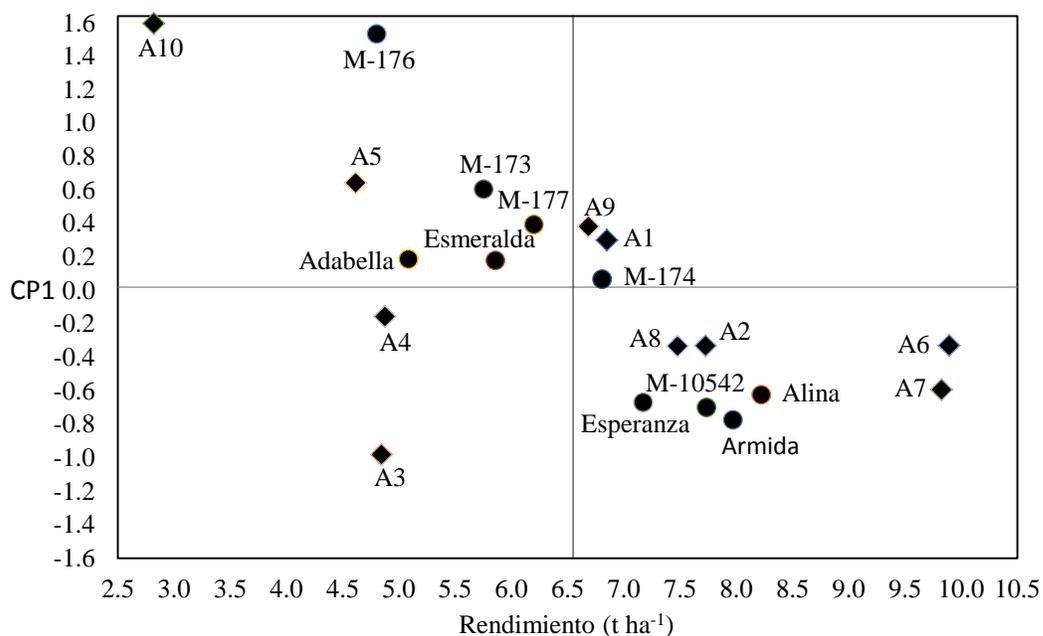


Figura 7.1. Gráfica Biplot del CP1 en función del rendimiento de diez genotipos de cebada evaluados en diez ambientes en El Bajío, ciclos agrícolas 2012-2013 y 2013-2014.

Los resultados obtenidos mostraron que Adabella y Esmeralda tuvieron valores bajos en el CP1, manifestando que interaccionan poco con el ambiente, sin embargo, su rendimiento fue inferior a la media general ( $6.56 \text{ t ha}^{-1}$ ), por otra parte, el genotipo M-174 mostró un valor bajo en el CP1 y su rendimiento fue mayor a la media general, siendo un genotipo de comportamiento estable. Los genotipos M-173 y M-177 tuvieron valores relativamente bajos en el CP1, pero su rendimiento también fue inferior a la media general, mientras que los genotipos Alina, Armida, Esperanza y M-10542 tuvieron rendimientos superiores a la media general, pero presentaron mayor interacción con el ambiente, debido a que muestran valores altos en el CP1. En tanto que el genotipo M-176 mostró un rendimiento inferior a la media general y fue el genotipo con mayor interacción con el ambiente (Figura 7.1).

Rodríguez *et al.* (2011) mencionan que los genotipos más estables se encuentran más cercanos al origen del CP1 y al alejarse de este muestran mayor interacción con el ambiente. Los resultados obtenidos, concuerdan con San Vicente *et al.* (2005), quienes evaluando la estabilidad del rendimiento de grano en maíz, encontraron que los genotipos con mayor estabilidad presentan rendimientos inferiores a la media general.

El A1 presentó un valor bajo en el CP1 y mostró rendimientos superiores a la media general ( $6.5 \text{ t ha}^{-1}$ ), mientras que el ambiente A4 también tuvo valores bajos en el CP1, pero los rendimientos fueron inferiores a la media general, en ambos ambientes los genotipos se mostraron estables (Figura 7.1).

El ambiente A9 hubo un rendimiento ligeramente superior a la media general, mientras que los ambientes A2, A8, A7 y A6 mostraron rendimientos superiores a la media general, pero en todos los casos tuvieron valores relativamente altos en el CP1. Además, los ambientes A3, A5 y A10 mostraron rendimientos inferiores a la media general, siendo los dos últimos donde mostraron mayor interacción los genotipos evaluados (Figura 7.1). No obstante, habría que considerar que las diferencias en rendimiento en los ambientes A1, A2 y A3 (ciclo 2012-2013), en comparación a los ambientes A6, A7 y A8 (ciclo 2013-2014), se debió a la presencia de heladas atípicas, las cuales se presentaron cuándo los genotipos se encontraban en la etapa de llenado de grano (A1 y A2) y espigamiento (A3) respectivamente, habiendo una merma de grano para todos los genotipos, siendo más grave en el A3. Al respecto, Nurminiemi *et al.* (2002) mencionan que la variación de rendimiento entre ambientes puede atribuirse a factores como la ubicación geográfica de la localidad de prueba, fecha de siembra, aumento o descenso de temperatura, y susceptibilidad a enfermedades.

La variación en el rendimiento de grano de cebada puede ser explicada por las diferentes condiciones ambientales particulares que predominaron en cada ambiente de prueba. Por tanto, los genotipos Alina, Armida, Esperanza, M-174 y M-10542 seleccionados para condiciones de riego, expresaron mejor rendimiento de grano en los ambientes A1, A2, A6, A7 y A8 (correspondientes a siembras del 15 y 30 de noviembre de ambos ciclos de cultivo, y 15 diciembre del ciclo 2013-2014), posiblemente porque las condiciones de estrés fueron menores en comparación a los ambientes A4, A5, A9 y A10 (siembras del 30 de diciembre y 15 de enero de ambos ciclos), como consecuencia del aumento de temperatura y baja humedad relativa durante la etapa de desarrollo del cultivo, las cuales favorecen la pérdida de agua del suelo a través de la evaporación, y mediante el aumento de transpiración de las plantas, requiriendo mayor número de riegos.

Asimismo, el genotipo M-173 tuvo comportamiento similar a los genotipos Adabella, Esmeralda y M-177 seleccionados para condiciones de temporal, los cuales a pesar de tener un rendimiento de grano inferior a la media general, mostraron mejor respuesta a la variación ambiental, mientras que el genotipo M-176 mostró mayor variación en el rendimiento a través de los ambientes. Saad *et al.* (2013) mencionan que los genotipos de cebada difieren en rendimiento de grano cuando se evalúan bajo diferentes condiciones ambientales, en respuesta al efecto de la interacción genotipo x ambiente.

#### 7.4. CONCLUSIONES

- El modelo AMMI mostró diferencias significativas para ambientes, genotipos y la interacción G x A contribuyendo con 65.7, 18.1 y 8.3 % de la variación total de la suma de cuadrados, respectivamente, siendo congruente con lo obtenido en el ANVA, estos resultados confirman la existencia de fuerte variación de las condiciones ambientales entre fechas de siembra y años de prueba.
- El primer componente principal (CP1) explicó el 39.1 % de la suma de cuadrados de la interacción G x A, y fue suficiente para explicar la respuesta de los genotipos de cebada en los distintos ambientes de prueba.
- Los genotipos Adabella y Esmeralda interaccionaron poco con el ambiente, pero su rendimiento de grano fue inferior a la media general ( $6.5 \text{ t ha}^{-1}$ ), mientras que el genotipo M-174 tuvo poca interacción con el ambiente y su rendimiento de grano fue mayor a la media general, en tanto que los genotipos Alina, Armida, Esperanza, M-173, M-176, M-177 y M-10542 interactuaron más con el ambiente.
- Los genotipos Alina, Armida y M-10542 generados para condiciones de riego, mostraron mayor potencial del rendimiento en los ambientes A1, A2, A6, A7 y A8.
- Los genotipos Adabella, Esmeralda y M-177 generados para condiciones de temporal mostraron mejor respuesta a la variación ambiental, pero su rendimiento fue inferior a la media general.

## 7.5. LITERATURA CITADA

- Alam M.Z., S.A. Haider and N.K. Paul. 2007. Yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) in relation to sowing times. *Journal of Biological Sciences*, 15: 139-145.
- Araus J.L., G.A. Slafer, C. Royo and M.D. Serret. 2008. Breeding for Yield Potential and Stress Adaptation in Cereals. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27(6): 377-412.
- Bahrami S., M.R. Bihamta, M. Salari, M. Soluki, A. Ghanbari, A.A. Vahabi Sadehi and A. Kazemipour. 2008. Yield stability analysis in hulless barley (*Hordeum vulgare* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(6): 589-593.
- Castillo D., I. Matus, A. del Pozo, R. Madariaga, and M. Mellado. 2012. Adaptability and genotype x environment interaction of spring wheat cultivars in Chile using Regression Analysis, AMMI, and SREG. *Chilean Journal of agricultural Research* 72(2): 167-174.
- Crossa J., H.G. Gauch and R. Zobel 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science* 30:493-500.
- Eberhart S., and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6: 36-40.
- García del Moral L.F., Y. Rharrabti, D. Villegas and C. Royo. 2003. Evaluation of grain yield and its components in Durum wheat under Mediterranean conditions: An ontogenic approach. *Agronomy Journal*, 95: 266-274.
- Hortelano R., H.E. Villaseñor, E. Martínez, M.F. Rodríguez, E. Espitia y L.A. Mariscal. 2013. Estabilidad de variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en los Valles Altos de la Mesa Central. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5): 713-725.
- Negash A.W., H. Mwambi, T. Zewotir and G. Taye. 2013. Additive main effects and multiplicative interactions model (AMMI) and genotype main effect and genotype by environment interaction (GGE) biplot analysis of multi-environmental wheat variety trials. *African Journal of Agricultural Research*, 8(12): 1033-1040.
- Nurminiemi M., S. Madsen, O.A. Rognli, A. Bjornstad and R. Ortiz. 2002. Analysis of the genotype-by-environment interaction of spring barley tested in the Nordic Region of Europe: Relationships among stability statistics for grain yield. *Euphytica*, 127: 123–132.

- Ramírez J. F., M. Zamora, L.A. Márquez y A.M. Ibañez. 1997. Esperanza variedad de cebada maltera para El Bajío. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro Experimental El Bajío. México, D.F. Boletín Técnico Núm. 1. 20 p.
- Rodríguez R.E., J.F. Ponce, E.O. Rueda, L. Avendaño, J.J. Paz, J. Santillano y M. Cruz. 2011. Interacción genotipo - ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14: 543- 558.
- Saad F.A, A.A. Abd El-Mohsen and I.H. Al-Soudan. 2013. Parametric Statistical Methods for Evaluating Barley Genotypes in Multi-environment Trials. *Scientia Agriculturae* 1(2): 30-39.
- San Vicente F.M., C. Marín R. y D. Díaz. 2005. Estabilidad del rendimiento y potencial agronómico de híbridos de maíz de alta calidad de proteína (QPM) en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 55(3): 397-410.
- SAS Institute. 2002. Statistical Analysis System Version 9.0 North Carolina, USA.
- Slafer G.A. 2007. Physiology of determination of major wheat yield components. Buck H.T., J.E. Nisi and N. Salomón (eds.), *In: Wheat Production in Stressed Environments*, 557–565.
- Solano S.J., B.P. Barriga, H.A. Krarup and S.H. Figueroa. 1998. Estabilidad temporal del rendimiento de genotipos mutantes de trigo, mediante el modelo de interacción multiplicativa y efectos principales aditivos (AMMI: Additive main effect and multiplicative interaction model). *Agro sur*, 26(2): 19-32.
- Solano S., M. Zamora, F.P. Gámez, J.J. García, R. Sánchez, J. Ireta, F. Díaz y R. Garza. 2009. Alina, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Agricultura Técnica en México*, 35 (4): 467-469.
- Soleymani A. and M.H. Shahrajabian. 2012. Changes in seed yield and yield components of elite barley cultivars under different plant populations and sowing dates. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(1): 596-598.
- Vargas M. and J. Crossa. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del biplot en SAS. Unidad de Biometría y Estadística. CIMMYT. México. 42 p.
- Williams H., V. Pecina, F. Zavala, N. Montes, A. J. Gámez, G. Arcos, M.A. García, S. Montes y L. Alcalá. 2010. Modelo de Finlay y Wilkinson vs. el Modelo Ammi para analizar la interacción genotipo–ambiente en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(2): 117-123.

- Zamora M., L.A. Márquez, F. Ramírez y A.M. Ibáñez. 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 Núm. 5. México, D.F. 20 p.
- Zamora M., S. Solano, R. Gómez, I. Rojas, J. Ireta, R. Garza y C. Ortiz. 2008. Adabella: variedad de cebada maltera para valles altos de la mesa central de México. Agricultura Técnica en México, 34(4): 491-493.
- Zamora M., S. Solano, R. Garza, J. Islas, R. Huerta y M. López. 2010. Armida, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1(5): 723-726.
- Zobel R.W., M. Wright and H.G. Gauch. 1998. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal, 80: 388-397.

## CAPÍTULO VIII. DISCUSIÓN GENERAL

La duración del ciclo biológico de los cultivos puede estimarse utilizando eventos fenológicos, cada cultivo necesita cierto tiempo para su crecimiento, desarrollo, y e integración del rendimiento (Chmielewski, 2013). Los resultados obtenidos en este estudio confirman la influencia de la temperatura sobre la duración de cada etapa fenológica, independientemente del genotipo de cebada maltera utilizados. En base al requerimiento de unidades calor se distinguieron tres grupos, el primero integrado por M-173, Armida y Alina, el segundo constituido por Esmeralda, M-174, M-176, M-177 y M-10542, y el tercero lo conformaron Adabella y Esperanza. Los factores ambientales que más influyen en el crecimiento y desarrollo de un cultivo son la temperatura, humedad relativa y la calidad de luz. En este estudio, las siembras tardías acortaron el ciclo de cultivo y la acumulación de unidades calor disminuyó conforme la siembra se hizo más tarde. Generalmente, la duración del ciclo de cultivo se reduce en siembras tardías, a causa de la madurez forzada del cultivo, debido al aumento de temperatura y baja humedad relativa (Amrawat *et al.*, 2013), las cuales favorecen la pérdida de agua no solo en el cultivo, sino también del suelo a través de la evaporación, afectando el desarrollo del cultivo y el rendimiento de grano.

El estrés ambiental representa los factores que limitan la productividad agrícola (Gaspar *et al.*, 2002). Los resultados de la evaluación de calidad física y fisiológica en relación a parámetros de uso como semilla, mostraron diferencias en germinación y vigor de la semilla, en respuesta a las condiciones ambientales en las cuales se desarrolló el cultivo (Bishaw *et al.*, 2012). En el ciclo agrícola 2012-2013, la presencia de bajas temperaturas afectó el llenado de la semilla, repercutiendo en la calidad fisiológica de la semilla, mientras que el incremento de la temperatura acortó el ciclo de cultivo, disminuyendo la calidad física de la semilla.

El daño por bajas temperaturas fue más evidente en las semillas provenientes de la siembra realizada el 30 de noviembre, en laboratorio, el porcentaje de germinación fue inferior a 90 %, con excepción de Armida, Esmeralda y M-10542 en los cuales fue ligeramente superior a ese porcentaje, mientras que en la prueba de vigor en camas de arena, el porcentaje de germinación fue inferior a 85 % para todos los genotipos. En los parámetros de velocidad de emergencia, longitud de plántula y peso seco de la parte aérea, se encontraron variaciones entre genotipos a través de fechas de siembra, esta variación en vigor se atribuye a aspectos genéticos del genotipo y variaciones en las condiciones ambientales durante el ciclo de cultivo (Ellis, 1992). Las semillas cosechadas provenientes de la siembra del 15 de diciembre, mostraron mayor calidad física y fisiológica, mientras que las semillas provenientes de las siembras del 30 de diciembre y 15 de enero, a pesar de mostrar buen comportamiento en calidad fisiológica, disminuyó de manera considerable la calidad física en comparación a las siembras anteriores. Los genotipos Alina y Armida tuvieron buen comportamiento en calidad física de semilla, mientras que la línea M-10542 mostró buen comportamiento en germinación y viabilidad, tanto en laboratorio como en la prueba de vigor en arena.

La ventaja de tener un lote de cebada recién cosechado con la capacidad para germinar de manera rápida y uniforme, incluye la posibilidad de realizar un malteado inmediato. Los resultados de la prueba de germinación estándar para conocer el proceso de germinación a partir de madurez fisiológica, mostraron comportamiento variable en el porcentaje de germinación a partir de madurez fisiológica entre genotipos. Se considera que los genotipos de cebada maltera evaluados no presentan latencia, debido a que hubo germinación de los granos a partir de su madurez y el tiempo para obtener más de 90 % de germinación fue de 21 días después de madurez fisiológica, con excepción de los genotipos Alina, Armida y M-173 que

requirieron de 28 días. En el caso de cebada, los efectos de latencia son controlados predominantemente por efectos genéticos, en adición a factores ambientales durante el desarrollo del cultivo, que es promovida principalmente por temperaturas frescas y alta humedad relativa (Takeda y Hori, 2007). En el caso de El Bajío, el desarrollo del grano ocurre en condiciones de temperaturas relativamente altas, haciendo más remota la posibilidad de que la semilla adquiera latencia.

Sin embargo, el inconveniente de que el desarrollo del cultivo ocurra bajo condiciones cálidas, es que el aumento de temperatura acelera el ciclo de cultivo, además, cuando se presenta en la etapa reproductiva disminuye los componentes de rendimiento, repercutiendo en el rendimiento de grano (Alam *et al.*, 2007). En ambos años de estudio, las siembras realizadas el 15 y 30 de noviembre, y 15 de diciembre permitieron mejor expresión de los genotipos en cuanto a número de macollos, número de nudos del tallo principal, altura de planta, peso hectolítrico y peso de mil granos, mientras que en las siembras realizadas el 30 de diciembre y 15 de enero estas variables disminuyeron. Se debe considerar que el rendimiento de grano está en función de factores como el número de plantas por hectárea, número de tallos fértiles por planta, número de granos por espiga y peso individual del grano, por tanto, los factores de estrés que afectan directa o indirectamente cada uno de estos componentes también afectan el rendimiento de grano (Hossain *et al.*, 2012).

Los genotipos Alina y Armida mostraron buen comportamiento en peso hectolítrico y peso de mil granos, respectivamente, en comparación a los demás genotipos, cuyos parámetros fueron más variables a través de fechas de siembra, posiblemente debido a su precocidad, estos dos genotipos evitaron condiciones de estrés durante el llenado de grano, y al aumentar la calidad física del grano los valores en rendimiento de grano fueron mayores.

Entre los rasgos adoptados por las plantas para hacer frente a factores de estrés están la precocidad y la tolerancia a estos factores, el hábito de crecimiento y el tiempo a floración son rasgos básicos que intervienen en la adaptación de los cultivares de cebada a los cambios ambientales (Chopra y Prakash, 2002).

La expresión del rendimiento está influenciada por factores climáticos, tales como la presencia de heladas durante la floración y temperaturas altas durante el llenado del grano, habiendo un efecto detrimental en el rendimiento de grano (Costa *et al.*, 2013). Esto coincide con los resultados encontrados en este estudio, en donde la presencia de heladas atípicas durante el ciclo agrícola 2012-2013 disminuyó el rendimiento de grano en siembras tempranas, siendo más evidente en la siembra del 15 de diciembre, debido a que los genotipos se encontraban en la etapa de espigamiento, a pesar de estas condiciones, la calidad física del grano fue elevada, lo cual se atribuye a que los granos que no fueron dañados por las heladas tienden a llenar a un tamaño mayor de lo normal, debido a la reducción del número de granos en la espiga (Loss, 2005). En las siembras realizadas el 30 de diciembre y 15 de enero la reducción del rendimiento se atribuyó al aumento de temperatura en ambos años de estudio, al acelerarse el ciclo de cultivo los intervalos de riego deben ser más cortos y debido a que no se modificaron los calendarios de riego, las condiciones de estrés fueron mayores en dichas fechas de siembra.

Lo resultados obtenidos en el ANVA y en el modelo AMMI (efectos principales aditivos e interacción multiplicativa), confirmaron que el ambiente contribuyó con la mayor parte de la variación del rendimiento, seguido por el efecto de genotipos y por la interacción genotipo x ambiente. Los resultados obtenidos mostraron que los efectos de variación debido a la interacción G x A estuvieron presentes, manifestando la dificultad para lograr un

rendimiento estable y poder predecir el comportamiento de los genotipos evaluados (Solano *et al.*, 1998). Los genotipos Alina, Armida, Esperanza y M-10542 seleccionados para condiciones de riego, expresaron mejor rendimiento de grano en los ambientes correspondientes a las siembras del 15 y 30 de noviembre de ambos ciclos de cultivo, y el 15 de diciembre del ciclo 2013-2014, mientras que el rendimiento disminuyó en los ambientes correspondientes a las siembras del 30 de diciembre y 15 de enero de ambos ciclos. Por otra parte, el genotipo M-173 tuvo comportamiento similar a los genotipos Adabella, Esmeralda y M-177 seleccionados para condiciones de temporal, los cuales a pesar de tener un rendimiento de grano inferior a la media general, mostraron buena respuesta a la variación ambiental. Asimismo, el genotipo M-174 mostró un comportamiento estable y su rendimiento fue superior a la media general. La amplia variación del rendimiento a través de las fechas de siembra y años de cultivo, pudiera atribuirse a que los genotipos generalmente muestran adaptaciones específicas a determinadas condiciones ambientales (Boland *et al.*, 2012), además de que el potencial de rendimiento depende de las características genéticas del genotipo (Soleymani y Shahrajabian, 2012).

## 8.1. LITERATURA CITADA

- Alam M.Z., S.A. Haider and N.K. Paul. 2007. Yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) in relation to sowing times. *Journal of Biological Sciences*, 15: 139-145.
- Amrawat T., N.S. Solanki, S.K. Sharma, D.K. Jajoria and M.L. Dotaniya. 2013. Phenology growth and yield of wheat in relation to agrometeorological indices under different sowing dates. *African Journal of Agricultural Research*, 8(49): 6366-6374.
- Bishaw Z., P.C. Struik and A.J.G. Van Gastel. 2012. Farmers' Seed Sources and Seed Quality: 1. Physical and Physiological Quality. *Journal of Crop Improvement*, 26(5): 655-692.

- Bolandi A., A.A. Imani, H. Shahbazi and A. Mehraban. 2012. The study of compatibility and stability of grain yield in barley advanced genotypes in tropical and subtropical reinfed regions. *Annals of Biological Research*, 3 (12):5540-5544.
- Chmielewski F.M. 2013. Phenology in Agriculture and Horticulture. M.D. Schwartz (*ed.*), *In Phenology: An Integrative Environmental Science*, pp. 539-561.
- Chopra V.L and S. Prakash. 2002. Evolution and adaptation of cereals crops. Science Publishers, Enfield, NH, USA. 295 p.
- Costa R., N. Pinheiro, A.S. Almeida, C. Gomes, J. Coutinho, J. Coco, A. Costa and B. Macãs. 2013. Effect of sowing date and seeding rate on bread wheat yield and test weight under Mediterranean conditions. *Emirates Journal of Food Agriculture*, 25(12): 951-961.
- Ellis R.H. 1992. Seed and seedling vigour in relation to crop growth and yield. *Plant Growth Regulation*, 11: 249-255.
- Gaspar T., T. Franck, B. Bisbis, C. Kevers, L. Jouve, J.F. Hausman and J. Dommes. 2002. Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation*, 37: 263–285.
- Hossain A., J.A. Teixeira da Silva, M.V. Lozovskaya, V.P. Zvolinsky and V.I. Mukhortov. 2012. High temperature combined with drought affect rainfed spring wheat and barley in south-eastern Russia: Yield, relative performance and heat susceptibility index. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 4(11): 184-196.
- Loss E. 2005. Symptoms of frost damage in cereals. Department of Agriculture and Food. Government of Western Australia. ([http://www.agric.wa.gov.au/PC\\_92059.html](http://www.agric.wa.gov.au/PC_92059.html).) Consultado el 09 de mayo de 2014.
- Solano S.J., B.P. Barriga, H.A. Krarup and S.H. Figueroa. 1998. Estabilidad temporal del rendimiento de genotipos mutantes de trigo, mediante el modelo de interacción multiplicativa y efectos principales aditivos (AMMI: Additive main effect and multiplicative interaction model). *Agro sur*, 26(2): 19-32.
- Soleymani A. and M.H. Shahrajabian. 2012. Changes in seed yield and yield components of elite barley cultivars under different plant populations and sowing dates. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(1): 596-598.
- Takeda K. and K. Hori. 2007. Geographical differentiation and diallel analysis of seed dormancy in barley. *Euphytica*, 153:249–256.

## CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES GENERALES

- Existe una respuesta diferencial de los genotipos de cebada maltera a las condiciones ambientales, lo que afecta la duración de las etapas fenológicas.
- Las siembras tardías aceleran el ciclo biológico de los genotipos de cebada, debido a condiciones de estrés, principalmente por el aumento de temperatura, lo cual se asoció a una menor acumulación de unidades calor, además de la disminución de la calidad física y rendimiento de grano.
- Los genotipos Alina y Armida mostraron buen comportamiento en calidad física de grano a través de fechas de siembra.
- El genotipo M-10542 tuvo buen comportamiento en germinación y viabilidad, tanto en laboratorio como en la prueba de vigor en camas de arena.
- La presencia de heladas durante la etapa de llenado de la semilla afectó el porcentaje de germinación y viabilidad de las semillas.
- El rendimiento de grano disminuyó considerablemente cuando la presencia de heladas ocurrió en la etapa de espigamiento.
- Los genotipos presentaron germinación a partir de la madurez del grano y el mayor tiempo para obtener más de 90 % de germinación fue de 28 días posteriores a madurez fisiológica, con lo cual, se descarta la posibilidad de que los genotipos de cebada maltera evaluados presenten latencia.

- Las siembras realizadas el 15 y 30 de noviembre, y 15 de diciembre permitieron mejor expresión de los genotipos para número de macollos por planta, número de nudos del tallo principal, altura de planta, peso hectolítrico, peso de mil granos, mientras que en las siembras realizadas el 30 de diciembre y 15 de enero disminuyeron estos parámetros, afectando el rendimiento de grano.
- El rendimiento de grano estuvo influenciado en mayor proporción por el efecto del ambiente, seguido por el efecto de genotipos y por la interacción genotipo x ambiente.
- El genotipo M-174 mostró un comportamiento estable y sobresalió al presentar rendimiento superior a la media general ( $> 6.56 \text{ t ha}^{-1}$ ).
- Los genotipos Adabella, Esmeralda, M-173 y M-177 tuvieron un rendimiento inferior a la media general ( $< 6.56 \text{ t ha}^{-1}$ ), pero mostraron buena respuesta a la variación ambiental.
- Los genotipos Alina, Armida, Esperanza y M-10542 expresaron buen rendimiento bajo condiciones favorables para su desarrollo, y este se redujo considerablemente cuando se suscitaron condiciones de estrés, principalmente el aumento de temperatura.