

# EVALUACIÓN DE 10 GENOTIPOS DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) EN CINCO FECHAS DE SIEMBRA Y DOS CICLOS AGRÍCOLAS

## ASSESSMENT OF TEN BARLEY GENOTYPES (*Hordeum vulgare* L.) SOWN ON FIVE PLANTING DATES IN TWO AGRICULTURAL CYCLES

Juan A. Pérez-Ruiz<sup>1,2\*</sup>, Mauro Zamora-Díaz<sup>2</sup>, José A. Mejía-Contreras<sup>1</sup>, Adrián Hernández-Livera<sup>1</sup>, Salomón Solano-Hernández<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Postgrado en Producción de Semillas, Colegio de Postgraduados. 56230. km. 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. (semillas@colpos.mx), (juan.perez@colpos.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de México, INIFAP. 56250. Carretera Los Reyes-Lechería, km 18.5. Coatlinchan, Texcoco, Estado de México, México. <sup>3</sup>Campo Experimental Bajío, INIFAP. 38110. Carretera Celaya-San Miguel de Allende s/n, km 6.5. Colonia Roque, Celaya, Guanajuato, México.

### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar características agronómicas, rendimiento y calidad física de grano de genotipos de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) cultivados con riego. El estudio se realizó en la región de El Bajío, México. Las variables evaluadas fueron número de macollos (NM), número de nudos del tallo principal (NN), altura de planta (AP), peso hectolítrico (PHL), peso de mil granos (PMG) y rendimiento de grano (REN). El diseño experimental fue bloques completos al azar con un arreglo factorial 10×5×2: diez genotipos, cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas. Las fechas de siembra fueron: noviembre 15 y 30, diciembre 15 y 30, y 15 de enero. Los ciclos agrícolas fueron: 2012-2013 y 2013-2014. Con los datos se realizó ANDEVA, pruebas de comparación de medias (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) y correlaciones. Los genotipos expresaron mayor NM, NN, AP, PHL, PMG y REN en las siembras establecidas a finales de otoño, y las establecidas a principios de invierno tuvieron los valores menores. Las variedades Alina y Armida mostraron rendimiento y calidad física de grano mayores.

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

### INTRODUCCIÓN

En México, el grano de cebada se usa principalmente como materia prima para la elaboración de cerveza. En El Bajío, la cebada se

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate agronomic characteristics, grain yield, and physical grain quality in malting barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes cultivated under irrigation. The study was carried out at the El Bajío region of Mexico. The variables evaluated were number of tillers (NM), number of nodes on the main stem (NN), plant height (AP), hectoliter weight (PHL), weight of one thousand grains (PMG) and grain yield (REN). The experimental design was randomized complete blocks with a 10×5×2 factorial arrangement of treatments: ten genotypes, five sowing dates and two agricultural cycles. The sowing dates were November 15 and 30, December 15 and 30 and January 15. The agricultural cycles were 2012-2013 and 2013-2014. The data were analyzed with an ANOVA, means were compared with Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) and correlations. The genotypes expressed higher NM, NN, AP, PHL, PMG and REN when sowing was at the end of autumn, while those established at the beginning of winter had lower values. The varieties Alina and Armida produced higher yields and better grain physical quality.

**Key words:** *Hordeum vulgare* L., El Bajío region, grain physical quality, sowing dates.

### INTRODUCTION

In Mexico, barley grain is used mainly as the raw material for brewing beer. In El Bajío, barley is cultivated under irrigation on an area of more than 54 thousand ha (SIAP, 2014). This region functions as the complementary grain supplier for the malt industry and is characterized by its high

\*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: abril, 2015. Aprobado: agosto, 2015.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 201-213. 2016.

cultiva en condiciones de riego con una superficie superior a 54 mil ha (SIAP, 2014). Esta región funciona como proveedora complementaria de grano para la industria maltera; y se caracteriza por la obtención de rendimientos altos de grano durante el ciclo otoño-invierno (Steffen y Echánove, 2005).

Rendimientos altos de grano pueden obtenerse con la combinación apropiada de cultivar, ambiente y prácticas agronómicas (Alam *et al.*, 2007). En cebada, el cultivar tiene una función importante en el rendimiento de grano, y las características agronómicas, como el potencial de rendimiento, macollos por planta y calidad física del grano, permiten mejorar la estabilidad del rendimiento (Friedt *et al.*, 2011). En una área y región determinada, el potencial de rendimiento estará definido principalmente por el clima, pues determinará la variabilidad en los máximos rendimientos alcanzables (Lobell *et al.*, 2009). A menudo, el rendimiento de grano es afectado por las condiciones ambientales durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, en especial la temperatura (Mendoza *et al.*, 2011).

Con frecuencia, los cultivares en ambientes contrastantes muestran rendimientos diferentes de grano, pues la mayoría presentan adaptaciones específicas a condiciones ambientales determinadas (Bolandí *et al.*, 2012). La fecha de siembra es un aspecto importante en el manejo agronómico del cultivo de cebada, porque está directamente relacionada con la calidad industrial del grano (O'Donovan *et al.*, 2012). La fecha de siembra puede influir positiva o negativamente en el peso de los granos, el número de espigas por m<sup>2</sup> y el rendimiento de grano por las condiciones climáticas durante el desarrollo del cultivo (Aslani y Mehrvar, 2012). Las siembras de trigo establecidas en El Bajío el 15 de noviembre o en ambientes que permitieron un periodo de crecimiento prolongado contribuyó a incrementar el rendimiento de grano (Solís *et al.*, 2004).

Uno de los principales problemas durante la producción de cebada en la región de El Bajío es la selección de las fechas de siembra. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar características agronómicas, rendimiento y calidad física de grano de diez genotipos de cebada cultivados en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas, bajo la hipótesis de que las características agronómicas, rendimiento y calidad física de grano están en función del cultivar y la fecha de siembra influye en el nivel de su expresión.

grain yields during the autumn-winter cycle (Steffen and Echánove, 2005).

High grain yields can be obtained with the proper combination of cultivar, environment and agronomic practices (Alam *et al.*, 2007). With barley, cultivar has an important role in grain yield, and its agronomic characteristics such as yield potential, tillers per plant and grain physical quality allow better yield stability (Friedt *et al.*, 2011). In a given area and region, yield potential will be defined mainly by climate since it will determine the variability up to the highest possible yields (Lobell *et al.*, 2009). Often, grain yield is affected by environmental conditions during crop growth and development, mainly temperature (Mendoza *et al.*, 2011).

Cultivars in contrasting environments frequently exhibit different grain yield since most have adaptations specific to given environmental conditions (Bolandí *et al.*, 2012). Sowing date is a highly important aspect in agronomic management of the barley crop because it is directly related to the industrial quality of the grain (O'Donovan *et al.*, 2012). Sowing date can have a positive or negative influence on grain weight, number of spikes per m<sup>2</sup> and grain yield depending on the climatic conditions during crop development (Aslani and Mehrvar, 2012). In El Bajío, sowing wheat on November 15, or in environments that permitted a prolonged growth period, contributed to increasing grain yield (Solís *et al.*, 2004).

One of the main problems during barley production in the El Bajío Region is selection of sowing dates. Therefore, the objective of this study was to evaluate the agronomic characteristics, yield and grain physical quality of ten barley genotypes sown on five dates and grown in two different agricultural cycles under the hypothesis that agronomic characteristics, grain yield and physical quality are in function of the cultivar and sowing date, which influence the level of expression.

## MATERIALS AND METHODS

In the study, ten barley genotypes from the National Barley Program of the National Institute of Research in Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) were evaluated. These genotypes produce grain that is suitable for malt production; they have good potential for grain yield and are tolerant to the main diseases of the crop. Five of the genotypes are commercial

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el estudio se evaluaron diez genotipos de cebada provenientes del Programa Nacional de Cebada, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Estos genotipos producen grano adecuado para la producción de malta, tienen potencial bueno de rendimiento de grano y presentan tolerancia a las principales enfermedades del cultivo; cinco de ellos son variedades comerciales y de disponibilidad comercial de semilla, y los otros cinco son líneas experimentales. Las variedades comerciales son Alina, Armida, Esperanza, Adabella y Esmeralda; las primeras tres fueron liberadas para su cultivo en El Bajío y las dos restantes para los Valles Altos del país (Zamora *et al.*, 2008; Solano *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010). Las líneas experimentales son M-173, M-174, M-10542, M-176 y M-177; las primeras tres fueron seleccionadas para El Bajío y las dos restantes para los Valles Altos (Zamora, 2013).

El diseño experimental fue bloques completos al azar y para facilitar el riego fue dividido en franjas, cada una con 30 parcelas experimentales que representaron cada fecha de siembra y las tres repeticiones de cada tratamiento. La unidad experimental consistió de una parcela de 3×1.5 m con cuatro hileras de cultivo separadas 30 cm una de otra. En el estudio se evaluaron 100 tratamientos en arreglo factorial 10×5×2: diez genotipos, cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas. Las fechas de siembra (FS) fueron: noviembre 15 y 30, diciembre 15 y 30, y enero 15. Los ciclos agrícolas fueron otoño-invierno de 2012-2013 y 2013-2014. El sitio de prueba fue el Campo Experimental Bajío (CEBAJ), Celaya, Guanajuato, México, del INIFAP. La densidad de siembra fue 100 kg ha<sup>-1</sup> excepto la variedad Esperanza con 120 kg ha<sup>-1</sup>, de acuerdo con la recomendación técnica debida a su capacidad baja de amacollamiento (Zamora, 2006). Los riegos se aplicaron al momento de la siembra y a los 45, 70 y 90 d después del primer riego. El manejo agronómico fue el recomendado por INIFAP para la región de El Bajío (Zamora *et al.*, 2010). La temperatura máxima y mínima de los ciclos de cultivo se obtuvieron de la estación meteorológica CEBAJ-INIFAP.

### Evaluación de caracteres agronómicos

Las características agronómicas evaluadas fueron: número de macollos, nudos del tallo principal y altura de la planta. Las mediciones se hicieron en diez plantas elegidas al azar, ubicadas en el centro de la parcela y dentro de las dos hileras centrales. El número de macollos se determinó 35 d después de la siembra; el de nudos en la etapa de espigamiento y altura de planta poco antes de madurez fisiológica, medida del nivel del suelo al último grano de la espiga en el tallo principal.

varieties and the seed is available commercially. The other five are experimental lines. The commercial varieties are Alina, Armida, Esperanza, Adabella and Esmeralda; the first three were released for production in El Bajío and the other two for production in the High Valleys of central Mexico (Zamora *et al.*, 2008; Solano *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010). The experimental lines are M-173, M-174, M-10542, M-176 and M-177; the first three were selected for El Bajío and the other two for the High Valleys (Zamora, 2013).

The experimental design was randomized complete blocks. To facilitate irrigation, it was divided into strips of 30 experimental plots each, which represented each sowing day and the three replications of each treatment. The experimental unit consisted of one 3×1.5 m plot with four rows of barley 30 cm apart. In this study, 100 treatments were evaluated in a 10×5×2 factorial array: ten genotypes, five sowing dates and two agricultural cycles. The sowing dates (FS) were November 15 and 30, December 15 and 30, and January 15. The agricultural cycles were autumn-winter 2012-2013 and 2013-2014. The test site was the INIFAP Bajío Experimental Station (CEBAJ), Celaya, Guanajuato, Mexico. Sowing density was 100 kg h<sup>-1</sup>, except for the variety Esperanza, which was sown at a density of 120 kg ha<sup>-1</sup>, following the technical recommendation due to its low tillering capacity (Zamora, 2006). Irrigation was applied at sowing and 45, 70 and 90 d after the first irrigation. Agronomic management was that recommended by INIFAP for the El Bajío region (Zamora *et al.*, 2010). Low and high temperatures during the agricultural cycles were obtained from the CEBAJ-INIFAP meteorological station.

### Evaluation of agronomic traits

The agronomic characteristics evaluated were number of tillers, nodes on the main stem and plant height. Measurements were taken from ten plants selected at random from the middle of the two central rows of each plot. The number of tillers was determined 35 d after sowing. Nodes were counted during the spiking stage and plant height was measured just before physiological maturity from ground level to the last grain of the spike on the main stem.

### Assessment of yield and grain physical quality

To determine grain yield, the two central rows of each plot was threshed. Once the gain was cleaned, it was weighed, recording moisture content and hectoliter and thousand-grain weight. Grain yield was expressed in t ha<sup>-1</sup> adjusted to 13 % moisture, the average of three samples. Moisture was determined with a digital moisture tester (BURROWS, model DMC750, Chicago,

### Evaluación del rendimiento y calidad física del grano

El rendimiento de grano se determinó trillando las dos hileras centrales de las parcelas, el grano limpio se pesó y se registró el contenido de humedad y los pesos hectolítrico y de mil granos. El rendimiento de grano se expresó en  $t\ ha^{-1}$  ajustado a 13 % de humedad; el contenido de humedad se registró mediante el promedio de tres muestras tomadas con un determinador de humedad digital (BURROWS, modelo DMC750, Chicago, EE.UU.). El peso hectolítrico (PHL) en  $kg\ hL^{-1}$  se obtuvo con el método de probeta, descrito en la Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003 (Secretaría de Economía, 2003). Para peso de mil granos (PMG) se contaron y pesaron ocho repeticiones de 100 granos, con los datos se calculó el promedio, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV); este procedimiento se realizó hasta que el CV fue igual o mayor a 4, el PMG se obtuvo multiplicando la media aritmética de las ocho repeticiones (ISTA, 2005).

#### Análisis estadístico

Con los datos se realizó ANDEVA, comparación de medias con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), y correlaciones con el programa SAS (2009).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características agronómicas

El número de macollos (NM) se determinó ( $p \leq 0.05$ ) por los tres factores y la interacción  $FS \times C$  (Cuadro 1). Hubo mayor NM cuando los genotipos se sembraron a finales de otoño y el amacollamiento coincidió con la ocurrencia de las temperaturas frescas en diciembre y principios de enero (Figura 1). Pero el NM disminuyó en las siembras establecidas a principio de invierno (Cuadro 2) a causa del aumento gradual de la temperatura a finales de enero y principios de febrero, que coincidieron con esa etapa de desarrollo.

El número de macollos en el ciclo agrícola 2012-2013 fue 25 % superior al del otro ciclo evaluado. A menudo, las temperaturas frescas favorecen el amacollamiento (García y García, 1995), pero también es función del uso eficiente del agua, disponibilidad de nutrientes y radiación solar (Hussain *et al.*, 2013).

El número de macollos fue superior en los genotipos cultivados en secano, y el genotipo M-177 tuvo el

USA). Hectoliter weight (PHL) in  $kg\ hL^{-1}$  was determined with the test tube method described in the Mexican norm NMX-FF-043-SCFI-2003 (Secretaría de Economía, 2003). For the weight of one thousand grains (PMG), eight replications of 100 grains were counted and weighed. With these data, average, variance, standard deviation and coefficient of variation (CV) were calculated. The procedure was repeated until the CV was equal to or greater than 4. PMG was obtained by multiplying the arithmetic mean of the eight replications (ISTA, 2005).

#### Statistical analysis

With the data, an ANOVA, comparison of means with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ), and correlations were carried out using SAS (2009) software.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Agronomic characteristics

The number of tillers (NM) was determined ( $p \leq 0.05$ ) by three factors and the interaction  $FS \times C$  (Table 1). NM was higher with the genotypes were sown at the end of autumn and tillering coincided with cool temperatures in December and early January (Figure 1). In contrast, NM decreased when sowing was at the beginning of winter (Table 2) because of the gradual increase in temperature at the end of January and early February, which coincided with that development stage.

The number of tillers in the 2012-2013 agricultural cycle was 25 % higher than in the other cycle evaluated. Often, cool temperatures favor tillering (García and García, 1995), but this is also in function of the efficient use of water, nutrient availability and solar radiation (Hussain *et al.*, 2013).

The number of tillers was higher in the genotypes developed for dryland cultivation: genotype M-177 had the highest number (Table 3). In the genotypes developed for irrigation, this characteristic was limited, manifesting the influence of genetic aptitude of each genotype (Tamm, 2003). Other factors that influenced in the number of tillers per plant were sowing date and cultivar (García and García, 1995).

The number of nodes (NN) was significant ( $p \leq 0.05$ ) due to the factors FS and G (genotype), and the interaction  $FS \times G$  (Table 1). Genotypes sown on FS3 had the highest NN, 8 % higher than

**Cuadro 1. Probabilidad estadística de la prueba de F del análisis de varianza para características agronómicas, calidad física de grano y rendimiento de grano de diez genotipos de cebada evaluados en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas en El Bajío, México.**

**Table 1. F test statistical probability of the analysis of variance for agronomic characteristics, grain physical quality and grain yield of ten barley genotypes sown on five sowing dates of two agricultural cycles in El Bajío, Mexico.**

FV	GL	NM	NN	AP	PHL	PMG	REN
FS	4	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
C	1	<.0001*	0.621NS	0.574NS	<.0001*	<.0001*	<.0001*
G	9	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
FS×C	4	<.0001*	0.509NS	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
FS×G	36	0.667NS	<.0001*	0.078NS	0.0053*	0.121NS	<.0001*
C×G	9	0.519NS	0.880NS	0.505NS	0.0061*	0.0652NS	0.0677NS
FS×C×G	36	0.971NS	0.990NS	0.727NS	0.0802NS	0.1115NS	0.0895NS
CV (%)		11.70	2.03	4.71	1.84	3.31	11.14

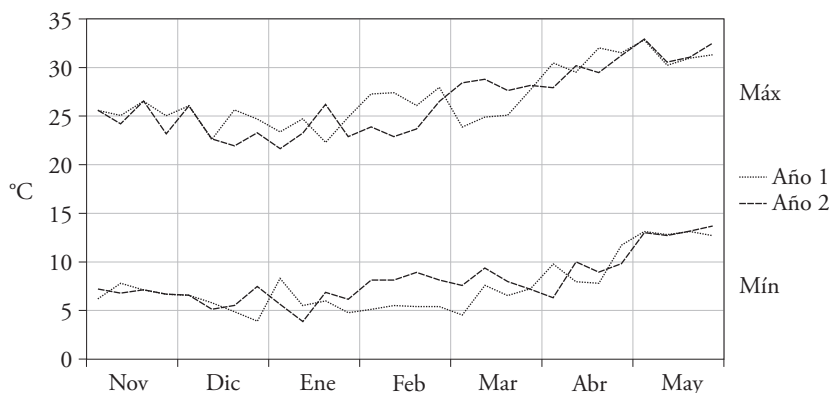
\*Significativo ( $p \leq 0.05$ ); NS: no significativo ( $p > 0.05$ ); FV: factor de variación; CV: coeficiente de variación; GL: grados de libertad; FS: fecha de siembra; C: ciclo; G: genotipos; NM: número de macollos; NN: Número de nudos; AP: altura de planta; PHL: peso hectolítrico; PMG: peso de mil granos; REN: rendimiento de grano ❖ \*Significant ( $p \leq 0.05$ ); NS: not significant ( $p > 0.05$ ); FV: factor of variation; CV: coefficient of variation; GL: degrees of freedom; FS: sowing date; C: cycle; G: genotype; NM: number of tillers; NN: number of nodes; AP: plant height; PHL: hectoliter weight; PMG: thousand-grain weight; REN: grain yield.

valor mayor (Cuadro 3). En los genotipos desarrollados en condiciones de riego, esta característica estuvo limitada, lo que manifestó la influencia de la aptitud genética de cada genotipo (Tamm, 2003). Otros factores que influyen en el número de macollos por planta son la fecha de siembra y el cultivar (García y García, 1995).

El número de nudos (NN) fue significativo ( $p \leq 0.05$ ) por los factores FS y G, y por la interacción FS×G (Cuadro 1). En la FS3 se registró el máximo NN 8 % superior al de la FS5 en la que se registró el mínimo (Cuadro 2). Los genotipos Adabella y M-176

that of genotypes sown on FS5, which had the lowest NN (Table 2). The genotypes Adabella and M-176 had the highest NN (Table 3). Generally, NN is in function of the cultivar. Each node is a meristematic zone from which leaves differentiate. In turn, leaves contribute to the accumulation of biomass and therefore to yield. Besides influence from genetic factors, NN also depends on agrometeorological factors (López, 1991).

Plant height (AP) was significant ( $p \leq 0.05$ ) by effect of the factors FS and G, and of the interaction FS×C (agricultural cycle) (Table 1). Plants sown at



**Figura 1. Temperaturas máximas y mínimas en Celaya, Guanajuato, México, durante los ciclos agrícolas 2012-2013 (Año 1) y 2013-2014 (Año 2).**

**Figure 1. High and low temperatures in Celaya, Guanajuato, Mexico, during the agricultural cycles 2012-2013 (year 1) and 2013-2014 (year 2).**

**Cuadro 2. Características agronómicas y de calidad física de grano de diez genotipos de cebada evaluados en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas en El Bajío, México.**

**Table 2. Agronomic characteristics and grain physical quality of ten barley genotypes sown on five sowing dates in two agricultural cycles in El Bajío, Mexico.**

Factor de variación		Variable				
		NM	NN	AP (cm)	PHL (kg hL <sup>-1</sup> )	PMG (g)
FS	15 de noviembre	2.80 bc <sup>†</sup>	5.02 c	84.75 c	65.00 ab	45.19 a
	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
	DMSH <sub>(0.05)</sub>	0.25	0.07	2.74	0.86	1.00
C	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
	DMSH <sub>(0.05)</sub>	0.11	0.03	1.26	0.38	0.45

<sup>†</sup>Medias en una columna y factor de variación con letras diferentes, son estadísticamente diferentes (Tukey; p≤0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; FS: fechas de siembra; C: ciclo; NM: número de macollos; NN: número de nudos; AP: altura de planta; PHL: peso hectolítrico; PMG: peso de mil granos. FS representa el promedio de G en ambos C. C representa el promedio de FS y G en cada C. ♦ <sup>†</sup>Means in a column and variation factor with different letters, are statistically different (Tukey; p≤0.05). DMSH: least honest significant difference; FS: sowing date; C: cycle; NM: number of tillers; NN: number of nodes; AP: plant height; PHL: hectoliter weight; PMG: thousand-grain weight. FS represents the average for G in both C. C represents the average of FS and C in each C.

**Cuadro 3. Características agronómicas y de calidad física de grano de diez genotipos de cebada cultivados en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas en El Bajío, México.**

**Table 3. Agronomic characteristics and grain physical quality of ten genotypes sown on five sowing dates in two agricultural cycles in El Bajío, Mexico.**

Factor de variación		Variable				
		NM	NN	AP (cm)	PHL (kg hL <sup>-1</sup> )	PMG (g)
G	Adabella	3.26 abc <sup>†</sup>	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
	DMSH <sub>(0.05)</sub>	0.44	0.13	4.95	1.51	1.76

<sup>†</sup>Medias en una columna y factor de variación con letras diferentes, son estadísticamente diferentes (Tukey; p≤0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; G: genotipos; NM: número de macollos; NN: número de nudos; AP: altura de planta; PHL: peso hectolítrico; PMG: peso de mil granos. G representa el promedio de cada G en FS y C. ♦ <sup>†</sup>Means in a column and variation factor with different letters, are statistically different (Tukey; p≤0.05). DMSH: least honest significant difference; G: genotype; NM: number of tillers; NN: number of nodes; AP: plant height; PHL: hectoliter weight; PMG: thousand-grain weight. G represents the average of each G in FS and C.

tuvieron el mayor NN (Cuadro 3). Generalmente, el NN está en función del cultivar. 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 lo tanto, también al rendimiento; el NN aparte de estar influenciado por factores genéticos, también depende de factores agrometeorológicos (López, 1991).

La altura de planta (AP) fue significativa ( $p \leq 0.05$ ) por los factores FS y G, y por la interacción FS×C (Cuadro 1). En las siembras establecidas a inicios de invierno se obtuvieron los valores menores (<80 cm) de AP (Cuadro 2). Los genotipos generados para condiciones de temporal presentaron AP mayor que los genotipos para riego, con excepción de Alina (Cuadro 3). Genéticamente los genotipos generados para condiciones de secano tienden a presentar alturas menores cuando se siembran en esas condiciones y al disminuir la altura de planta se dificulta su cosecha. En los genotipos desarrollados para condiciones de riego se busca un porte de planta relativamente bajo, para evitar el acame de las plantas por vientos al momento del riego. La AP es un carácter morfológico que está determinado por el cultivar (Alam *et al.*, 2007) y frecuentemente está influenciada por las condiciones ambientales (Tamm, 2003).

### Rendimiento y calidad física del grano

Las temperaturas bajas en el ciclo agrícola 2012-2013 afectaron el rendimiento y la calidad física de grano. El descenso de la temperatura a 0.4, -0.5 y 0.8 °C sucedió el 3, 4 y 5 de marzo. Este fenómeno ocurrió 109 d después de la siembra (DDS) de FS1 y aparentemente no perjudicó el desarrollo del grano; 94 DDS de FS2, y sí se afectó la calidad física del grano (granos delgados); 79 DDS de FS3 y se caracterizó porque los granos no se desarrollaron, posiblemente porque la mayoría de ellas se encontraban en estado acuoso; en FS4 ocurrió a los 64 DDS y el desarrollo del cultivo se encontraba entre las etapas de embuche y espigamiento, y se caracterizó por daño en el follaje y ausencia de granos en las espigas de los genotipos más precoces (M-173, Armida y Alina). En FS5 fue a los 48 DDS, cuando la mayoría de los genotipos se encontraban en la etapa de embuche, y solo se observó daño en el follaje.

El peso hectolítrico (PHL) fue determinado ( $p \leq 0.05$ ) por los tres factores y las interacciones

the beginning of winter had lower AP values (<80) (Table 2). The genotypes developed for dryland farming had higher AP than those developed for irrigated conditions, with the exception of Alina (Table 3). Genetically, low stature is desirable in genotypes generated for irrigated farming to prevent winds from lodging the plants during irrigation. AP is a morphological trait determined by the cultivar (Alam *et al.*, 2007) and is often affected by environmental conditions (Tamm, 2003).

### Grain yield and physical quality

Low temperatures during the 2012-2013 agricultural cycle affected yield and physical quality of the grain. Temperatures fell to 0.4, -0.5 and 0.8 °C on March 3, 4, and 5. The low temperatures 109 days after FS1 did not apparently harm grain development. However, 94 d after FS2, they affected grain physical quality (thin grains), and 79 d after FS3, because of the cold temperatures, seeds did not develop possibly because most of them were in an aqueous stage. With FS4, the low temperatures occurred 64 das when the crop was between the boot stage and spiking; there was damage to the foliage, and seeds were absent in the spikes of the earliest genotypes (M-173, Armida and Alina). With FS5, the low temperatures occurred 48 das when most of the genotypes were in the boot stage, and damage was observed only in the foliage.

Hectoliter weight (PHL) was determined ( $p \leq 0.05$ ) by three factors and the interactions FS×C and FS×G (Table 1). With FS3, PHL was 7 % higher than that of FS5, which had the lowest PHL value (Table 2). This was likely the consequence of the stress caused by temperature increases in April and May (Figure 1), which coincided with grain filling and reduction of the biological cycle of the crop. The 2013-2014 agricultural cycle produced a higher PHL than the other cycle (Table 2) because of the low temperatures during sowing in the autumn of 2012, when PHL decreased. This showed the effect of climatic variations between the two years. Alina had the highest PHL, 5 % above the genotypes Adabella, Esperanza and M-173 (Table 3); the differences between genotypes were significant. Industrial quality and grain yield of barley is better with high PHL (López *et al.*, 2005). Generally, grain weight is determined by the duration of the grain

FS×C y FS×G (Cuadro 1). En FS3 el PHL fue 7 % superior al de FS5, que presentó el valor menor de PHL (Cuadro 2), probablemente como consecuencia del estrés ocasionado por el aumento de temperatura en abril y mayo (Figura 1), lo que coincidió con el llenado de grano y reducción del ciclo biológico del cultivo. En el ciclo agrícola 2013-2014 hubo mayor PHL que en el otro ciclo (Cuadro 2) por la presencia de temperaturas bajas en las siembras establecidas en otoño de 2012, en ellas el PHL disminuyó. Esto mostró el efecto de las variaciones climáticas entre años de cultivo. Alina presentó el mayor PHL, 5 % superior a los genotipos Adabella, Esperanza y M-173 con los menores valores de PHL (Cuadro 3). Las diferencias fueron significativas entre los genotipos. La calidad industrial y el rendimiento del grano de cebada es mayor cuando el PHL es alto (López *et al.*, 2005). Generalmente el peso del grano está determinado por la duración de la etapa de llenado (García del Moral *et al.*, 2003), pero las temperaturas altas durante esta etapa lo reducen (Alam *et al.*, 2007).

El peso de mil granos (PMG) fue significativo ( $p \leq 0.05$ ) por los tres factores y las interacciones FS×C, FS×G y FS×C×G también (Cuadro 1). Las siembras establecidas en otoño permitieron obtener granos con peso mayor; FS1 mostró PMG mayor y fue superior en 9 y 19 % respecto a FS4 y FS5 con los valores menores. El PMG de Armida y Alina fue 10 % superior al de Adabella y M-173 que fueron los menores. En el ciclo agrícola 2013-2014 el PMG fue 4 % mayor al otro ciclo de evaluación (Cuadro 2), como consecuencia de las variaciones climáticas entre ambos años de estudio. Generalmente el cultivar influye sobre el peso de mil granos (Soleymani y Shahrajabian, 2012). La calidad física del grano es mayor cuando el cultivo se desarrolla en ambientes con temperaturas frescas, debido a que el tiempo para la acumulación de materia seca es mayor y la humedad en el suelo puede ser mayor, porque la evapotranspiración se reduce (Copeland y McDonald, 1995). Pero, cuando el cultivo se desarrolla en ambientes con temperaturas altas, PMG suele ser menor debido a que disminuye el peso individual del grano (Hossain *et al.*, 2012). Otros factores que influyen en el peso del grano son la calidad de luz interceptada y posición del grano en la espiga (Copeland y McDonald, 1995).

El rendimiento de grano (REN) fue determinado ( $p \leq 0.05$ ) por los tres factores y las interacciones

filling stage (García del Moral *et al.*, 2003), but it decreases with high temperatures during this stage. (Alam *et al.*, 2007).

Thousand-grain weight (PMG) was also significant ( $p \leq 0.05$ ) by effect of the three factors and the interactions FS×C, FS×G and FS×C×G (Table 1). Sowing in autumn obtained heavier grains; FS1 had the highest PMG, which was 9 and 19 % higher than FS4 and FS5, which had the lowest values. The PMG of Armida and Alina was 10 % higher than Adabella and M-173, which were the lowest. In the 2013-2014 agricultural cycle, PMG was 4 % higher than the other cycle evaluated (Table 2) because of the climatic variations between the two years studied. Generally, cultivar influences thousand-grain weight (Soleymani and Shahrajabian, 2012). Grain physical quality is better when the crop develops in cool temperature environments because the time of dry matter accumulation is longer and there can be more soil moisture since evapotranspiration decreases (Copeland and McDonald, 1995). In contrast, when the crop develops in high temperatures, PMG is usually lower since the weight of individual grains decreases (Hossain *et al.*, 2012). Other factors that influence grain weight are the quality of intercepted light and the position of the grain on the spike (Copeland and McDonald, 1995).

Grain yield (REN) was determined ( $p \leq 0.05$ ) by the three factors and the interactions (FS×C and FS×G (Table 1). In general, establishing the crop at the end of autumn allowed greater expression of REN. Nevertheless, REN of barley sown on FS3 in the 2012-2013 agricultural cycle decreased 35 %, relative to the value found in 2013-2014 (Table 4), due to the low temperatures in 2012-2013. REN of the crops sown at the beginning of winter decreased in both cycles evaluated. With the exception of FS5, in the 2013-2014 agricultural cycle, REN was higher than in the other evaluated cycle (Table 5). This is related to cold injury from low temperatures in March 2013. In both agricultural cycles the lowest REN was obtained with FS5 (Table 4) because the increase in temperature reduced the number of days to physiological maturity and, therefore, there was less time to accumulate reserves in the grain.

The results of this study coincide with those of Solís *et al.* (2004), who evaluated wheat cultivars in El Bajío. They found no differences in grain yield when sowing was between November 15 and December



FS×C y FS×G (Cuadro 1). En general, las siembras establecidas a finales de otoño permitieron expresión mayor de REN; no obstante, en FS3, del ciclo agrícola 2012-2013, se observó disminución de 35 % de REN en comparación al valor de 2013-2014 (Cuadro 4), debido a la presencia de temperaturas bajas. El REN disminuyó en las siembras establecidas a inicios de invierno en ambos ciclos de evaluación. Con excepción de FS5, en el ciclo agrícola 2013-2014 hubo mayor REN en comparación al otro ciclo de evaluación (Cuadro 5), lo cual se relaciona con el daño de las temperaturas bajas en marzo de 2013. En ambos ciclos agrícolas el menor REN se obtuvo en FS5 (Cuadro 4) porque el aumento de la temperatura redujo el número de días para la madurez fisiológica y por lo tanto hubo menor tiempo para la acumulación de reservas en el grano.

Los resultados de este estudio coinciden con los de Solís *et al.* (2004), quienes evaluando cultivares de trigo en El Bajío, y no encontraron diferencias en el rendimiento de grano cuando la siembra se hizo entre el 15 de noviembre y 15 de diciembre; pero, en la siembra del 15 de enero hubo rendimiento menor de grano, debido a la disminución del número de granos por espiga y menor tamaño del grano.

En cereales de grano pequeño para una expresión buena del rendimiento de grano se recomienda que los cultivares se desarrollen en temperaturas relativamente frescas (García del Moral *et al.*, 2003); por tal motivo, cuando las siembras se establecen en periodos no recomendados suele disminuir el rendimiento de grano (Aslani y Mehrvar, 2012).

Mendoza *et al.* (2011) mencionan que el rendimiento de grano es afectado en gran medida por la fecha de siembra, principalmente por efecto de la variación de temperaturas. La siembra de trigo a finales de otoño en El Bajío permite obtener rendimiento mayor de grano, mientras que las siembras realizadas a inicios de invierno exponen al cultivo a temperaturas altas durante la etapa reproductiva, con lo que se acorta el periodo de llenado de grano y consecuentemente el rendimiento (Suaste-Franco *et al.*, 2013).

Las variedades Alina y Armida tuvieron los rendimientos más sobresalientes (Cuadro 5), atribuidos a que son variedades liberadas recientemente y desarrolladas para la región de estudio (Solano *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010). Existen recomendaciones de cultivares que son adecuados para el área de

15. However, when sowing was on January 15, grain yield was lower because the number of grains per spike decreased and the grains were smaller.

For small-grained cereals to have good expression of grain yield, the cultivars should be grown in relatively cool temperatures (García del Moral *et al.*, 2003). For this reason, when crops are established in periods that are not recommended, grain yield often decreases (Aslani and Mehrvar, 2012).

Mendoza *et al.* (2011) mention that grain yield is affected largely by sowing date, mainly because of the effect of temperature variation. Sowing wheat at the end of autumn in El Bajío permits higher grain yield, while sowing at the beginning of winter exposes the crop to high temperatures during the reproductive stage and thus shortens the period of grain formation leading to lower yields (Suaste-Franco *et al.*, 2013).

The varieties Alina and Armida had the most outstanding yields (Table 5). These are varieties developed for the study region and recently released (Solano *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010). There are cultivars recommended as suitable for the study area, but it is important to be familiar with the performance of genotypes developed for dryland farming since barley seed is produced in El Bajío.

**Cuadro 4. Rendimiento de grano de genotipos de cebada evaluados en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas en El Bajío, México.**

**Table 4. Grain yield of barley genotypes sown on five sowing days in two agricultural cycles in El Bajío, Mexico.**

Factor de variación		REN (t ha <sup>-1</sup> )
FS	15 de noviembre	6.17 a <sup>†</sup>
	30 de noviembre	6.35 a
	15 de diciembre	4.70 b
	30 de diciembre	4.42 b
	15 de enero	3.13 c
	DMSH <sub>(0.05)</sub>	0.42
Ciclo	2012-2013	4.39 b
	2013-2014	5.56 a
	DMSH <sub>(0.05)</sub>	0.28

<sup>†</sup>Medias en una columna y factor de variación con letras diferentes, son estadísticamente diferentes (Tukey; p≤0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; FS: fecha de siembra ❖

<sup>†</sup>Means in a column and variation factor with different letters, are statistically different (Tukey; p≤0.05). DMSH: least honest significant difference; FS: sowing date.

**Cuadro 5. Rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>) de diez genotipos de cebada, cultivados en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas en El Bajío, México.**  
**Table 5. Grain yield (t ha<sup>-1</sup>) of ten barley genotypes, sown on five sowing dates in two agricultural cycles in El Bajío, Mexico.**

Ciclo	Adabella	Alina	Armida	Esmeralda	Esperanza	M-173	M-174	M-176	M-177	M-10542	$\bar{X}$
2012-2013	nov-15	5.40 a <sup>†</sup>	8.63 ab	7.05 b	6.49 ab	7.90 a	7.42 a	5.27 a	6.84 ab	7.52 ab	6.85
	nov-30	5.94 a	9.71 a	10.31 a	7.33 a	7.90 a	7.46 a	5.36 a	7.23 a	8.88 a	7.72
	dic-15	3.13 b	8.01 abc	7.24 b	4.32 bc	5.53 b	4.99 b	1.47 c	3.53 b	6.25 bc	4.84
	dic-30	3.43 b	5.91 bc	6.75 b	3.87 c	5.72 b	5.75 b	2.93 b	3.92 ab	7.09 abc	4.95
	ene-15	2.96 b	5.12 c	5.80 b	4.26 c	4.43 b	4.61 b	3.50 b	5.01 ab	5.18 c	4.53
	DSH <sub>(0.05)</sub>	1.50	3.01	1.6	2.18	1.33	1.5	1.38	3.33	1.98	
	$\bar{X}$	4.17	7.48	7.43	5.25	6.30	6.05	3.71	5.31	6.98	
2013-2014	nov-15	8.29 a	12.44 a	9.97 ab	8.68 a	11.80 a	10.36 a	8.33 a	10.74 a	11.72 a	9.89
	nov-30	8.17 a	11.79 a	12.25 a	9.24 a	11.36 a	9.54 ab	7.37 ab	10.04 a	10.65 ab	9.82
	dic-15	6.16 b	9.43 ab	9.14 b	6.14 b	7.70 b	7.45 b	5.42 abc	6.29 b	9.43 ab	7.55
	dic-30	5.82 b	6.95 bc	7.93 b	5.84 b	7.26 b	7.70 b	4.66 bc	5.28 bc	8.07 b	6.61
	ene-15	1.51	4.19 c	3.22 c	2.38 c	2.09 c	2.74 b	3.68 c	3.09 c	2.50 c	2.82
	DSH <sub>(0.05)</sub>	1.82	3.23	2.88	2.42	2.21	1.66	3.32	2.94	3.21	
	$\bar{X}$	5.99	8.96	8.50	6.46	8.04	7.56	5.89	7.09	8.47	

<sup>†</sup>Medias en una columna y factor de variación con letras diferentes, son estadísticamente diferentes (Tukey; p≤0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta;  $\bar{X}$ : media; FS: fecha de siembra ❖ <sup>‡</sup>Means in a column and variation factor with different letters, are statistically different (Tukey; p≤0.05). DMSH: least honest significant difference;  $\bar{X}$ : mean; FS: sowing date.

estudio, pero es conveniente conocer el comportamiento de los genotipos desarrollados para secano, pues la producción de semillas de cebada se efectúa en El Bajío.

En ambos ciclos de estudio, los genotipos mostraron mayor REN en FS1 y FS2, y algunos genotipos como Alina y Armida también lo hicieron en FS3; pero, al sembrarse en FS4 y FS5 el REN disminuyó considerablemente. Esta variación se debe a que los genotipos generalmente muestran adaptaciones específicas a determinadas condiciones ambientales (Bolandi *et al.*, 2012). Los genotipos seleccionados para condiciones de riego tuvieron rendimiento mayor que los genotipos seleccionados para secano, y gran variación en su comportamiento entre las fechas de siembra y los ciclos agrícolas (Cuadro 5). Resultados similares fueron reportados por Saad *et al.* (2013) con cultivares de cebada en ambientes diversos.

Las correlaciones mostraron que al aumentar NM, PHL y PMG, el REN también aumenta (Cuadro 6). Hossain *et al.* (2012) encontraron resultados similares. También REN fue superior al incrementar NN y AP, lo que se atribuye a que REN se asocia con la acumulación de materia seca en las plantas, ya que existe disponibilidad mayor de asimilados para el llenado de grano (López-Castañeda, 2011). En este estudio, la expresión del potencial de rendimiento de grano estuvo influenciada por las condiciones ambientales. En ambos ciclos de evaluación los genotipos expresaron mayor NM, NN, AP, PHL, PMG

In both agricultural cycles, the genotypes produced higher REN when sown on FS1 and FS2, and some genotypes, such as Alina and Armida also did so on FS3. However, when sown on FS4 and FS5, REN decreased considerably. This variation is generally due to the genotypes' adaptations that are specific to given environmental conditions Bolandi *et al.*, 2012). The genotypes selected for production with irrigation had higher yields than the genotypes selected for dryland and varied more in their behavior among sowing dates and growing cycles (Table 5). Similar results were reported by Saad *et al.* (2013) with barley cultivars in different environments.

The correlations showed that when NM, PHL and PMG increased, REN also increased (Table 6). Hossain *et al.* (2012) found similar results. Moreover, REN was higher when NN and AP increased; this is attributed to the association of REN with plant dry matter accumulation since there is higher availability of assimilates for grain formation (López-Castañeda, 2011). In this study, expression of potential grain yield was influenced by environmental conditions. In both growing cycles evaluated the genotypes expressed higher NM, NN, AP, PHL, PMG and REN when sown on FS1, FS2 and FS3, but when sown on FS4 and FS5, these values decreased. Sowing on optimum or suitable sowing dates contributes to obtaining higher REN (Aslani and Mehrvar, 2012). However, REN decreases principally when sowing occurs in periods that coincide with high temperatures during grain filling (Soleymani and Shahrajabian, 2012).

**Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de correlación para características agronómicas, rendimiento y calidad física de grano de diez genotipos de cebada evaluados en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas en El Bajío, México.**

**Table 6. Mean squares of the correlation analysis for agronomic characteristics, yield and grain physical quality of ten barley genotypes sown on five sowing dates in two agricultural cycles in El Bajío, Mexico.**

Factores de variación	NM	NN	AP	PHL	PMS	REN
NM	1	0.2446*	0.3128*	0.2062*	-0.0355 NS	0.1695*
NN		1	0.4736*	0.1094 NS	-0.1324 NS	0.1574*
AP			1	0.5391*	0.5891*	0.3649*
PHL				1	0.6970*	0.3890*
PMS					1	0.6037*
REN						1

\*Significativo ( $p \leq 0.05$ ); NS: no significativo ( $p > 0.05$ ); NM: número de macollos; NN: número de nudos; AP: altura de planta; PHL: peso hectolítrico; PMG: peso de mil granos; REN: rendimiento de grano ❖ \*Significant ( $p \leq 0.05$ ); NS: not significant ( $p > 0.05$ ); NM: number of tillers; NN: number of nodes; AP: plant height; PHL: hectoliter weight; PMG: thousand-grain weight; REN; grain yield.

y REN en las FS1, FS2 y FS3, pero en FS4 y FS5 su valor disminuyó. Establecer las siembras en fechas óptimas o adecuadas contribuye a obtener REN mayores (Aslani y Mehrvar, 2012). Sin embargo, el REN disminuye cuando las siembras se establecen en periodos que coinciden principalmente con temperaturas altas durante el llenado de grano (Soleymani y Shahrajabian, 2012).

### CONCLUSIONES

Los genotipos expresaron mayor NM, NN, AP, PHL, PMG y REN en las siembras establecidas a finales de otoño, pero las establecidas a inicios de invierno tuvieron valores bajos. Las variedades Alina y Armida tuvieron rendimiento y calidad física de grano mayores. Las condiciones ambientales del sitio de desarrollo del cultivo de cebada influyeron en el comportamiento de caracteres agronómicos, rendimiento y de calidad física del grano.

### AGRADECIMIENTOS

Se hace un especial agradecimiento al personal del Programa Nacional de Cebada (INIFAP), así como al personal del Laboratorio de Análisis de Semillas (Colegio de Postgraduados) por proporcionar el material y recursos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

### 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. *J. Biol. Sci.* 15: 139-145.
- Aslani, F., and M. R. Mehrvar. 2012. Responses of wheat genotypes as affected by different sowing dates. *Asian J. Agric. Sci.* 4: 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. *Ann Biol. Res.* 3: 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. 393 p.
- Friedt, W., R. D. Horsley, B. L. Harvey, D. M. Poulsen, R. Lance, S. Ceccarelli, and F. Carpettini. 2011. Barley breeding, history, progress, objectives and technology. *In: Barley: production, improvement and uses.* Ullrich S. E. (ed.). Blackwell Publishing Ltd. pp: 160-220.
- García, M. B., and L. F. García. 1995. Tiller production and survival in relation to grain yield in winter and spring barley. *Field Crops Res.* 44: 85-93.
- García del Moral, L. F., Y. Rharrabti, D. Villegas, and C. Royo. 2003. Evaluation of grain yield and its components

### CONCLUSIONS

The genotypes expressed higher number of tillers, number of nodes, plant height, hectoliter weight, thousand-grain weight and grain yield when sown at the end of autumn, while those sown at the beginning of winter had lower values. The varieties Alina and Armida had the highest yield and the best physical quality. The environmental conditions of the site where the barley crop developed influenced the expression of agronomic traits, yield and grain physical quality.

—End of the english version—



- in Durum wheat under Mediterranean conditions: An ontogenic approach. *Agron. J.* 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 Breed. Crop Sci.* 4: 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. *Arch. Agron. Soil Sci.* 59: 1457-1470.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2005. International Rules for Seed Testing. Rules. ISTA Editions. Zurich, Switzerland. 243 p.
- Lobell, D., Cassman, K., Field, C., 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes and Causes. *Ann. Rev. Environ. Resour.* 34: 179-204.
- López-Castañeda, C. 2011. Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 14: 907-918.
- 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): 247-253.
- López B., L. 1991. Cultivos herbáceos. *Cereales.* Vol. 1, Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 539 p.
- Mendoza M., Cortez E., Rivera J. G., Rangel J. A., Andrio E., y F. Cervantes. 2011. Época y densidad de siembra en la producción y calidad de semilla de triticale (X *Triticum secale* Wittmack). *Agron. Mesoamericana* 22: 309-316.
- 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. *Can. J. Plant Sci.* 92: 321-330.

- 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: 30-39.
- SAS. 2009. Statistical Analysis System release 9.1 for windows. Cary, North Carolina, United States. SAS institute, Inc.
- SIAP. SAGARPA. 2014. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx>, consultado el 20 de agosto de 2015.
- Secretaría de Economía. 2003. Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereal-cebada maltera (*Hordeum vulgare* L. y *Hordeum distichum* L.). Especificaciones y métodos de prueba. 31 p.
- Solano H., S., M. Zamora D., F. P. Gámez V., J. J. García R., R. Sánchez C., J. Ireta M., F. Díaz E., y R. Garza G. 2009. Alina, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Agricultura Técnica en México* 35: 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. *J. Food Agric. Environ.* 10: 596-598.
- 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: 323-332.
- Steffen C., y F. Echánove. 2005. 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. 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. *Agron. Res.* 1: 99-103.
- Zamora D., M. 2006. Informe Anual: Programa de Cebada Maltera, INIFAP, Celaya, Guanajuato, México. 46 p.
- Zamora D., M., S. Solano H., R. Gómez M., I. Rojas M., J. Ireta M., R. Garza G., y C. Ortiz T. 2008. Adabella: variedad de cebada maltera para valles altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México* 34: 491-493.
- Zamora D., M., S. Solano H., R. Garza G., J. Islas G., R. Huerta Z., y M. López C. 2010. Armida, nueva variedad de cebada maltera para riego en El Bajío. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 723-726.
- Zamora D., M. 2013. Programa Nacional de Cebada (entrevista). Edo. de México, Méx. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.