

## Evaluación agronómica y física en líneas avanzadas de cebada maltera\*

### Agronomic and physical evaluation in advanced lines of malting barley

Miguel González González<sup>1§</sup>, Mauro Zamora Díaz<sup>1</sup> y Salomón Solano Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Valle de México- INIFAP. Carretera los Reyes- Texcoco, km 13.5. C. P. 56250. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. Tel: 01 59592 12657. Ext. 200. (zamora.mauro@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>CEBAJ- INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km 6.5. C. P. 30110. Celaya, Guanajuato. (solano.salomon@inifap.gob.mx). §Autor de correspondencia: gonzález.miguel@inifap.gob.mx.

#### Resumen

La cebada es uno de los cultivos que ofrece una mejor alternativa de producción en las áreas de temporal de los Valles Altos en México. Su ciclo de cultivo corto, le permite producir cuando no es posible lograrlo con especies como maíz y trigo. Este cereal puede ser utilizado con varios propósitos; para la alimentación humana, como forraje para alimentación animal y como malta en la industria cervecera. En México, su cultivo se realiza básicamente para la producción de grano con calidad para malta, utilizando para ello variedades de seis hileras de grano en la espiga. Para que un genotipo de cebada pueda ser considerada una variedad maltera, debe satisfacer diversos parámetros de calidad; por ello, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias realiza investigaciones para generar genotipos que satisfagan estos parámetros de calidad, que sean tolerantes a enfermedades y con excelente rendimiento. Con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico y de calidad en líneas avanzadas de cebada maltera, fueron establecidos durante los ciclos agrícolas 2012 y 2013, 16 genotipos de cebada maltera bajo un diseño Láctice 4 x 4 con cuatro repeticiones en cinco ambientes de temporal. Los resultados obtenidos permitieron identificar líneas de cebada con potencial para maltería. Las líneas M176,

#### Abstract

Barley is one of the crops that offers a better production alternative in seasonal areas of the high valleys of Mexico. Its short cultivation cycle allows it to produce when it is not possible to do so in species such as maize and wheat. This grain can be used for various purposes: as human consumption, as animal fodder, and as malt in the brewing industry. In Mexico, barley is carried out principally for the production of grain with malt quality, using a six-row barley variety. So that a barley genotype can be considered a malting variety, it must fulfill various quality parameters. The Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias carries out investigations in order to generate genotypes that satisfy the quality parameters, are tolerant to diseases and have an excellent yield. With the objective of evaluating the agronomic behavior and quality in advanced lines of malting barley, 16 malting barley genotypes were established during the 2012 and 2013 agricultural cycles, under a 4 x 4 lattice design with four repetitions in five seasonal environments. The obtained results allowed for the identification of barley lines with malting potential. The lines M176, M177, M178, and M184 had a superior behavior for the evaluated localities and cycles with a yield of 3.8, 3.5, 3.9, and 4.0 t ha<sup>-1</sup>, respectively.

\* Recibido: septiembre de 2015  
Aceptado: enero de 2016

M177, M178 y M184, tuvieron un comportamiento superior para las localidades y ciclos evaluados con rendimiento de 3.8, 3.5, 3.9 y 4.0 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Palabras clave:** *Hordeum vulgare* L., calidad maltera, peso hectolítrico, rendimiento.

## Introducción

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) ocupa el cuarto lugar en importancia en el mundo después del trigo (215 mill. de ha), arroz (155 mill. de ha) y maíz (139 mill. de ha) (Langridge and Barr, 2003). Según la FAO (2013) se sembraron más de 49 millones de hectáreas con un rendimiento medio de 2.9 t ha<sup>-1</sup>. Por su gran adaptación, inclusive a situaciones y ecosistemas extremos, es un cultivo ampliamente distribuido por todo el planeta (Poehlman, 1985); alrededor de 89 países producen este cereal, desde regiones subtropicales (África, Brasil), hasta zonas frías (Noruega, Alaska). No obstante su amplia distribución, su producción se concentra de manera importante en la Unión Europea ocupando el primer lugar como productor de cebada con el 46.1%; en conjunto con Rusia, Canadá, Australia y Ucrania representan el 73% de la producción mundial de cebada.

Por países, el 50% de la producción mundial se concentra en China, Estados Unidos de América, Alemania y Brasil con 18.5%, 17.7%, 8% y 5% respectivamente. De la producción total, se estima que un 25% se destina a la producción de malta, materia prima para la elaboración de cerveza y el 75% para la alimentación animal. Aunque tiene gran potencial por su contenido de beta-glucanos, su utilización en la alimentación humana es limitado (Newton *et al.*, 2011).

De acuerdo con el SIAP, en México durante el ciclo agrícola 2013, fueron sembrados 355 782 ha de cebada; de las cuales, 320 946 ha correspondieron a cebada maltera, 33 491 ha a cebada forrajera y 1 345 ha destinadas para producción de semilla. De la superficie sembrada con cebada maltera, fueron cosechados 296 912 ha obteniéndose 594 437 t y un rendimiento medio de 2 t ha<sup>-1</sup>. Los principales estados productores en la región del Bajío son Guanajuato, Querétaro, Michoacán y Jalisco, mientras que en la región del Altiplano, la producción se concentra en los estados de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Estado de México, siendo esta región donde se siembra el 75% de la superficie, bajo condiciones de temporal en el verano.

**Keywords:** *Hordeum vulgare* L., hectoliter weight, malting quality, yield.

## Introduction

Barley (*Hordeum vulgare* L.) takes fourth place in worldwide importance behind wheat (215 million ha), rice (155 million ha), and maize (139 million ha) (Langridge and Barr, 2003). According to the FAO (2013), more than 49 million hectares were planted with an average yield of 2.9 t ha<sup>-1</sup>. Due to its great adaptability even in extreme situations and ecosystems, barley is a widely distributed crop worldwide (Poehlman, 1985); around 89 countries produce this grain, from subtropical regions (Africa, Brazil) to cold regions (Norway, Alaska). Regardless of its wide distribution, its production is significantly centered in the European Union, being the top barley producer with 46.1%; Russia, Canada, Australia, and the Ukraine represent 73% of the global barley production.

Per country, 50% of the global production is centered in China, the United States, Germany, and Brazil with 18.5%, 17.7%, 8%, and 5%, respectively. Of the total production, it is estimated that 25% is destined for the production of malt, raw material for the elaboration of beer, and 75% is used as animal fodder. Although it has great potential due to its beta-glucans contents, its use for human consumption is limited (Newton *et al.*, 2011).

According to the SIAP in Mexico during the 2013 agricultural cycle, 355 782 ha of barley were planted, of which 320 946 ha corresponded to malting barley, 33 491 ha to fodder barley, and 1 345 ha for the production of seeds. Of the surface area planted with malting barley, 296,912 ha were harvested obtaining 594 437 t and an average yield of 2 t ha<sup>-1</sup>. The main producing states in the Bajío region are Guanajuato, Querétaro, Michoacán, and Jalisco, whereas in the Altiplano region, the production is centered in the states of Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, and Estado de México, with the latter region being where 75% of the surface area is planted under seasonal conditions in the summer.

The distinction between malting and fodder barley is mainly based on the protein content. For malting barley, the protein content must be below 12%; whereas if it is to be used as fodder, the protein content must be higher. However, international statistics do not establish differences between

La distinción entre la cebada maltera y forrajera estriba principalmente en el contenido de proteína; para la primera, el porcentaje debe ser inferior a 12% mientras que si su uso es forrajero, el contenido proteico debe ser superior, aunque, las estadísticas internacionales no establecen diferencias entre la de uso forrajero y la destinada a la producción de malta. El contenido de proteína en el grano depende de varios factores entre ellos la fertilización, tipo de suelo, temperatura y la variedad (Pitz, 1990).

La calidad maltera en la cebada es un carácter complejo que depende además de las propiedades físicas del grano, de las enzimas sintetizadas durante el proceso de germinación (Thomas *et al.*, 1996). No obstante, el grano de cebada para maltería, debe cumplir con parámetros específicos que involucran características físicas de los mismos (tamaño y peso del grano), hasta propiedades químicas (porcentaje de extracto, contenido de proteína, índice Kolbach, poder diastásico, entre otras) (Molina-Cano *et al.*, 1986; Narziss, 1990; Mather *et al.*, 1997).

Las características de calidad maltera son de tipo cuantitativo, por lo que su expresión no depende solo del genotipo sino que está influenciado por diversos factores del ambiente y por la interacción del genotipo con el ambiente, haciendo que su herencia sea compleja (Sparrow, 1971; Mather *et al.*, 1997; Igartua *et al.*, 2000; Zale *et al.*, 2000). Los trabajos de investigación en cebada, se basan en aspectos relacionados con el rendimiento y control de enfermedades; siendo limitadas las investigaciones enfocadas a evaluar la contribución de los genes sobre las características de calidad maltera; variables que son de interés para los industriales de la malta y cerveza (Hockett *et al.*, 1993).

En la norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, se establecen las condiciones y características que debe reunir la cebada maltera para su comercialización. El grano debe tener entre 11.5 y 13.5% de humedad, poseer una germinación mínima de 85%, tamaño de grano para uso maltero de 85% (grano retenido en una criba de  $5.5/64'' \times 3/4''$ ), un máximo de 5% de granos desnudo y/o quebrados, impurezas 2%, grano dañado hasta 10%, mezclas hasta 10%, peso por hectolitro (es el peso de un hectolitro de grano de la muestra original libre de impurezas expresado en kilogramos; kg hL), en cebadas de seis hileras como mínimo 56 kg hL, mientras que en cebadas de dos hileras esta debe tener como valor mínimo 58 kg hL; además, las características organolépticas del grano deben ser las adecuadas cuidando que el grano no

barley's use as fodder or in malt production. The protein content of the grain depends on various factors among which can be found fertilization, type of soil, temperature, and variety (Pitz, 1990).

The malting quality in barley is a complex characteristic that, in addition to the physical properties of the grain, depends on the enzymes synthesized during the germination process (Thomas *et al.*, 1996). Nevertheless, the grain of malting barley must meet specific parameters that involve physical characteristics (size and weight of the grain) and chemical properties (extract percentage, protein content, Kolbach index, diastase strength, among others) (Molina-Cano *et al.*, 1986; Narziss, 1990; Mather *et al.*, 1997).

The characteristics of malting quality are quantitative; therefore, their expression does not only depend on the genotype but is also influenced by various environmental factors and by the interaction of the genotype with the environment, making its inheritance a complex matter (Sparrow, 1971; Mather *et al.*, 1997; Iguarta *et al.*, 2000; Zale *et al.*, 2000). Research on barley is based on aspects related to the yield and disease control. Investigations focused on evaluating the contribution of genes to the malting quality characteristics are limited; this research being of interest for malt and beer industries (Hockett *et al.*, 1993).

In the Mexican norm NMX-FF-043-SCFI-2003, the conditions and characteristics that malting barley must meet for its commercialization are established. The grain must have between 11.5 and 13.5% humidity, have a minimum germination of 85%, an 85% grain size for its use as malt (grain retained in a  $5.5/64'' \times 3/4''$  sieve), maximum 5% naked and/or broken grains, 2% impurities, maximum 10% damaged grain, mixtures up to 10%, weight per hectoliter (which is the weight of a hectoliter of grain of the original sample free of impurities expressed in kilograms; kg hL), and a 56 kg hL minimum on six-row barley, whereas on two-row barley it must have a value of 58 kg hL. Furthermore, the organoleptic characteristics of the grain must be appropriate making sure that the grain is not dirty, damaged, stained, painted or contaminated, and that it does not have a putrid, stale, alcoholic, or chemical odor, among others.

It is estimated that in Mexico, 80% of the national barley production is destined to be turned into malt, whereas at a global level the percentage is lower. The production of

este sucio, dañado, manchado, pintado o contaminado, que no tenga un olor a putrefacto, rancio, alcoholizado, de algún químico, entre otras.

Se estima que en México, 80% de la producción nacional de cebada se destina a la transformación en malta, mientras que a nivel mundial el porcentaje es menor. La producción de grano de cebada que requiere la industria maltera se centra principalmente en dos variedades: la variedad Esperanza, para las zonas de riego en el Bajío y la variedad Esmeralda, para las zonas de temporal en el Altiplano. Las variedades Alina y Armida constituyen otra opción para condiciones de riego, mientras que Adabella se recomienda para zonas de temporal con ambientes de buena productividad (Zamora *et al.*, 2008; Solano *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010). Se calcula que la industria requiere un volumen de 750 000 toneladas de materia prima cada año para satisfacer sus necesidades y cubrir así los requerimientos para la elaboración de cerveza.

La cebada es uno de los cultivos que ofrece una mejor alternativa de producción en las áreas de temporal de México. Por ello, las variedades además de tener buenos atributos agronómicos, la producción de grano debe cumplir con la calidad requerida por la industria maltera. Dada la importancia que tienen los parámetros de calidad en la cebada que va a ser destinada para su uso como malta, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) realiza investigaciones para generar genotipos que satisfagan estos parámetros de calidad, tolerantes a enfermedades y con excelente rendimiento.

Para conocer el comportamiento de los genotipos generados en la fase de investigación, se realizaron evaluaciones agronómicas y pruebas físicas en líneas avanzadas de cebada maltera con seis hileras de grano en la espiga, con el objetivo de determinar su potencial productivo y su calidad física con base en las variables peso hectolítrico y porcentaje de grano maltero, parámetros incluidos en la norma para comercializar cebada para malta y que permitirán seleccionar de manera eficiente a los genotipos más idóneos para maltería.

## Materiales y métodos

El trabajo de investigación se realizó durante los ciclos agrícolas primavera- verano 2012 y primavera- verano 2013, bajo condiciones de temporal en cinco localidades contrastantes: Campo Experimental Valle de México

barley required by the malting industry is mainly centered on two varieties: the Esperanza variety for the irrigation zones of the Bajío, and the Esmeralda variety for the seasonal zones of the Altiplano. The Alina and Armida varieties constitute other options for irrigation conditions, whereas the Adabella variety is recommended for seasonal zones with good productivity environments (Zamora *et al.*, 2008; Solano *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010). It is calculated that the industry requires a volume of 750 000 t of raw material per year in order to satisfy demand and thus cover the requirements for the production of beer.

Barley is one of the crops that offers a better production alternative in the seasonal areas of Mexico. Therefore, in addition to the varieties needing good agronomic attributes, the grain production must meet the required quality for the malting industry. Given the importance of the quality parameters of the barley meant to be used as malt, the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) carries out investigations in order to create genotypes that satisfy these quality parameters, are tolerant to diseases, and have an excellent yield.

In order to know the behavior of the genotypes generated in the research stage, agronomic evaluations and physical tests were carried out on advanced lines of malting barley with six-rows of grain in the ear, with the objective of determining the productive potential and physical quality based on the variables of weight per hectoliter and the percentage of malting grain, parameters which are included in the norm for the commercialization of malting barley and that will allow for an efficient selection of the best malting genotypes.

## Materials and methods

The research project was carried out during the agricultural cycles of spring-summer 2012 and spring-summer 2013, under seasonal conditions in five contrasting localities: Experimental Field Mexico Valley (CEVAMEZ-INIFAP), Tlaxtepecpan and Polotitlán, Estado de México; Calpulalpan, Tlaxcala; and Experimental Site North of Guanajuato (SENGUA-INIFAP). 16 malting barley genotypes were evaluated (14 advanced lines and the Esmeralda and Adabella varieties as control). The tests were established in each locality under a 4 x 4 simple Lattice design with four replications. The dates of planting and

(CEVAMEX-INIFAP), Tlaxtepecpan y Polotitlán, Estado de México; Calpulalpan, Tlaxcala; y Sitio Experimental Norte de Guanajuato (SENGUA-INIFAP). Se evaluaron 16 genotipos de cebada maltera (14 líneas avanzadas y como testigos las variedades Esmeralda y Adabella). Los ensayos fueron establecidos en cada localidad bajo un diseño Láctice simple 4 x 4 con cuatro repeticiones. Las fechas de siembra y dosis de fertilización se realizaron conforme a las recomendaciones técnicas para el cultivo de cebada maltera de temporal generada por el INIFAP. La densidad de siembra fue de 80 kg ha<sup>-1</sup>. Se tomaron datos de días a floración, días a madurez fisiológica, altura de planta, rendimiento, peso por hectolitro y porcentaje de grano calidad maltero. El rendimiento fue determinado cosechando la parcela total útil (3.6 m<sup>2</sup>) que consistió de cuatro surcos de 3 m de largo con 0.3 m de separación entre hileras.

Para determinar el peso por hectolitro se consideró el método usando embudo y probeta; para ello se tomó una muestra libre de impurezas de 110 g y se determinó su volumen, al valor obtenido se le asignó su correspondiente peso hectolítico con la ayuda de la tabla de valores indicada en la norma mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003. El porcentaje de grano maltero (PGM), fue determinado mediante una muestra de grano de 200 g, haciéndola pasar por dos cribas, una de  $6/64'' \times 3/4''$  y una de  $5.5/64'' \times 3/4''$  con la finalidad de ver cuánto grano era retenido en la criba con mallas de mayor tamaño. Se pesó la cantidad de grano retenido en cada criba y se sumó ambas cantidades de grano retenido en cada criba y se determinó el porcentaje, ya que la norma específica que para esta variable la prueba se debe hacer con una criba de  $5.5/64'' \times 3/4''$ .

Se realizó análisis de varianza por localidad bajo para las variables medidas con la ayuda del programa estadístico SAS 9.0 (SAS, 2002), posteriormente se hizo un análisis combinado de las localidades para cada ciclo agrícola evaluado. La comparación de medias se efectuó con la diferencia mínima significativa (DMS,  $\alpha=0.01$ ).

## Resultados y discusión

Los resultados obtenidos del análisis de varianza por localidad mostraron diferencias significativas para la mayoría de las variables evaluadas. Cuando se realizó un análisis combinado, estas diferencias fueron mayores al interaccionar los genotipos con el ambiente dando como resultado una alta significancia para todas las variables evaluadas.

fertilization doses were done according to the technical recommendations for the cultivation of seasonal malting barley provided by the INIFAP. The planting density was 80 kg ha<sup>-1</sup>. Data was recorded on the days of flowering, days of physiological maturity, height of the plant, yield, weight per hectoliter, and percentage of malting quality grain. The yield was determined harvesting the total plot (3.6 m<sup>2</sup>), which consisted of four furrows 3 m in length with 0.3 m separating the rows.

In order to determine the weight per hectoliter, the method using a funnel and tray was considered; for this purpose, a 110 g sample free of impurities was taken and its volume was determined. The corresponding hectoliter weight was assigned to the obtained value with the aid of the table of values indicated in the Mexican norm NMX-FF-043-SCFI-2003. The percentage of malting grain (PMG) was determined using a 200 g grain sample, passing it through two sieves, one of  $6/64'' \times 3/4''$  and one of  $5.5/64'' \times 3/4''$  in order to see how much grain was retained in the sieve with a larger mesh. The quantity of grain retained by each sieve was weighed. Both quantities were added and the percentage was determined, given that the norm specifies that for this variable the test must be carried out using a  $5.5/64'' \times 3/4''$  sieve.

An analysis of variance was carried out per locality for the variables measured with the aid of the statistical program SAS9.0 (SAS, 2002). Subsequently, a combined analysis of the localities was carried out for each evaluated agricultural cycle. The comparison of averages was done with the least significant difference (LSD,  $\alpha=0.01$ ).

## Results and discussion

The results obtained from the analysis of variance per locality showed significant differences for the majority of the evaluated variables. When a combined analysis was carried out, these differences were greater when interacting with genotypes with the environment, resulting in a higher significance for all the evaluated variables.

The behavior of the evaluated lines was mainly influenced by the environmental conditions that were presented in each agricultural cycle. For the 2012 cycle, highly significant statistical differences were detected (Table 1) between localities and genotypes for all the evaluated variables. These

El comportamiento de las líneas evaluadas estuvo influenciado principalmente por las condiciones ambientales que se presentaron en cada ciclo agrícola. Para el ciclo 2012, se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas (Cuadro 1), entre localidades y entre genotipos para todas las variables evaluadas. Estos resultados podrían ser atribuidos a las condiciones particulares de cada localidad donde fueron establecidos los materiales; además, del comportamiento específico de cada línea en cada localidad.

results could be attributed to the particular conditions of each locality where the materials were established, in addition to the specific behavior of each line in each locality.

The genotype interaction per locality showed a high statistical significance for the yield and the physical quality variables (weight per hectoliter and percentage of malting grain); however, the variables of days of flowering, days of maturity, and plant height were not significant for this interaction.

**Cuadro 1. Cuadros medios del análisis de varianza conjunto a través de localidades para variables agronómicas y de calidad en líneas avanzadas de cebada maltera. Ciclo 2012.**

**Table 1. Average squares of the combined analysis of variance across localities for agronomic and quality variables on advanced lines of malting barley. 2012 cycle.**

| Variable                           | Localidades  | Rep(Loc)      | Blo(Loc*Rep) | Genotipos    | Loc*Gen      | Error       |
|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| GL                                 | 4            | 15            | 60           | 15           | 60           |             |
| Días a floración                   | 635.33       | ** 21.43      | ns 14.80     | * 162.08     | ** 11.14     | ns 9.27     |
| Madurez                            | 3192.573     | ** 48.72      | * 24.86      | ns 118.51    | ** 28.91     | ns 7.16     |
| Altura de planta mj                | 9206.11330   | ** 272.55     | ** 68.95     | * 202.30     | ** 44.30     | ns 35.29    |
| Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> ) | 204960096.50 | ** 2784506.80 | ** 495589.70 | * 2537230.60 | ** 774486.30 | ** 249209.2 |
| Peso por hectolitro                | 446.85       | ** 4.34       | * 1.57       | ns 13.27     | ** 2.91      | ** 1.39     |
| Porcentaje de grano maltero        | 484.785      | ** 6.78       | * 4.12       | * 60.92      | ** 6.83      | ** 2.75     |
| Criba 6.5                          | 2160.26      | ** 32.33      | ** 15.28     | * 282.13     | ** 62.70     | ** 8.62     |
| Criba 5.5                          | 604.06       | ** 11.07      | ** 4.93      | * 81.89      | ** 16.12     | ** 2.53     |

\*, \*\* Nivel de significancia ( $p \leq 0.05$  y  $p \leq 0.01$ , respectivamente); ns= no significativo.

La interacción genotipo por localidad mostró significancia estadística alta para rendimiento y para las variables de calidad física (peso por hectolitro y porcentaje de grano maltero); sin embargo, las variables días a floración, días a madurez y altura de planta no fueron significativos para esta interacción.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para el ciclo agrícola 2013, muestra una mayor significancia estadística para las variables agronómicas y de calidad evaluadas (Cuadro 2). Para la interacción genotipos por localidades, solamente altura fue no significativo, madurez fue significativo y el resto de las variables, mostro valores con alta significancia estadística ( $p \leq 0.01$ ), lo cual evidencia la variación ambiental entre localidades, la existencia de variabilidad genética en la respuesta de las líneas de cebada y la influencia de la variación ambiental sobre la expresión de cada uno de los genotipos evaluados.

Las variables agronómicas y físicas evaluadas (Cuadro 3) tuvieron en promedio las siguientes características: la floración, tuvo un comportamiento similar entre años en cada localidad. Para el ciclo 2012 los valores de días a

The results obtained from the analysis of variance for the 2013 agricultural cycle showed a greater statistical significance for the evaluated agronomic and quality variables (Table 2). For the interaction of genotypes per locality, height was not significant, maturity was significant, and the rest of the variables showed values with a high statistical significance ( $p \leq 0.01$ ), which evidences the environmental variation between localities, the existence of genetic variability in the response of the barley lines, and the influence of environmental variation on the expression of each one of the evaluated genotypes.

On average, the agronomic and physical variables evaluated (Table 3) had flowering characteristics with a similar behavior between years in each locality. For the 2012 cycle, the values of flowering days (FD) were distributed on an average range of 46 to 57 days, with CEVAMEX being the most premature locality, although statistically it had a similar behavior to the localities of SENGUA and Tlacatepan. During the 2013 cycle, SENGUA was the most premature locality, with a statistical value similar to CEVAMEX. The locality of Calpulalpan was the slowest for the two evaluated cycles.

floración (DAF) se distribuyeron en un rango promedio de 46 a 57 días, siendo la localidad más precoz CEVAMEX, aunque estadísticamente tuvo un comportamiento similar a las localidades SENGUA y Tlacateopan. Durante el ciclo 2013, SENGUA fue la localidad más precoz, con un valor estadísticamente similar a CEVAMEX. Por su parte, la localidad de Calpulalpan, fue la localidad más tardía para los dos ciclos evaluados.

In regard to the time required in order to reach physiological maturity, this variable behaved differently between each cultivation cycle. During the 2012 cycle, an average maturity of 98 days after planting was observed, whereas for the 2013 cycle, this increased to 106 days after planting. The locality of Tlacateopan had an atypical behavior due to the climatic conditions that prevailed during the 2013 agricultural cycle

**Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de localidades para variables agronómicas y de calidad en líneas avanzadas de cebada maltera. Ciclo 2013.**

**Table 2. Average squares of the combined analysis of variance across localities for agronomic and quality variables on advanced lines of malting barley. 2013 cycle.**

| Variable                           | Localidades  | Rep(Loc)      | Blo(Loc*Rep) | Genotipos     | Loc*Gen      | Error       |
|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|-------------|
| GL                                 | 4            | 15            | 60           | 15            | 60           |             |
| Días a floración                   | 1204.48      | ** 6.77       | * 4.05       | ns 162.08     | ** 7.70      | ** 3.70     |
| Madurez                            | 8576.78      | ** 28.81      | * 21.20      | * 98.18       | ** 15.03     | * 10.11     |
| Altura de planta                   | 11244.12     | ** 99.42      | ** 46.93     | * 230.59      | ** 37.58     | ns 28.35    |
| Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> ) | 146165257.90 | ** 1436415.60 | ** 653338.00 | ** 3838074.70 | ** 852711.90 | ** 301891.5 |
| Peso por hectolitro                | 355.28       | ** 3.75       | ** 3.30      | ** 20.77      | ** 4.38      | ** 1.02     |
| Porcentaje de grano maltero        | 494.37       | ** 15.42      | ** 9.19      | ** 60.09      | ** 14.28     | ** 2.19     |
| Criba 6.5                          | 6941.77      | ** 75.26      | ** 38.20     | ** 379.08     | ** 58.69     | ** 9.79     |
| Criba 5.5                          | 2553.41      | ** 23.53      | ** 10.97     | ** 142.21     | ** 142.21    | ** 3.89     |

\*, \*\* Nivel de significancia ( $p \leq 0.5$  y  $p \leq 0.01$ , respectivamente); ns= no significativo.

**Cuadro 3. Comparación de medias entre localidades para 16 líneas Avanzadas de cebada maltera de seis hileras. Ciclos 2012 y 2013.**

**Table 3. Average comparison between localities for 16 advanced lines of malting barley of six rows. 2012 and 2013 cycles.**

| Localidad     | DF     | DM      | AP      | REND      | PH     | PGM     |
|---------------|--------|---------|---------|-----------|--------|---------|
| Ciclo: 2012   |        |         |         |           |        |         |
| 1 CEVAMEX     | 47.6 b | 95.3 c  | 92.3 a  | 6951.6 a  | 62.5 b | 94.8 b  |
| 2 Calpulalpan | 55.1 a | 108.9 a | 78.7 bc | 2141.7 c  | 58.3 d | 93.5 bc |
| 3 Tlacateopan | 49.4 b | 90.9 d  | 88.5 ab | 3314.3 b  | 60.5 c | 92.5 c  |
| 4 Polotitlán  | 52.9 a | 99.2 b  | 69.7 cd | 4117.2 b  | 64.0 a | 98.5 a  |
| 5 SENGUA      | 48.8 b | 96.0 bc | 64.1 d  | 3595.3 b  | 64.8 a | 98.3 a  |
| Media         | 50.7   | 98.1    | 88.4    | 3879.6    | 62.4   | 97.1    |
| CV            | 6.0    | 2.7     | 6.4     | 13.0      | 2.3    | 1.6     |
| DMS           | 3.2    | 3.8     | 11.5    | 1158.9    | 1.45   | 1.81    |
| Ciclo 2013    |        |         |         |           |        |         |
| 1 CEVAMEX     | 47.8 d | 100.7 d | 70.8 b  | 5612.7 a  | 58.7 b | 98.9 a  |
| 2 Calpulalpan | 56.8 a | 113.9 b | 78.1 a  | 3118.0 bc | 55.1 c | 92.9 b  |
| 3 Tlacateopan | 51.3 c | 119.4 a | 57.0 c  | 2346.8 cd | 55.8 c | 89.2 c  |
| 4 Polotitlán  | 54.3 b | 104.2 c | 83.5 a  | 3863.1 b  | 58.5 b | 97.6 a  |
| 5 SENGUA      | 46.4 d | 89.8 e  | 52.8 c  | 1708.7 d  | 60.9 a | 97.8 a  |
| Media         | 51.7   | 106.3   | 65.7    | 3111.5    | 57.8   | 95.3    |
| CV            | 3.5    | 3.1     | 7.9     | 17.4      | 1.8    | 1.6     |
| DMS           | 1.81   | 3.73    | 6.92    | 832.33    | 1.35   | 2.73    |

Valores con la misma letra dentro de columna no son estadísticamente diferentes (Tukey= 0.01). DF= días a floración; DM= días a madurez fisiológica; AP= altura de planta; REND= rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>); PH= peso por hectolitro (kg hL); PGM= porcentaje de grano maltero.

Con relación al tiempo requerido para alcanzar madurez fisiológica, esta variable se comportó de manera distinta entre cada ciclo de cultivo. Durante 2012, se observó una madurez promedio de 98 dds, mientras que para el ciclo 2013, esta se incrementó a 106 dds. La localidad de Tlacateopan, tuvo un comportamiento atípico debido que las condiciones climáticas que prevalecieron durante el ciclo agrícola 2013 (sequía antes de embuche y lluvias durante embuche e inicio de floración), ocasionaron que se prolongara el ciclo de cultivo por prácticamente un mes. En las demás localidades, el efecto del temporal entre el ciclo de 2012 y 2013 fue de alrededor de 5 días, más tardío durante el segundo ciclo. Excluyendo a la localidad de Tlacateopan-2013, Calpulalpan fue la más tardía en los dos ciclos agrícolas. Este comportamiento está relacionado con las condiciones climáticas de la región, considerada como semifrío húmedo y se caracteriza por su altitud (2600 msnm), alta humedad y temperaturas bajas. Estas condiciones de humedad y temperatura propician un desarrollo más lento del cultivo que en las demás localidades.

De manera general, en promedio los genotipos llegan a madurez alrededor de los 100 dds (98 dds en 2012 y 106 dds para 2013); el tiempo requerido de siembra a cosecha para el cultivo de cebada maltera en México es mucho menor en comparación con datos reportados para este cultivo en otras latitudes, donde las condiciones ambientales provocan que los materiales sean muy tardíos alcanzando la madurez inclusive hasta en 200 dds (Eshghi and Akhundova, 2009; Fedaku *et al.*, 2014).

La altura de planta también fue afectada por las condiciones climáticas de cada localidad, particularmente debido a la falta de agua en las etapas tempranas de desarrollo del cultivo resultando en portes de planta diferente entre cada ciclo. Se observaron portes de altura mayores para el ciclo agrícola 2012 (88.4 cm), mientras que para el ciclo 2013, el porte de planta disminuyó en más de 20 cm (65.7 cm). Las diferencias encontradas entre localidades, disminuyen cuando se comparan los genotipos dentro de localidades, observándose así portes de altura muy similares entre ellos (Tamm, 2003). La altura de planta en cebada maltera es un aspecto de gran importancia, ya que si esta es muy baja se dificulta su cosecha mecánica. Cuando los materiales son de porte muy alto, se ocasiona una mayor susceptibilidad al acame (Eshghi and Akhundova, 2009); que puede afectar de manera gradual el rendimiento de grano final y además, como la cosecha es mecanizada, también se dificulta la realización de esta actividad. Alturas de planta como las observadas en las líneas evaluadas pudieran considerarse como adecuadas para las regiones productoras de cebada en México.

(drought before tillering and rain during tillering and the beginning of flowering), causing the cultivation cycle to be prolonged for almost a month. In the other localities, the seasonal effect between the 2012 and 2013 cycles was about 5 days, being more delayed during the second cycle. Excluding the locality of Tlacateopan-2013, Calpulalpan was the slowest in the two agricultural cycles. This behavior is related to the climatic conditions of the region, considered semi-cold humid and characterized by its altitude (2 600 meters above sea level), high humidity, and low temperatures. The humidity and temperature conditions promote a slower development of the crop than in the other localities.

On average, the genotypes reach maturity around 100 days after planting (98 days after planting in 2012 and 106 days after planting in 2013); the required time from planting to harvest for the cultivation of malting barley in Mexico is much shorter in comparison with the data reported for this crop at other latitudes, where the environmental conditions cause the materials to mature much slower, even reaching maturity at up to 200 days after planting (Eshghi and Akhundova, 2009; Fedaku *et al.*, 2014).

Plant height was also affected by the climatic conditions of each locality, particularly due to the lack of water at the early stages of crop development resulting in a height difference for the plant between each cycle. Greater sizes were observed for the 2012 agricultural cycle (88.4 cm), whereas for the 2013 cycle, the height decreased by more than 20 cm (65.7 cm). The differences found between localities decreased when the genotypes within the localities were compared, observing in this manner similar heights between them (Tamm, 2003). The plant height for malting barley is a highly important aspect, given that if it is too short, mechanical harvest becomes much more difficult. When these plants are very tall, however, it causes a greater susceptibility to being flattened (Eshghi and Akhundova, 2009), which can gradually affect the final grain yield and furthermore it also makes harvest, given that it is mechanized, much more difficult. Plant height as observed in the evaluated lines can be considered adequate for the barley producing regions in Mexico.

The grain yield variable, as well as with the other variables, showed variations between localities and cycles; an average yield of 3.8 and 3.1 t ha<sup>-1</sup> was obtained for 2012 and 2013, respectively. During the 2012 agricultural cycle, the locality



La variable rendimiento de grano al igual que con las demás variables, mostró variaciones entre localidades y entre ciclos; obteniéndose un rendimiento medio de 3.8 y 3.1 t ha<sup>-1</sup> para 2012 y 2013, respectivamente. Durante el ciclo agrícola 2012, la localidad establecida en el municipio de Calpulalpan tuvo el menor rendimiento de grano con 2.1 t ha<sup>-1</sup>. La mejor localidad para este ciclo correspondió a CEVAMEX cuyo rendimiento medio fue de 6.9 t ha<sup>-1</sup>; en esta localidad, las líneas más rendidoras superaron las 7 t ha<sup>-1</sup>. En el ciclo 2013, los rendimientos de grano disminuyeron hasta en 50% (SENGUA) con relación al ciclo anterior; por su parte CEVAMEX, la mejor localidad en este ciclo agrícola, disminuyó más de 1.5 t ha<sup>-1</sup>. Tal disminución se debió a la falta de agua, que ocasionó menor tamaño de grano, menor peso de grano y menor número de granos por espiga (Ataei, 2006).

### Peso por hectolitro

Las características físicas de las semillas consideradas factores de calidad, incluyen al peso volumétrico; es la determinación del peso en kilogramos de un determinado volumen de grano libre de impurezas que se expresa en hectolitros. El peso por hectolitro (PH) se relaciona con la textura del endospermo o con el contenido de proteína, por lo que es un parámetro muy importante en la industrialización de la cebada maltera, sus valores influyen directamente en el rendimiento y la calidad de los productos terminados (González *et al.*, 2013). Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 3), mostraron diferencias estadísticas significativas entre localidades en ambos ciclos agrícolas evaluados.

Durante el ciclo agrícola 2012, los valores promedio obtenidos para este parámetro se distribuyeron entre el rango de 58.3 a 64.8 kg hL, superando en 4.6 kg hL al valor promedio obtenido en el ciclo 2013. Los valores promedio de PH para el primer ciclo estuvieron por arriba de la norma oficial mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003 en la que se establece un valor de 56 kg hL para la compra del grano de cebada maltera; mientras que durante el ciclo 2013, se observaron valores por debajo de la norma en dos localidades. La mejor localidad correspondió a SENGUA, en ambos ciclos agrícolas; mientras que la peor localidad fue Calpulalpan con 58.3 kg hL en 2012 y 55.1 kg hL para 2013. Las condiciones climáticas que se presentaron en 2013, en particular la falta de agua durante el llenado de grano, ocasionaron la disminución del PH, por ello, solamente tres de las cinco localidades mostraron un valor promedio superior a lo establecido en la norma; mientras que en las localidades de Calpulalpan (55.1) y Tlacateopan (55.8),

established in the municipality of Calpulalpan had the least grain yield with 2.1 t ha<sup>-1</sup>. The best locality for this cycle corresponded to CEVAMEX whose average yield was 6.9 t ha<sup>-1</sup>; in this locality, the most efficient lines surpassed 7 t ha<sup>-1</sup>. In the 2013 cycle, the grain yields decreased up to 50% (SENGUA) with regard to the previous cycle; CEVAMEX, the best locality in this agricultural cycle, decreased by more than 1.5 t ha<sup>-1</sup>. This decrease was due to the lack of water, which caused a smaller grain size, less grain weight, and a smaller number of grains per ear (Ataei, 2006).

### Weight per hectoliter

The physical characteristics of the seeds, considered quality factors, include the volumetric weight; this is the determination of the weight in kilograms of a determined volume of grain free of impurities expressed in hectoliters. The weight per hectoliter (WH) is related to the texture of the endosperm or to the protein content, as such it is a highly important parameter in the industrialization of malting barley, with its values directly influencing the yield and quality of the finished product (González *et al.*, 2013). The results of the analysis of variance (Table 3) show statistically significant differences between localities in both agricultural cycles evaluated.

During the 2012 agricultural cycle, the average values obtained for this parameter were within the range of 68.3 to 64.8 kg hL, surpassing by 4.6 kg hL the average value obtained for the 2013 cycle. The average WH values for the first cycle were above the official Mexican norm NMX-FF-043-SCFI-2003, where a value of 56 kg hL is established for the purchase of malting barley grain; whereas during the 2013 cycle, values below the norm were observed in two localities. The best locality corresponded to SENGUA for both agricultural cycles; whereas the worst locality was Calpulalpan with 58.3 kg hL in 2012 and 55.1 kg hL in 2013. The climatic conditions present in 2013, in particular the lack of water during the grain fill stage, caused a decrease in the WH; thus, only three of the five localities showed an average value above that established in the norm, with the localities of Calpulalpan (55.1) and Tlacateopan (55.8) having average WH values below the required value (56 kg hL<sup>-1</sup>). According to Pržulj *et al.* (1998), the environment, genotypes, and the genotype:environment interaction play a primordial role in the behavior of the WH of malting barley, which explains the observed behavior.

sus valores promedio de PH estuvieron por debajo del valor requerido (56 kg hL<sup>-1</sup>). De acuerdo con Pržulj *et al.* (1998), el ambiente, los genotipos y la interacción genotipo ambiente juegan un papel primordial en el comportamiento de PH en cebada maltera, lo que explica el comportamiento observado.

### Porcentaje de grano maltero

En cuanto al porcentaje de grano maltero (PGM), durante este estudio, se observaron diferencias estadísticas altas entre las localidades evaluadas (Cuadro 3); en promedio, las localidades muestran valores por encima de las especificaciones requeridos por la norma, que establece un porcentaje superior a 85% de grano retenido en una criba de  $5.5/64'' \times 3/4''$ . El llenado del grano que determina el peso y tamaño está influenciado grandemente por la disponibilidad de agua y temperaturas óptimas (Ataei, 2006). Como se menciona en los apartados de rendimiento y peso hectolítrico, la falta de agua ocasiono disminución del rendimiento, del peso por hectolitro y para el porcentaje de grano maltero también fue factor en el comportamiento de esta variable (Pržulj *et al.*, 1999).

Se obtuvieron mejores valores para PGM durante el ciclo 2012 y se observó una disminución de los mismos para 2013. A pesar de que la localidad de Calpulalpan (2012) fue la peor localidad, todos los materiales evaluados cumplieron con las especificaciones de calidad para este parámetro; por su parte, Tlacateopan, quien fue estadísticamente diferente a Calpulalpan, mostró valores inferiores a 85% para dos genotipos evaluados, entre ellas, Adabella, quien tuvo un valor de 82.2%, este valor fue similar al obtenido en la localidad de Chapingo (82.2%). Para el ciclo agrícola 2013, al igual que en las demás variables evaluadas, las condiciones específicas de las localidades, provocaron variaciones en el comportamiento de los genotipos evaluados.

De manera particular, en la localidad de Chapingo, las lluvias ocurridas cuando el grano ya había llegado a madurez, no permitieron la cosecha oportuna, por lo que algunos materiales mostraron pre-germinación provocando un valor alto de grano retenido en la criba, pero con rendimiento y PH bajo (Benech-Arnold y Sánchez, 2003). Junto con el contenido de proteína y el calibre del grano, la capacidad germinativa de los granos es uno de los factores más importantes que le dan calidad al grano de cebada maltera (Brokes, 1980; Benech-Arnold, 2001; Gulano y Benech-Arnold, 2009).

### Percentage of malting grain

Regarding the percentage of malting grain (PMG), during this study high statistical differences were observed between the evaluated localities (Table 3); on average, the localities showed values above the specifications required by the norm, which establishes a percentage above 85% of the grain retained in a  $5.5/64'' \times 3/4''$  sieve. The grain fill that determines the weight and size is greatly influenced by water availability and optimal temperatures (Ataei, 2006). As mentioned in the yield and hectoliter weight sections, the lack of water caused a decrease in the yield, the weight per hectoliter, and affected the percentage of malting (Pržulj *et al.*, 1999).

Better values were obtained for the PMG during the 2012 cycle and a decrease in the same was observed for 2013. Although the locality of Calpulalpan (2012) was the worst locality, all the evaluated material complied with the quality specifications for this parameter; as for Tlacateopan, which was statistically different than Calpulalpan, it showed values below 85% for two evaluated genotypes, among them Adabella, which obtained a value of 82.2%. This value was similar to that obtained in the locality of Chapingo (82.2%). For the 2013 agricultural cycle, as well as on the other evaluated variables, the conditions specific to the localities caused variations in the behavior of the evaluated genotypes.

In particular in the locality of Chapingo, the rain that occurred when the grain had not yet reached maturity did not allow for opportune harvest, thus some of the material showed pre-germination causing a high value of grain retained in the sieve, but with a low yield and WH (Benech-Arnold and Sánchez, 2003). Alongside the protein content and caliber of the grain, the germination capacity of the grain is one of the most important factors that gives the grain the quality of malting barley (Brokes, 1980; Benech-Arnold, 2001; Gulano and Benech-Arnold, 2009).

The ability to evaluate under contrasting environmental conditions, in conjunction with the evaluation involving different agricultural cycles, allowed the distinction of genotypes with high yield potential, adequate to being planted in a broader range of environments. In Table 4, the average behavior of the materials is shown, which were more consistent in their behavior in each locality evaluated. As can be observed, the agronomic parameters had similar

La bondad de evaluar bajo condiciones ambientales contrastantes, aunado a la evaluación involucrando diferentes ciclos agrícolas, permitió distinguir genotipos con alto potencial de rendimiento, adecuados para ser sembrados en una mayor amplitud de ambientes. En el Cuadro 4, se muestra el comportamiento promedio de los materiales que fueron más consistentes en su comportamiento en cada localidad evaluada. Como se aprecia, los parámetros agronómicos tuvieron valores similares al testigo Esmeralda para las variables días a floración y madurez, aunque con un porte de planta ligeramente mayor, pero en comparación con Adabella, estos valores fueron menores con excepción de M177 con quien tuvo una madurez similar.

values to the control, Esmeralda, for the variables of days of flowering and maturity, although with a slightly higher plant height. However, in comparison with Adabella, these values were lower with the exception of M177 which had a similar maturity.

In the case of the yield, a superiority of 0.5 to more than 1 t ha<sup>-1</sup> of the lines against the controls can be observed for the localities and between years evaluated. Results with a similar behavior were reported by Gracia *et al.* (2012). Genotypes M184, M176, M177, and M178 had more stable yield values for the evaluated localities in each agricultural cycle.

**Cuadro 4. Comportamiento promedio de genotipos sobresalientes de cebada maltera. Ciclo P-V 2012 y P-V 2013.**  
**Table 4. Average behavior of the outstanding genotypes of malting barley. Spring-summer 2012 and spring-summer 2013 cycles.**

| Genotipo    | DF (dds) |      | DM (dds) |      | AP (cm) |      | REND (kg ha <sup>-1</sup> ) |         | PH   |      | PGM  |      |
|-------------|----------|------|----------|------|---------|------|-----------------------------|---------|------|------|------|------|
|             | 2012     | 2013 | 2012     | 2013 | 2012    | 2013 | 2012                        | 2013    | 2012 | 2013 | 2012 | 2013 |
| M184        | 52       | 55   | 98       | 106  | 81      | 67   | 4522.8                      | 3380.1  | 62.0 | 58.6 | 97   | 97   |
| CV00-407-2C | 52       | 54   | 99       | 107  | 84      | 65   | 4398.3                      | 3080.7  | 61.6 | 57.0 | 94   | 93   |
| M178        | 50       | 49   | 99       | 107  | 79      | 65   | 4394.9                      | 3345.2  | 62.9 | 58.1 | 94   | 95   |
| M176        | 52       | 54   | 99       | 106  | 85      | 70   | 4342.5                      | 3278.2  | 62.9 | 57.1 | 97   | 98   |
| RI05-26     | 52       | 51   | 97       | 106  | 78      | 69   | 4280.4                      | 3338.18 | 62.3 | 58.0 | 98   | 98.5 |
| M177        | 53       | 52   | 103      | 109  | 80      | 62   | 4222.2                      | 2802.9  | 62.7 | 58.4 | 97   | 98   |
| CV99-245    | 51       | 51   | 96       | 105  | 80      | 68   | 4122.7                      | 3055.3  | 63.2 | 58.6 | 96   | 95   |
| CV01-315    | 47       | 48   | 93       | 101  | 73      | 64   | 3952.8                      | 3316.6  | 62.4 | 58.7 | 95   | 97   |
| ADABELLA    | 58       | 57   | 100      | 110  | 80      | 67   | 3500.6                      | 2198.6  | 59.7 | 56.0 | 90   | 91   |
| ESMERALDA   | 50       | 51   | 99       | 106  | 75      | 63   | 3487.8                      | 2080.6  | 62.1 | 56.2 | 96   | 93   |

DF= días a floración; DM= días a madurez fisiológica; AP= altura de planta; REND= rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>); PH= peso por hectolitro (kg hL); PGM= porcentaje de grano maltero.

En el caso del rendimiento, se observa una superioridad de las líneas sobre los testigos de 0.5 a más de 1 t ha<sup>-1</sup>, para las localidades y entre años evaluados. Resultados con un comportamiento similar fueron reportados por Gracia *et al.* (2012). Los genotipos M184, M176, M177 y M178, tuvieron valores de rendimientos más estables para las localidades evaluadas en cada ciclo agrícola.

Las variedades testigo, tuvieron mejor expresión en localidades con adecuadas condiciones de producción mientras que en aquellas donde la disponibilidad de agua fue un factor limitante, ocasiono una disminución del rendimiento; resultando en rendimiento de grano promedio de 3.5 t ha<sup>-1</sup>, para los dos testigos en el ciclo P-V 2012 y de 2.2 y 2.1 t ha<sup>-1</sup>, en P-V 2013, Adabella y Esmeralda, respectivamente; estos resultados,

The control varieties had a better expression in localities with adequate production conditions, whereas those where the water availability was a limiting factor caused a decrease in the yield; this resulted in an average grain yield of 3.5 t ha<sup>-1</sup> for the two controls in the 2012 spring-summer cycle and of 2.2 and 2.1 t ha<sup>-1</sup> in the 2013 spring-summer cycle for Adabella and Esmeralda, respectively. These results allowed for a clear superiority on the evaluated lines. The Adabella variety showed low quality and yield values, due to it being a genotype released for good productivity conditions (precipitation above 500 mm and fertile soils with good humidity retention). Thus, when combining the results of all the localities where the majority of them are not adequate for this variety, the results obtained were low.

permitieron observar una clara superioridad en las líneas evaluadas. La variedad Adabella mostro bajos valores de calidad y rendimiento, debido a que es un genotipo liberado para condiciones de buena productividad (precipitaciones superiores a los 500 mm y suelos fértiles con buena retención de humedad) por ello, al combinar los resultados de todas las localidades en donde la mayoría de ellas no son las adecuadas para esta variedad, los resultados obtenidos fueron bajos.

El PH durante 2012 fue superior a los 60 k hL en las líneas y en el testigo Esmeralda; mientras que Adabella, fue de 59.7 k hL. Para 2013, los valores de PH obtenidos fueron inferiores a los 60 k hL, sin embargo, todos cumplieron con el valor establecido en la norma, inclusive la variedad Adabella quien para este ciclo mostro el valor más bajo (56 kg hL). El porcentaje de grano maltero alcanzó 97%, en las líneas evaluadas valores similares fueron obtenidos por Rivas y Barriga (2002). Esmeralda, tuvo un comportamiento similar a las líneas con los menores valores de PGM, mientras que Adabella, su porcentaje fue de alrededor de 90%.

## Conclusiones

Los genotipos evaluados tuvieron un comportamiento precoz, en promedio tienen floración a los 50 días y alcanzan la madurez alrededor de los 100 días después de la siembra.

Los rendimientos de las líneas experimentales fueron superiores a los testigos, siendo el rendimiento medio de 3.5 t ha<sup>-1</sup>. Las líneas M176, M177, M178 y M184 se comportaron de manera estable en los dos ciclos agrícolas para todas las localidades evaluadas; sus rendimientos medios fueron 3.8, 3.5 y 3.9 y 4 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

El peso volumétrico fue superior al valor especificado en la norma 56 kg hL. Las líneas con mayor peso hectolítrico superaron a los testigos en al menos 1 kg hL.

En varias localidades se presentaron problemas de sequía; la falta de agua ocasionó rendimientos bajos debido a que el grano no llenó adecuadamente, pues cuando se presentó el déficit hídrico los genotipos se encontraban en la etapa de llenado de grano. Este déficit hídrico fue un factor importante ya que su limitación afectó el rendimiento final de los experimentos evaluados.

The WH during 2012 was superior to the 60 k hL in the lines and in the Esmeralda control; whereas for Adabella, it was 59.7 k hL. In 2013, the WH values obtained were inferior to 60 k hL; however, they all complied with the value established in the norm, including the Adabella variety which, for this cycle, showed the lowest value (56 kg hL). The percentage of malting grain reached 97%; on the evaluated lines similar values were obtained by Rivas and Barriga (2002). Esmeralda had a similar behavior on the lines with the lowest PMG values, whereas Adabella had a percentage of approximately 90%.

## Conclusions

The evaluated genotypes had premature behavior, on average flowering at 50 days and reaching maturity at around 100 days after planting.

The yields of the experimental lines were greater than the controls, with the average yield being 3.5 t ha<sup>-1</sup>. The lines M176, M177, M178, and M184 behaved in a stable manner in the two agricultural cycles for all the evaluated localities; their average yields were 3.8, 3.5, 3.9, and 4 t ha<sup>-1</sup>, respectively.

The volumetric weight was superior to the value specified in the norm, 56 kg hL. The lines with greater hectoliter weight surpassed the controls by at least 1 kg hL.

In various localities drought problems were presented; the lack of water caused low yields due to the fact that the grain did not fill-out adequately, given that when the water deficit was presented the genotypes were in the grain fill stage. This water deficit was an important factor, given its limitation affected the final yield of the evaluated experiments.

Through the application of this evaluation strategy under various test environments, the genetic improvement program for barley of the INIFAP has managed to obtain lines with good potential yield, tolerance to diseases, and good malting quality.

*End of the English version*



Mediante la aplicación de esta estrategia de evaluación bajo diferentes ambientes de prueba, el programa de mejoramiento genético de cebada del INIFAP ha logrado obtener líneas con buen potencial de rendimiento, tolerantes a enfermedades y con buena calidad maltera.

## Literatura citada

- Ataei, M. 2006. Path analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) yield. Tarim Bilimleri Degisi. Ankara University Fakultesi. 12(3):227-232.
- Benech-Arnold, R. L. 2001. Bases of pre-harvest sprouting resistance in barley: physiology, molecular biology and environmental control of dormancy in the barley grain. In: Barley Science. Recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality. (Ed.). Slafer, G. A.; Molina-Cano, J. L.; Araus, J. L.; Savin, R. and Romagosa, I. Food products Press, New York, USA. 481-502 pp.
- Benech-Arnold, R. L. and Sánchez, R. A. 2003. Applied of Dormancy, Preharvest sprouting. In: B. Thomas, d. Murphy and B. Murray (Eds). Encyclopedia of Applied Plant sciences. Elsevier, Academic Press, London, UK. 1333-1339 pp.
- Brokes, P. A. 1980. The significance of pre-harvest sprouting of barley in malting and brewing. Cereal Research communications. 8(1):29-38.
- Eshghi, R. and Akhundova, E. 2009. Genetic analysis of grain yield and some agronomic traits in hullless barley. African Journal of Agricultural Research. 4(12):1464-1474.
- Fedaku, W.; Lakew, B. and Wondatir, Z. 2014. Advance in improving morpho-agronomic and grain quality traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) in Central Highland of Ethiopia. Advanced Science Journals of Agricultural science 1(1):11-26. Available online at <http://advancedscienceresearchjournals.org/journal/asjaas>
- González, G. M.; Zamora, D. M.; Huerta Z. R. and Solano, H. S. 2013. Eficacia de tres fungicidas para controlar roya de la hoja en cebada maltera. Revista Mexicana de Ciencias agrícolas 4(8):1237-1250.
- Gracia, M. P.; Mansour, E.; Casas, A. M.; Lasa, J. M.; Medina, B.; Molina-Cano, J. L.; Moralejo, M. A.; López, A.; López-Fuster, P.; Escribano, J.; Ciudad, F. J.; Codesal, P.; Montoya, J. and Iguarta, E. 2012. Progress in the Spanish National Barley Breeding Program. Spanish Journal of Agricultural Research. 10(3):741-751.
- Gulano, N. A. and Benech-Arnold, R. L. 2009. Predicting pre-harvest sprouting susceptibility in barley: Looking for "sensitivity windows" to temperature throughout grain filling in various commercial cultivars. Field Crops Research. 114:35-44.
- Hockett, E. A.; Cook, A. F.; Khan, M. A.; Martin, J. M. and Jones, B. L. 1993. Hybrid performance and combining ability for yield and malt quality in a diallel cross of barley. Crop Science 33:1239-1244.
- Igartua, E.; Edney, M.; Rosnagel, B. G.; Spaner, D.; Legge, W. G.; Scoles, G. J.; Eckstein, P. E.; Penner, G. A.; Tinker, N. A.; Briggs, K. G.; Falk, D. E. and Mather, D. E. 2000. Marker-based selection of QTL affecting grain and malt quality in two row barley. Crop Science 40:1426-1433.
- Langridge, P. and Barr, A. R. 2003. Preface to better barley faster: the role of maker assisted selection. Australian Journal of Agricola Research. 54:1-4.
- Mather, D. E.; Tinker, N. A.; Laberge, D. E.; Edney, M.; Jones, B. L.; Rosnagel, B. G.; Legge, W. G.; Briggs, K. G.; Irvine, R. B.; Falk, D. E. and Kasha, K. J. 1997. Regions of the genome that affect grain and malt quality in a North American two row barley cross. Crop Science. 37:544-554.
- Molina-Cano, J. L.; Madsen, B.; Atherton, M. J.; Drost, B. W.; Larsen, J.; Schildbach, R.; Simiand J. P. and Voglar, K. 1986. Un índice para la evaluación global de la calidad maltera y cervecera de la cebada. Cerveza y Malta No 92. Asociación Española de Técnicos de Cerveza y Malta, Madrid, España. 12 p.
- Narziss, L. 1990. Malt specifications, barley properties and limitations of malting technology. Brauwelt International. 3:180-185.
- Newton, A. C.; Flavell, A. J.; George, T. S.; Leat, P.; Mullholland, B.; Ramsay, L.; Revoredo-Giha, C.; Russell, J.; Steffenson, B. J.; Swanston, J. S.; Thomas, W. T. B.; Waugh, R.; White P. J. and Bingham, I. J. 2011. Crops that feed the world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. Food Security. 3(2):141-178.
- Pitz, W. J. 1990. An analysis of malting Research. Journal of the American Society of Brewing Chemists (ASBC). 48:33-44.
- Poehlman, J. M. 1985. Adaptation and distribution. In: Rasmusson, Donald C. (ed). Barley. Agronomy 26. American Society of Agronomy Inc. 1-18 pp.
- Pržulj, N.; Dragović, S.; Malešević, M.; Momčilović, V. and Mladenov, N. 1998. Comparative performance of winter and spring malting barleys in semiarid growing conditions. Euphytica 101:377-382.
- Pržulj, N.; Momčilović, V. and Mladenov, N. 1999. Temperature and precipitation effect on barley yields. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 3:403-410.
- Rivas, P. R. and Barriga, B. P. 2002. Capacidad combinatoria para rendimiento de grano y caracteres de calidad maltera en cebada. Agricultura Técnica. 62(3):347-356.
- SAS (Statistical Analysis System) 2002. version 9.0 edition. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Solano, H. S.; Zamora, D. M.; Gámez, V. F. P.; García, R. J. J.; Sánchez, de la C. R.; Díaz, E. F. and Garza, G. R. 2009. Alina, nueva variedad de cebada maltera para riego en el Bajío. Agricultura Técnica en México. 35(4):467-469.
- Sparrow, D. H. B. 1971. Genetics of quality-malting. In: R. A. Nillan (ed.) Barley Genet. II. Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Barley Genet. Symp. Pullman, Washington. 6-11 July 1969. Washington State University Press, Pullman, Washington, USA. 559-574 pp.
- Tamm, Ü. 2003. The variation of agronomic characteristic of European malting barley varieties. Agronomy Research. 1:99-103.
- Thomas, W. T. B.; Powell, W.; Swanston, J. S.; Ellis, R. P.; Chalmers, K. J.; Barua, U. M.; Lea, P. V.; Foster, B. P.; Waugh, R. and Smith, D. B. 1996. Quantitative trait *loci* and malting quality characters in a spring barley cross. Crop Science 36:265-273.
- Zale, J. M.; Clancy, J. A.; Ulrich, S. E.; Jones, B. L.; Hayes, P. M. and The North American Barley Genome Mapping Project. 2000. Summary of barley malting quality QTLs mapped in various populations. Barley Genetics Newsletter. 30:44-54.
- Zamora, D. M.; Solano, H. S.; Garza, G. R.; Islas, G. J.; Huerta, Z. R.; López, C. M. 2010. Armida, nueva variedad de cebada maltera para riego en el Bajío. Revista Mexicana de Ciencias agrícolas. 1(5):723-726.
- Zamora, D.; Solano, H. S.; Gómez, M. R.; Rojas, M. I.; Ireta, M. J.; Garza, G. R. and Ortiz, T. C. 2008. Adabella: variedad de cebada maltera para valles altos de la mesa central de México. Agricultura Técnica en México 34(4):491-493.