

Friabilidad de malta y predicción de calidad en el mejoramiento genético de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.)*

Malt friability and quality prediction in malting barley breeding (*Hordeum vulgare* L.)

Ramón Huerta Zurita^{1§}, Mauro R. Zamora Díaz¹, Salomón Solano Hernández² y Martha Laura López Cano²

¹Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 13.5. Carretera Los Reyes-Texcoco km, 56250, Texcoco, Estado de México. Tel: (01) 5959212742. (zamora.mauro@inifap.gob.mx). ²Campo Experimental Bajío, INIFAP, km 6.5. Carretera Celaya-San Miguel de Allende S/N, Col. Roque, 38110, Celaya, Guanajuato. (solano.salomon@inifap.gob.mx; mlopez.c@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: rhzurita@yahoo.com.mx.

Resumen

La friabilidad de malta es utilizada para medir la modificación del endospermo de cebada durante el malteo. Este parámetro se ha propuesto como una herramienta útil para la evaluación de material avanzado en programas de mejoramiento genético de cebada maltera, por su correlación con factores de calidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar el análisis de friabilidad de malta en la predicción de calidad durante el mejoramiento de cebada maltera y determinar el valor mínimo para la selección de genotipos. Las muestras evaluadas en dos ciclos agrícolas de riego (invierno 2008-2009 e invierno 2009-2010) fueron las líneas avanzadas (>F₇) M171, M173, M174, M175, M10542 y las variedades Adabella, Alina, Armida, Esmeralda y Esperanza; cultivadas en Celaya, Guanajuato, México. La friabilidad de malta estuvo correlacionada con extracto molienda fina (r= 0.631), proteína total (r= -0.812), poder diastásico (r= -0.506) e índice de Kolbach (r= 0.522); sin embargo, Esmeralda, Esperanza, M171 y M10542 no tuvieron correlación con extracto molienda fina (EMF) e índice de Kolbach (KI). Se observó amplia variación de friabilidad de malta (30-85%) debido principalmente a los cambios de proteína, por lo que no fue posible determinar el valor mínimo para la selección de genotipos durante el mejoramiento en función de los valores observados de EMF, viscosidad del mosto, KI y la diferencia de extractos.

Abstract

Malt friability is used to measure barley endosperm modification during malting. This parameter has been proposed as a useful tool for advanced material evaluation in malting barley breeding programs for its correlation with quality factors. The aim of this study was to evaluate the malt friability analysis in quality prediction during malting barley breeding and determine the minimum value for genotype selection. Samples evaluated in two crop irrigation cycles (winter 2008-2009 and winter 2009-2010) were the advanced lines (> F₇) M171, M173, M174, M175, M10542 and varieties Adabella, Alina, Armida, Esmeralda and Esperanza; grown in Celaya, Guanajuato, Mexico. Malt friability was correlated with fine grind extract (r= 0.631), total protein (r= -0.812), diastatic power (r= -0.506) and Kolbach index (r= 0.522), however, Esmeralda, Esperanza, M171 and M10542 showed no correlation to fine grind extract (FGE) and Kolbach index (KI). Wide variation in malt friability (30-85%) was observed, mostly by protein changes, thus the minimum value for genotype selection in breeding could not be determined based on FGE, viscosity wort, KI and extract difference. Significant friability changes (> 20%) and FGE (> 0.98%) appeared with protein variation greater than 1.40%. Considering these results, malt friability is

* Recibido: agosto de 2013
Aceptado: marzo de 2014

Los cambios significativos de friabilidad (>20%) y EMF (>0.98%) se presentaron con variación de proteína mayor a 1.40%. Considerando estos resultados, la friabilidad de malta no es una herramienta confiable en la discriminación de genotipos de cebada maltera durante el mejoramiento genético, donde los cambios de proteína son comunes entre generaciones filiales y ciclos agrícolas.

Palabras clave: calidad maltera, modificación del endospermo, proteína, mejoramiento genético.

Introducción

Los análisis de predicción de calidad durante el mejoramiento genético de cebada maltera son una herramienta útil cuando no se cuenta con suficiente cantidad de muestra para la evaluación de generaciones tempranas en diferentes etapas (<F₈), mientras que en líneas avanzadas se evalúan todos los aspectos relacionados al malteo. Considerando esto, se han generado propuestas sobre diferentes métodos de predicción de calidad maltera utilizando pruebas físicas en grano (*e.g.* tamaño y peso) o evaluando algunos parámetros después del malteo (*e.g.* crecimiento del acróspiro, viscosidad, extracto molienda fina) con limitada cantidad de muestra y bajo costo (Gianinetti *et al.*, 2005; Fox *et al.*, 2006; Osborne *et al.*, 2007; Psota *et al.*, 2007; Nagamine *et al.*, 2009), incluso para evaluaciones comerciales dentro de una misma variedad (Li *et al.*, 2008).

Los resultados más importantes en la selección de material segregante por predicción de calidad han sido los relacionados a la dureza del grano de cebada y a las características de modificación del endospermo durante el malteo debido a su composición (*e.g.* contenido de proteína). La dureza del grano está relacionada con la estructura del endospermo y afecta la modificación del endospermo durante el malteo debido a que limita la absorción de agua y transferencia de enzimas (Chandra *et al.*, 1999). Holopainen *et al.* (2005) reportaron que las características vítreas y harinosas del endospermo de cebada están directamente relacionadas con la calidad final de malta y se ha observado que el contenido de proteína es un factor importante en el comportamiento de diferentes genotipos durante y al final del malteo (Agu y Palmer, 2001; Ferrari *et al.*, 2010).

El objetivo del malteo es lograr adecuada modificación del endospermo para generar la calidad deseada de malta; lo cual, además del proceso, depende del genotipo y las

not a reliable tool in discriminating genotypes for malting barley breeding, where protein changes are common among filial generations and crop cycles.

Keywords: malting quality, endosperm modification, protein and breeding.

Introduction

Quality prediction analyses in malting barley breeding are useful when there is not enough sample for evaluation of early generations at different stages (< F₈), while in advanced lines all malting related aspects are evaluated. Considering this, different methods of malting quality prediction have been proposed, using physical grain tests (*e.g.* size and weight) or evaluating certain parameters after malting (*e.g.* acrospire growth, viscosity, fine grind extract) with limited amount of sample and low cost (Gianinetti *et al.*, 2005; Fox *et al.*, 2006; Osborne *et al.*, 2007; Psota *et al.*, 2007; Nagamine *et al.*, 2009), even for commercial evaluations within the same range (Li *et al.*, 2008).

The most relevant results in segregating material selection for quality prediction have been related to barley grain hardness and characteristics of endosperm modification during malting due to its composition (*e.g.* protein content). Grain hardness is linked to endosperm structure and affects endosperm modification during malting by limiting water uptake and enzyme transfer (Chandra *et al.*, 1999). Holopainen *et al.* (2005) reported that the vitreous and mealy characteristics of barley endosperm are directly related to malt final quality and it was observed that protein content is an important factor in the behavior of different genotypes during and at the end of malting (Agu and Palmer, 2001; Ferrari *et al.*, 2010).

The aim of malting is to achieve adequate endosperm modification to generate the desired malt quality, which, besides the process, depends on genotype and environmental conditions during the barley growing season (Molina-Cano *et al.*, 1995; Molin-Cano *et al.*, 1997). It has been noticed that factors like temperature and excessive nitrogen application for barley management affect protein levels, mainly hordeins (Qi *et al.*, 2006; Wei *et al.*, 2009).

condiciones ambientales presentes durante el desarrollo del cultivo de cebada (Molina-Cano *et al.*, 1995; Molina-Cano *et al.*, 1997). Se ha observado que diferentes factores como temperatura y la excesiva aplicación de nitrógeno durante el manejo de este cultivo afectan los niveles de proteína, principalmente hordeínas (Qi *et al.*, 2006; Wei *et al.*, 2009).

La modificación del endospermo de cebada es un término técnico usado para describir el rompimiento de las paredes celulares y la conversión, hasta cierto grado, de almidón a azúcares; así como la degradación de proteínas por acción enzimática. Las regiones bien modificadas del endospermo son friables (harinosas y fácilmente molidas), mientras que el endospermo no modificado es estructuralmente fuerte, compacto y relativamente no poroso. El proceso de modificación del endospermo está ligado a la síntesis de enzimas que inicia desde el remojo, y la etapa crítica es la fase final de la germinación (MacGregor, 1978; Kanauchi y Bamforth, 2008; Gianinetti, 2009); por lo que inadecuados procesos de malteo tienen efecto negativo en la degradación de componentes durante el proceso cervecero.

Se ha observado que la modificación del endospermo es un factor que afecta la fermentabilidad del mosto con la restricción del movimiento de enzimas debido a las altas viscosidades ocasionadas por la presencia de componentes de paredes celulares (β -glucanos y arabinosilanos) y la tardía liberación del almidón del endospermo no modificado en la maceración (Edney *et al.*, 2007). Debido a su importancia, la modificación del endospermo ha sido un aspecto ampliamente discutido (Briggs *et al.*, 1981; Briggs, 2002; O'Brien y Fowkes, 2005) y se han desarrollado análisis para evaluarla cuantitativamente como tinción de calcofluor, que evalúa la presencia de β -glucanos en paredes celulares (Aastrup y Erdal, 1980; Aastrup *et al.*, 1981), y friabilidad, que evalúa la resistencia mecánica del endospermo después del malteo (Giarratano y Thomas, 1986); aunque no se ha encontrado relación de estos análisis con el índice de Kolbach (Wentz *et al.*, 2004).

Según Kunze (2006), los valores de friabilidad aceptables en maltería son aquellos mayores a 75% y están basados en parámetros de modificación como índice de Kolbach, diferencia de extractos, viscosidad del mosto, entre otros. Fox *et al.* (2001) señalan que la friabilidad podría proveer información útil en la evaluación de material avanzado en un programa de mejoramiento, lo cual ayudaría a

Barley endosperm modification is a technical term used to describe cell wall breakdown and conversion, to some degree, of starch to sugars, and protein degradation by enzymes. Endosperm well modified regions are friable (mealy and easily crushed), whereas unmodified endosperm is structurally strong, compact and relatively non-porous. The endosperm modification process is linked to the synthesis of enzymes that starts from soaking, and the critical stage is the final stage of germination (MacGregor, 1978; Kanauchi and Bamforth, 2008; Gianinetti, 2009), thus inadequate malting processes have negative effects on components degradation during brewing.

It has been observed that endosperm modification is a factor affecting wort fermentability with restriction of enzymes mobility due to high viscosity caused by the presence of cell wall components (β -glucans and arabinosylans) and late starch release from the unmodified endosperm in maceration (Edney *et al.*, 2007). Because of its importance, endosperm modification has been a widely discussed aspect (Briggs *et al.*, 1981; Briggs, 2002; O'Brien and Fowkes, 2005) and some analyses have been developed for its quantitative evaluation such as calcofluor staining, which evaluates the presence of β -glucans in cell walls (Aastrup and Erdal, 1980; Aastrup *et al.*, 1981), and friability, which evaluates endosperm strength after malting (Giarratano and Thomas, 1986), but no relationship has been found between these analyses and Kolbach index (Wentz *et al.*, 2004).

According to Kunze (2006), acceptable friability values for malting are those greater than 75% and they are based on modification parameters such as Kolbach index, extract difference, wort viscosity, among others. Fox *et al.* (2001) note that friability could provide useful information for advanced material evaluation in a breeding program, which would help to quickly identify poorly modified malt samples before a complete analysis of malting quality. Considering this, friability analysis could be useful in the evaluation of uniform genotypes (>F5) which already have enough material, however, if applicable, the minimum value for material discrimination should be established. The aim of this study was to evaluate the analysis of malt friability in quality prediction in malting barley breeding and determine the minimum value for genotypes selection.

identificar de forma rápida muestras de malta modificada inadecuadamente antes de un análisis completo de calidad maltera. Considerando esto, el análisis de friabilidad podría ser de utilidad en la evaluación de genotipos uniformes ($>F_5$) donde ya se dispone de material suficiente; sin embargo, si fuera aplicable, debería establecerse el valor mínimo para la discriminación de material. El objetivo de este trabajo fue evaluar el análisis de friabilidad de malta en la predicción de calidad durante el mejoramiento de cebada maltera y determinar el valor mínimo para la selección de genotipos.

Materiales y métodos

Se analizaron diez genotipos mexicanos de cebada maltera proporcionados por el Programa Nacional de Cebada del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que incluyeron cinco variedades y cinco líneas avanzadas de seis hileras: Adabella, Alina, Armida, Esmeralda, Esperanza, M171, M173, M174, M175, M10542. Los materiales evaluados se seleccionaron en función del ciclo vegetativo, contemplando genotipos precoces, intermedios y tardíos; con periodo de madurez fisiológica de 100 a 130 días y rendimiento promedio de 5 500-10 000 kg ha⁻¹ en siembras de riego.

Las variedades Adabella y Esmeralda así como las líneas M171 y M175 son genotipos desarrollados para siembras de temporal (verano); mientras que el resto fueron desarrollados para siembras de riego (invierno). Las muestras fueron sembradas en dos ciclos agrícolas de riego: invierno 2008-2009 (C1) e invierno 2009-2010 (C2), en el Campo Experimental Bajío del INIFAP (20° 31' latitud norte, 100° 45' longitud oeste, 1 765 msnm) ubicado en Celaya, Guanajuato, México. La fecha de siembra fue el 15 de Diciembre y la cosecha fue el 30 de abril, y los riegos se dieron a los 0 (siembra), 45, 70 y 90 días con dosis de fertilización a la siembra de 140(N)-60(P)-00(K). Se sembraron doce repeticiones por genotipo en cada ciclo agrícola (n=120) en parcelas experimentales de 3.6 m² en un diseño en bloques completos al azar, con densidad de siembra de 100 kg ha⁻¹.

Preparación de muestras y micromalteo

Las muestras se limpiaron después de la cosecha y se almacenaron durante seis meses antes del malteo. Las muestras se uniformizaron sobre la criba 5.5/64 in (2.1828 mm) x 3/4 in (19.05 mm) y se eliminaron todos los granos

Materials and methods

Ten Mexican malting barley genotypes provided by the National Barley Program of the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) were analyzed, which included five varieties and five six-row advanced lines: Adabella, Alina, Armida, Esmeralda, Esperanza, M171, M173, M174, M175, M10542. The evaluated materials were chosen based on growth cycle, considering early, intermediate and late genotypes, with a physiological maturity period of 100-130 days and average yield of 5 500-10 000 kg ha⁻¹ in irrigated crops.

Adabella and Esmeralda varieties as well as M171 and M175 lines are genotypes developed for rainfed conditions (summer), while the rest were developed for irrigation conditions (winter). Samples were grown in two irrigation cycles: winter 2008 - 2009 (C1) and winter 2009-2010 (C2) in the Experimental Field Bajío of INIFAP (20° 31' north latitude, 100° 45' west longitude, 1 765 masl) located in Celaya, Guanajuato, Mexico. The planting date was December 15th, and harvest on April 30th, and irrigation was carried out on 0 (planting), 45, 70 and 90 days with fertilization doses of 140 (N)-60 (P)-00 (K). Twelve repetitions per genotype were planted in each crop cycle (n= 120) in experimental plots of 3.6 m² in a randomized complete block design, with planting density of 100 kg ha⁻¹.

Sample preparation and micromalting

Samples were cleaned after harvest and stored for six months before malting. Samples were size homogenized on the sieve, 5.5/64'' (2.1828 mm) x 3/4'' (19.05 mm) and hull-less and broken kernels were removed. A total of 200 g dry basis were malted for each repetition. Samples germination energy was 98-100 % and no water sensitivity is observed in samples (germination_{4mL-8mL} < 5), so micromalting conditions were: 30 h soaking at 16 °C (6 h immersion, 6 h aeration, 6 h immersion, 6 h aeration, 6 h immersion) with air injection during each immersion and grain moisture before germination was adjusted by weight to 45 ± 1%, 96 h germination without application of gibberellic acid at 16 °C with relative humidity in the germination chamber RH > 90 % and set to 45 ± 1% moisture by weight at 24 h and 48 h considering weight loss by respiration of 0.5 % and 1%, respectively (before

desnudos y quebrados. Se maltearon 200 g base seca por cada repetición. La energía de germinación de las muestras fue 98-100% y no se observó sensibilidad al agua en las muestras (Germinación_{4mL-8mL} < 5), por lo que las condiciones del micromalteo fueron: 30 h de remojo a 16 °C (6 h inmersión, 6 h aireación, 6 h inmersión, 6 h aireación, 6 h inmersión) con inyección de aire durante cada inmersión y la humedad del grano antes de la germinación se ajustó por peso a 45 ± 1%; 96 h de germinación sin aplicación de ácido giberélico a 16 °C con humedad relativa en la cámara de germinación H.R. > 90% y ajuste a 45 ± 1% de humedad por peso a las 24 h y 48 h considerando pérdidas de peso por respiración de 0.5% y 1%, respectivamente (antes de iniciar el secado se hizo el análisis de crecimiento del acróspiro); 30 h de secado con flujo de aire caliente y rampa de temperatura de 35 a 85 °C con 9 h a 35 °C, 7 h a 45 °C, 5 h a 55 °C, 5 h a 65 °C, 2 h a 75 °C y 2 h a 80 °C (se abrió 50% la recirculación del aire en las últimas 7 h). Después del secado, las muestras se limpiaron y el análisis de friabilidad se hizo a las 12 h. La humedad promedio de las maltas durante el análisis de friabilidad fue de 4.8% en ciclo 2008-2009 y 4.6% en ciclo 2009-2010. El resto de la muestra se almacenó por dos semanas antes del análisis de malta.

Análisis de malta

Los análisis de humedad, extracto molienda fina (EMF), extracto molienda gruesa (EMG), diferencia de extractos (DE), proteína total en malta (PT), proteína soluble en mosto (PS), índice de Kolbach (KI), viscosidad del mosto (visco), poder diastásico (PD), alfa amilasa (AA), friabilidad (fria) y crecimiento del acróspiro fueron realizados de acuerdo a los métodos estandarizados de la Sociedad Americana de Químicos Cerveceros (ASBC, 2009). El rendimiento maltero e índice de crecimiento del acróspiro se calcularon conforme lo descrito por Figueroa (1985). El análisis de friabilidad se hizo con un friabilímetro PFEUFFER (Pfeuffer GmbH Mess- und Prüfgeräte, Flugplatzstraße 70 D-97318, Kitzingen, Germany) calibrado con una malta estándar de 80% de friabilidad.

Análisis estadístico

Se hizo el análisis de varianza para todas las variables medidas con el programa SAS (2002) en bloques completos al azar con el procedimiento GLM. Las pruebas de comparación de medias se hicieron con la prueba de rango múltiple de Duncan y la interacción entre parámetros se calculó con coeficientes de correlación Pearson.

start drying, acrospire growth analysis was made); 30 h drying with hot air flow and temperature ramp from 35 to 85 °C with 9 h at 35 °C, 7 h at 45 °C, 5 h at 55 °C, 5 h at 65 °C, 2 h at 75 °C and 2 h at 80 °C (air recirculation was opened 50% on the last 7 h). After drying, samples were cleaned and friability analysis was done at 12 h. Malt average humidity during friability analysis was 4.8% in cycle 2008 to 2009 and 4.6% in cycle 2009-2010. The remaining sample was stored for two weeks before malt analysis.

Malt analysis

Moisture analysis, fine grind extract (FGE), coarse grind extract (CGE), extract difference (ED), total protein in malt (TP), soluble protein in wort (SP), Kolbach index (KI), wort viscosity (visco), diastatic power (DP), alpha amylase (AA), friability (fria) and acrospire growth were performed according to the American Society of Brewing Chemists (ASBC, 2009) standard methods. Malt yield and acrospire growth index were calculated according to Figueroa (1985). The friability analysis was done with a PFEUFFER friabilimeter (Pfeuffer GmbH Mess- und Prüfgeräte, Flugplatzstraße 70 D-97318, Kitzingen, Germany) calibrated with an 80% malt friability standard.

Statistical analysis

Analysis of variance for all variables was done using SAS software (2002) in a randomized complete block design with the GLM procedure. Mean comparison tests were made with the Duncan's multiple range test and interaction between parameters was calculated with Pearson correlation coefficients.

Results and discussion

Interaction of malting quality parameters

Malting parameters which correlated with friability were FGE, TP, DP and KI. These parameters also showed interaction with others related to barley endosperm modification such as wort viscosity, AA, ED and SP (Table 1).

Resultados y discusión

Interacción de parámetros de calidad maltera

Los parámetros analizados en malta correlacionados con friabilidad de malta fueron EMF, PT, KI y PD. También existió interacción de estos parámetros con otros relacionados a modificación del endospermo de cebada como viscosidad del mosto, AA, DE y PS (Cuadro 1).

The relationship between wort viscosity and KI is defined by endosperm modification, where enzymes which hydrolyze proteins, cell walls and starch are generated during germination and maceration (Briggs *et al.*, 1981), which explains the correlation found between ED and wort viscosity. These interactions have been reported in other studies for malt quality prediction and monitoring of endosperm modification in barley malting (Giarratano and Thomas, 1986; Arends *et al.*, 1995; Molina -Cano *et al.*, 1997; Wentz *et al.*, 2004).

Cuadro 1. Correlación de parámetros de calidad maltera en cebada cultivada durante los ciclos invierno 2008-2009 e invierno 2009-2010 en Celaya, Guanajuato.

Table 1. Malting quality parameters correlation in barley grown during the winter 2008-2009 and winter 2009-2010 cycles in Celaya, Guanajuato.

	EMF	PT	PS	Visco	PD	AA	KI	DE
Fria	0.631**	-0.812**	-0.446**	-0.281**	-0.506**	-0.059	0.522**	-0.155
EMF		-0.605**	-0.263**	-0.061	-0.279**	0.046	0.470**	0.021
PT			0.708**	0.071	0.635**	0.259**	-0.422**	-0.023
PS				-0.333**	0.649**	0.549**	0.336**	-0.336**
Visco					-0.124	-0.412**	-0.532**	0.574**
PD						0.293**	-0.015	-0.094
AA							0.351**	-0.349**
KI								-0.410**

EMF= extracto molienda fina; fría= friabilidad; PT= proteína total en malta; PS= proteína soluble; visco= viscosidad del mosto; PD= poder diastásico; AA= alfa amilasa; KI= índice de Kolbach; DE= diferencia de extractos. ** $p \leq 0.01$.

La relación entre viscosidad del mosto y KI está definida por la modificación del endospermo, donde se generan las enzimas que hidrolizan proteínas, paredes celulares y almidón durante los procesos de germinación y maceración (Briggs *et al.*, 1981); lo cual explica la correlación encontrada de DE con la viscosidad del mosto. Estas interacciones ya han sido reportadas en otros trabajos para la predicción de calidad en malta y monitoreo de la modificación del endospermo durante el malteo de cebada (Giarratano y Thomas, 1986; Arends *et al.*, 1995; Molina-Cano *et al.*, 1997; Wentz *et al.*, 2004).

Por otro lado, se observó que DE no se predice mediante el análisis de friabilidad de malta (Cuadro 2). En todos los genotipos se observó alta correlación de friabilidad de malta con el porcentaje de proteína ($p \leq 0.01$); sin embargo, Esperanza, M171 y M10542 no presentaron correlación de EMF con PT.

Furthermore, it was observed that ED is not predicted by malt friability analysis (Table 2). All genotypes showed high malt friability correlation with protein percentage ($p \leq 0.01$). However, Esperanza, M171 and M10542 showed no correlation of FGE with TP.

Malt friability and endosperm modification during malting

Strong influence of protein content variation on malt final quality was observed in Alina, Armida, M175 and M173 (Table 3). The main effects of this variation were reflected in malt friability and FGE. M175 showed the major protein change between the evaluated crop cycles with 3.4% reduction in the second cycle, while malt friability increased 35%. Changes in malt friability due to protein variation were proportional in the other three genotypes, with FGE increases lower than those observed in

Cuadro 2. Correlación de friabilidad de malta con parámetros de calidad maltera en genotipos mexicanos de cebada cultivados en los ciclos invierno 2008- 2009 e invierno 2009-2010 en Celaya, Guanajuato.**Table 2. Malt friability correlation with malting quality parameters in Mexican barley genotypes grown in winter 2008 -2009 and winter 2009 - 2010 cycles in Celaya, Guanajuato.**

Genotipo	EMF	PT	PS	Visco	PD	AA	KI	DE
Adabella	0.582**	-0.911**	-0.596**	-0.360	-0.714**	0.033	0.677**	-0.346
Alina	0.657**	-0.917**	-0.865**	0.637**	-0.434*	-0.833**	0.795**	0.353
Armida	0.881**	-0.957**	-0.872**	-0.117	-0.793**	-0.637**	0.707**	0.258
Esmeralda	0.373	-0.919**	-0.890**	-0.021	-0.636**	-0.706**	-0.078	0.171
Esperanza	0.288	-0.920**	-0.759**	-0.734**	-0.271	-0.228	0.145	0.055
M171	-0.168	-0.458*	-0.210	0.079	-0.347	-0.329	0.162	-0.122
M173	0.803**	-0.946**	-0.899**	-0.926**	-0.689**	-0.310	0.841**	0.039
M174	0.424*	-0.726**	-0.269	-0.447*	-0.274	0.338	0.619**	-0.022
M175	0.832**	-0.959**	-0.929**	0.518*	-0.970**	-0.860**	0.782**	0.218
M10542A	0.343	-0.812**	-0.586**	-0.788**	-0.724**	-0.164	0.259	-0.580**

EMF= extracto molienda fina; PT= proteína total en malta; PS= proteína soluble; visco= viscosidad del mosto; PD= poder diastásico; AA= alfa amilasa; KI= índice de Kolbach; DE= diferencia de extractos. * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$.

Friabilidad de malta y modificación del endospermo durante el malteo

Se observó fuerte influencia de la variación del contenido de proteína sobre la calidad final de malta en Alina, Armida, M175 y M173 (Cuadro 3). Los principales efectos de esta variación se reflejaron en friabilidad de malta y EMF. El mayor cambio de proteína entre los ciclos agrícolas evaluados lo presentó M175 con reducción de 3.4% en el segundo ciclo, mientras que la friabilidad de malta incrementó 35%. Los cambios en friabilidad de malta debidos a la variación de proteína fueron proporcionales en los otros tres genotipos, con aumentos de EMF menores a los observados en M175. Además de la variación de proteína, el amplio rango de friabilidad de malta (30-85%) dificultó determinar el valor mínimo para la selección de genotipos, debido a que EMF > 79% se obtuvo con friabilidad de malta de 60-80% y PT de 8.7-10.9%, similar a lo reportado por Pitz (1990) en maltas canadienses de seis hileras; mientras que EMF de 78-79% se obtuvo con friabilidad de malta de 40-85% y PT de 9.0-12.3%.

Este comportamiento no fue igual en todos los genotipos y en algunos el EMF fue menor a 75% con KI de 27-37% y friabilidad de malta de 30-62%. M173, M175, M10542, Armida, Alina, Esmeralda y Adabella mostraron muy baja friabilidad de malta; sin embargo, M173 tuvo EMF de 77-80% con friabilidad de malta de 38-76%, aunque la viscosidad del mosto fue más alta en las muestras con baja friabilidad de malta.

M175. Besides protein variation, the wide range of malt friability (30-85%) hindered the minimum value determination for genotype selection, because FGE > 79% was obtained with 60-80% malt friability and 8.7-10.9% TP, similar to that reported by Pitz (1990) in Canadian six-row malts, while 78-79% FGE was obtained with 40-85% malt friability and 9.0-12.3% TP.

This behavior was not the same in all genotypes and in some FGE was less than 75% with 27-37% KI and 30-62% malt friability. M173, M175, M10542, Armida, Alina, Esmeralda and Adabella showed very low malt friability, but M173 had 77-80% FGE with 38-76% malt friability although wort viscosity was higher in samples with low malt friability.

Wort and beer viscosity is related to β -glucans and xylans content which failed to degrade during malting, which are the principal component of the endosperm cell walls and its breakdown depends on different enzymes access to protein bodies or starch, whereby low friability and wort viscosity increase are associated to the interaction of β -glucans and xylans with malt friability, wort viscosity and ED (Smart *et al.*, 1993; Schwarz and Han, 1995; Han and Schwarz, 1996; Edney *et al.*, 1998; Sadosky *et al.*, 2002). In this study, malts with less than 1.54 cp viscosity (maximum value set to malting barley breeding in Mexico) had 30-84% malt friability and 30-41% KI.

Cuadro 3. Friabilidad (fría), extracto molienda fina (EMF) y proteína total (PT) en malta de genotipos mexicanos de cebada maltera cultivados en los ciclos invierno 2008-2009 (C1) e invierno 2009- 2010 (C2) en Celaya, Guanajuato.

Table 3. Friability (fria), fine grind extract (FGE) and total protein (TP) in malt from Mexican malting barley genotypes grown in winter 2008-2009 (C1) and winter 2009-2010 (C2) in Celaya, Guanajuato.

Genotipo	Fria (%)		EMF (% b.s. ²)		PT (% b.s.)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Esperanza	68.60a ¹	77.89b	77.17a	77.45a	10.53a	9.56b
M174	66.50a	63.13a	77.63a	77.35a	10.49a	10.49a
M171	60.84a	64.30a	78.10a	77.62a	12.02a	11.58a
Alina	49.33a	73.46b	76.59a	78.23b	11.38a	9.84b
M175	41.62a	76.91b	75.57a	78.25b	12.87a	9.46b
M173	49.12a	71.57b	78.04a	79.02b	11.64a	9.49b
M10542	51.73a	59.64b	77.01a	76.79a	10.70a	9.34b
Esmeralda	46.56a	61.10b	76.36a	76.76a	12.12a	10.80b
Armida	43.35a	62.95b	74.33a	76.59b	12.54a	10.31b
Adabella	46.78a	50.26a	75.91a	75.40a	11.91a	11.48a

¹medias con diferente letra entre columnas, por parámetro, son diferentes estadísticamente. Diferencias por rango múltiple de Duncan ($p \leq 0.05$); ²base seca.

La viscosidad en el mosto y la cerveza está relacionada al contenido de β -glucanos y xilanos que no lograron degradarse durante el malteo, los cuales son el principal componente de las paredes celulares del endospermo y su rompimiento depende del acceso de diferentes enzimas a los cuerpos proteicos o almidón; por lo que la baja friabilidad de malta e incremento de la viscosidad del mosto están asociados a la interacción de β -glucanos y xilanos con friabilidad de malta, viscosidad del mosto y DE (Smart *et al.*, 1993; Schwarz y Han, 1995; Han y Schwarz, 1996; Edney *et al.*, 1998; Sadosky *et al.*, 2002). En este trabajo, las maltas con viscosidad menor a 1.54 cp (valor máximo establecido para el mejoramiento de cebada maltera en México) tuvieron friabilidad de malta de 30-84% y KI de 30-41%.

Considerando el valor mínimo de friabilidad de malta (75%) señalado por Kunze (2006) para la evaluación de la modificación del endospermo a nivel industrial, los parámetros de calidad en malta en los genotipos evaluados fueron EMF de 76-80%, AA de 20-57 UD 20 °C, PD de 85-155 °ASBC, PT de 8.5-10.5%, viscosidad de 1.50-1.90 cp, KI de 34-45% y DE de 0.0-1.7%; por lo que este valor no predice la adecuada modificación del endospermo de cebada durante el malteo. Éstos resultados permiten inferir que la mayoría del material analizado mantiene cierta dureza posterior al malteo.

La incidencia de maltas duras ya ha sido estudiada (Thomas, 1986); las cuales son maltas bien modificadas, determinado por tinción de calcofluor o análisis ASBC, pero no son

Considering the minimum value of malt friability (75%) reported by Kunze (2006) for evaluation of endosperm modification in industry, malt quality parameters in the studied genotypes were 76-80% FGE, 20-57 U of AA at 20 °C, 85-155 ° ASBC DP, 8.5-10.5 % TP, 1.50-1.90 cp viscosity, 34-45% KI and 0.0-1.7% ED, so this value does not predicts adequate endosperm modification during malting barley. These results indicate that most of the analyzed material maintain certain hardness after malting.

The incidence of hard malts has already been studied (Thomas, 1986), which are well modified malts as determined by calcofluor staining or ASBC analysis, but they are not ground in a standard malt friability analysis such as the Esperanza variety with 60-84% malt friability, 1.50-1.60 cp viscosity, 76-79% FGE, 0.0-1.7% ED and 35-42% KI, in which no significant protein variation was observed in evaluated crop cycles.

Evaluation of protein content change and its effect on endosperm modification factors, has been done in other studies considering the natural variation among crop cycles. Agu and Palmer (2001) assessed materials with differences of 1.25% and 1.88% in protein (N x 6.25) and found that despite the similarities in the initial beta-glucan content of barley, during malting, modification is slower when the protein content is higher, which was reflected in low malt friability during the first germination days,

molidas en un análisis estándar de friabilidad de malta como la variedad Esperanza, con friabilidad de malta 60-84%, viscosidad 1.50-1.60 cp., EMF 76-79%, DE 0.0-1.7% y KI 35-42%, en la cual no se observó variación significativa de proteína entre los ciclos agrícolas evaluados.

La evaluación del cambio en el contenido de proteína y su efecto en los factores de modificación del endospermo, se ha hecho en otras investigaciones considerando la variación natural de un ciclo agrícola a otro. Agu y Palmer (2001) evaluaron materiales con diferencias de 1.25% y 1.88% de proteína (N x 6.25) y encontraron que a pesar de las similitudes en el contenido inicial de beta-glucanos en cebada, la modificación durante el malteo es más lenta cuando el contenido de proteína es mayor; lo cual se reflejó en baja friabilidad de malta durante los primeros días de germinación; sin embargo, la degradación de beta-glucanos al igual que la friabilidad de malta al final del malteo fueron similares a los obtenidos en la muestras con bajo contenido de proteína.

En este trabajo, los cambios significativos de friabilidad (>20%) y EMF (>0.98%) ocurrieron con variación de proteína mayor a 1.40% entre los dos ciclos agrícolas evaluados (Figuras 1 y 2), mientras que cambios menores no afectaron parámetros de modificación del endospermo. Los genotipos Esmeralda, Esperanza y M10542 mostraron diferencias significativas en friabilidad de malta con desviación estándar de 4.3% a 9.7%; sin embargo, los valores de EMF no cambiaron (Cuadro 3). Esto concuerda con lo reportado por Benard y Lie (1993), quienes determinaron que el coeficiente de variación del análisis de friabilidad de malta es $\pm 5\%$ debido a desviaciones del friabilímetro cuando se analizan muestras con baja friabilidad de malta; además de las desviaciones del experimento.

however at the end of malting, beta-glucans degradation and malt friability were similar to those obtained in low protein samples.

In this work, significant friability (> 20%) and FGE (> 0.98%) changes occurred with protein variation greater than 1.40% between the two evaluated crop cycles (Figures 1 and 2), while minor changes did not affect endosperm modification parameters. Esmeralda, Esperanza and M10542 genotypes showed significant differences in malt friability with standard deviation from 4.3% to 9.7%, but FGE did not change (Table 3). This is consistent with Benard and Lie (1993), who found that the variation coefficient in malt friability analysis is $\pm 5\%$ due to friabilimeter deviations in low malt friability samples, plus experimental deviations.

Concerning protein solubilization in malting, KI range was very wide (26-45%) and less than 38% in 89% of genotypes, however, in genotypes with FGE higher than 79%, KI was 34-41%. KI was observed to decrease with increasing protein (Table 4), which is related to water absorption and distribution differences in high protein genotypes; hindering proteolytic enzymes access into endosperm cells (Chandra *et al.*, 1999).

DP, AA and SP parameters showed no tendency with respect to protein variations, although significant reduction was observed in the DP of the M175 line with protein decrease in the second cycle, due to correlation between protein content and beta-amylase activity, a major component of diastatic power (Gibson *et al.*, 1995; Wei *et al.*, 2009). Regarding acrospire growth, all genotypes

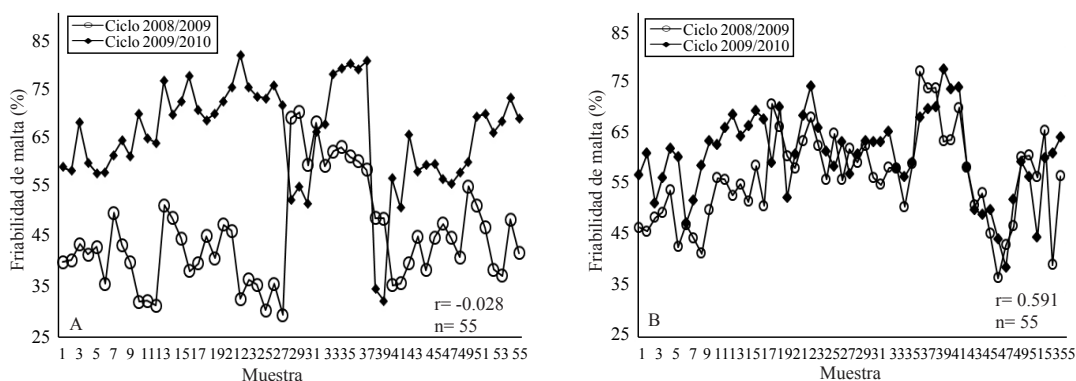


Figura 1. Friabilidad de malta de genotipos mexicanos de cebada maltera en función de la variación de proteína entre dos ciclos agrícolas. A>1.40%; B≤1.40%.

Figure 1. Malt friability of Mexican malting barley genotypes based on protein variation between two crop cycles. A> 1.40%, B≤ 1.40%.

Al considerar la solubilización de proteína durante el malteo, el rango de KI fue muy amplio (26-45%) y en 89% de los genotipos fue menor a 38%; sin embargo, en los genotipos con EMF mayor a 79% el KI fue 34-41%. Se observó que el KI disminuyó con el aumento de proteína (Cuadro 4), lo cual está relacionado a las diferencias de absorción y distribución de agua en los genotipos con mayor proteína; dificultando el acceso de enzimas proteolíticas a las células del endospermo (Chandra *et al.*, 1999).

developed well in the range 3/4 - 1 of grain length except the line M10542, with the lowest soluble protein, however, growth rate in all genotypes was similar between cycles (Tables 5 and 6).

Observed growth rate is consistent with Gianinetti *et al.* (2005), who note that acrospire growth is a high heritability parameter, mostly related to KI, AA, water absorption rate and malt yield.

Cuadro 4. Viscosidad (visco), diferencia de extractos (DE) e índice de Kolbach (KI) en malta y mosto de genotipos mexicanos de cebada maltera cultivados en los ciclos invierno 2008-2009 (C1) e invierno 2009-2010 (C2) en Celaya, Guanajuato.
Table 4. Viscosity (visco), extract difference (ED) and Kolbach index (KI) in malt and wort from Mexican malting barley genotypes grown in winter 2008 - 2009 (C1) and winter 2009-2010 (C2) cycles, in Celaya, Guanajuato.

Genotipo	Visco (cp ¹)		DE (%)		KI (%)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Esperanza	1.56a ²	1.54a	0.82a	1.03a	38.48a	37.24b
M174	1.59a	1.62a	1.07a	1.19a	36.81a	38.12a
M171	1.78a	1.94b	1.42a	1.95a	32.62a	31.34a
Alina	1.62a	1.86b	0.86a	1.53b	31.73a	33.64b
M175	1.54a	1.62b	0.56a	0.63a	34.12a	36.48b
M173	1.74a	1.61b	0.80a	0.82a	35.84a	38.37b
M10542	2.26a	1.90b	2.31a	2.28a	30.96a	29.82a
Esmeralda	1.78a	1.80a	1.41a	1.58a	35.64a	34.41b
Armida	1.92a	1.90a	1.27a	1.59a	32.27a	33.43a
Adabella	1.72a	1.74a	1.80a	1.70a	33.66a	32.17a

¹centipoise; ²medias con diferente letra entre columnas por parámetro son diferentes estadísticamente. Diferencias por rango múltiple de Duncan ($p \leq 0.05$).

Los parámetros PD, AA y PS no presentaron tendencia respecto a las variaciones de proteína, aunque sí se observó reducción significativa en el PD de la línea M175 con relación a la disminución de proteína en el segundo ciclo, lo cual se debe a la correlación entre el contenido de proteína y la actividad de beta-amilasa, mayor componente del poder diastásico (Gibson *et al.*, 1995; Wei *et al.*, 2009). Respecto al crecimiento del acróspiro, todos los genotipos tuvieron buen desarrollo en el rango de 3/4 - 1 de la longitud del grano a excepción de la línea M10542, la cual generó la proteína soluble más baja; sin embargo, el índice de crecimiento en todos los genotipos fue igual entre ciclos (Cuadros 5 y 6).

Lo observado en el Índice de Crecimiento concuerda con lo reportado por Gianinetti *et al.* (2005), quienes señalan que el crecimiento del acróspiro es un parámetro de alta heredabilidad y se relaciona principalmente a KI, AA, velocidad de absorción de agua y rendimiento maltero.

Friability analysis usefulness for quality prediction in breeding

The analyzed genotypes showed a wide range of malt friability and different quality, but a minimum value for material discrimination could not be determined. Malt friability values were mostly associated to protein variation, which affected parameters of barley endosperm modification. Protein variations causing changes in malt quality parameters are different for each genotype, which depends largely on endosperm structure.

In this study, endosperm structure was not assessed however some reported that protein content has significant effects on vitreous or mealy texture of barley grains (Chandra *et al.*, 1999. Holopainen *et al.*, 2005, Ferrari *et al.*, 2010). This is important in malting of different genotypes for evaluation of endosperm modification and malt quality in malting barley breeding, where individual features must be considered (*e.g.* protein content and

Cuadro 5. Poder diastásico (PD), alfa amilasa (AA) y proteína soluble (PS) en malta y mosto de genotipos mexicanos de cebada maltera cultivados en los ciclos invierno 2008-2009 (C1) e invierno 2009-2010 (C2) en Celaya, Guanajuato.

Table 5. Diastatic power (DP), alpha amylase (AA) and soluble protein (SP) in malt and wort from Mexican malting barley genotypes grown in winter 2008 - 2009 (C1) and winter 2009-2010 (C2) cycles in Celaya, Guanajuato.

Genotipo	PD (°ASBC b.s.)		AA (U.D. 20°C b.s.)		PS (% b.s.)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Esperanza	112.98a ¹	112.36a	51.55a	41.61b	4.05a	3.56b
M174	104.75a	145.01b	49.36a	36.32b	3.85a	3.98a
M171	141.38a	127.23b	48.68a	32.93b	3.92a	3.63b
Alina	117.33a	111.77a	30.84a	22.31b	3.60a	3.31b
M175	147.84a	97.01b	53.00a	38.46b	4.38a	3.44b
M173	150.75a	136.98b	47.81a	40.83b	4.17a	3.64b
M10542	108.39a	101.32b	40.20a	29.88b	3.31a	2.78b
Esmeralda	167.84a	154.40b	41.88a	33.83b	4.32a	3.71b
Armida	134.24a	114.96b	34.26a	28.43b	4.03a	3.43b
Adabella	126.78a	131.23a	36.23a	29.74b	3.99a	3.67b

°ASBC = grados ASBC; U.D. 20°C = unidades de dextrinificación a 20°C; b.s. = base seca; ¹medias con diferente letra entre columnas, por parámetro, son diferentes estadísticamente. Diferencias por rango múltiple de Duncan ($p \leq 0.05$).

Cuadro 6. Crecimiento del acróspiro en función de la longitud del grano a las 96 h de germinación durante el malteo de genotipos mexicanos de cebada cultivados en los ciclos invierno 2008-2009 (C1) e invierno 2009-2010 (C2) en Celaya, Guanajuato.

Table 6. Acrospire growth as a function of grain length after 96 h of germination during malting of Mexican barley genotypes grown in winter 2008 - 2009 (C1) and winter 2009-2010 (C2) cycles in Celaya, Guanajuato.

Genotipo	1/2-3/4		3/4-1		IC ¹		RM ²
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	
Esperanza	4	6	91	93	99.8a ³	98.4a	93.52
M174	2	3	92	96	99.8a	99.3a	93.83
M171	4	9	88	87	101.9a	95.5a	93.67
Alina	8	4	86	95	97.2a	99.0a	94.29
M175	3	2	93	95	98.0a	99.0a	94.23
M173	5	3	88	95	96.4a	98.4a	95.34
M10542	20	46	71	50	90.3a	86.3a	95.87
Esmeralda	5	4	92	95	98.8a	99.3a	93.91
Armida	8	6	86	94	96.0a	98.5a	94.11
Adabella	8	14	88	85	97.7a	96.0a	95.26

¹índice de crecimiento = (granos muertos x 0) + (0-1/4 x 0.25) + (1/4-1/2 x 0.50) + (1/2-3/4 x 0.75) + (3/4-1 x 1) + (1-1 1/2 x 1.5); ²rendimiento maltero promedio. ³medias con diferente letra entre columnas, por parámetro, son diferentes estadísticamente. Diferencias por rango múltiple de Duncan ($p \leq 0.05$).

Utilidad del análisis de friabilidad en la predicción de calidad durante el mejoramiento

Los genotipos analizados mostraron amplio rango de friabilidad de malta y diferente calidad; sin embargo, no fue posible establecer un valor mínimo para la discriminación de material. Los valores de friabilidad de malta estuvieron asociados principalmente a la variación de proteína; lo cual

distribution, water sensitivity, germination energy) prior to discrimination analysis since variations in endosperm modification rate depend, among other factors, on water absorption and distribution in soaking (Gianinetti *et al.*, 2005).

Thus, malt friability analysis for quality prediction must be considered only in single genotype monitoring with protein variation within limits observed in this study

afectó los parámetros de modificación del endospermo de cebada. Las variaciones de proteína que generan cambios en los parámetros de calidad maltera son diferentes para cada genotipo, lo cual depende en gran medida de la estructura de su endospermo.

En este trabajo no se evaluó la estructura del endospermo; sin embargo, ya se ha reportado que el contenido de proteína tiene efectos importantes en la consistencia vítrea o harinosa de un grano de cebada (Chandra *et al.*, 1999; Holopainen *et al.*, 2005; Ferrari *et al.*, 2010). Esto es importante en el malteo de diferentes genotipos para la evaluación de la modificación del endospermo y calidad de malta durante el mejoramiento de cebada maltera, donde se deben considerar características individuales (e.g. contenido y distribución de proteína, sensibilidad al agua, energía de geminación) previo a los análisis de discriminación; debido a que las variaciones en la velocidad de modificación del endospermo dependen, entre otros factores, de la absorción y distribución de agua durante el remojo (Gianinetti *et al.*, 2005).

Por lo tanto, el análisis de friabilidad de malta para la predicción de calidad debe considerarse únicamente en el monitoreo individual de genotipos cuando la variación de proteína no supere el límite observado en esta investigación (1.40%); sin embargo, el contenido de proteína de una generación a otra puede variar dentro de los valores observados en este experimento sin exceder los límites promedio establecidos (10-13%) para el mejoramiento de cebada maltera en diferentes programas (Rasmusson, 1985; Pitz, 1990; Fox *et al.*, 2003).

Ferrari *et al.* (2010) encontraron que la variación natural de proteína y su efecto en la dureza de la malta se debe principalmente a factores ambientales y no genéticos, señalando que los aumentos de proteína afectan principalmente la cantidad y distribución de Hordeínas; donde el exceso de fertilización nitrogenada durante el cultivo de cebada aumenta su proporción (Qi *et al.*, 2006). Las variaciones de proteína observadas en esta investigación estuvieron dentro del rango establecido para el mejoramiento genético de cebada maltera de seis hileras en México (Figueroa, 1985); pero las diferencias encontradas tuvieron efecto en la friabilidad de malta, a pesar de las condiciones controladas de irrigación y aplicación de nitrógeno durante el manejo del cultivo.

(1.40%), however, protein content may vary from one generation to the next within the range observed in this experiment without exceeding average limits set (10-13%) for malting barley in different breeding programs (Rasmusson, 1985; Pitz, 1990; Fox *et al.*, 2003).

Ferrari *et al.* (2010) found that natural protein variation and its effect on malt hardness is mostly due to environmental factors and not genetic, indicating that protein increase mainly affect the amount and distribution of hordein, where excess nitrogen fertilization during barley growing increases its ratio (Qi *et al.*, 2006). Protein variations observed in this study were within the range set for six-row malting barley breeding in Mexico (Figueroa, 1985), but differences found had an effect on malt friability, despite the controlled conditions of irrigation and nitrogen application for crop management.

Furthermore, in malting barley breeding for rainfed conditions in Mexico a wide protein variation has been observed, up to 3-4% in the same genotype from a crop cycle to the next under reduced rainfall or other stress during growing period, but Kolbach index has been reported unchanged (Figueroa, 1985), in contrast with our experiment, which could be genotype-related. Assessment of these factors is essential for breeders during selection in early generations where segregation in malt quality has been relevant in addition to agronomic variables (Foster *et al.*, 1967; Goblirsch *et al.*, 1996).

Conclusions

Malt friability is not in the malting barley breeding toolbox since, a minimum friability value cannot be set for genotype discrimination regarding malt quality. Significant changes in malt and fine grind extract friability occur when protein variation between two crop cycles is greater than 1.40%.

End of the English version



Por otro lado, durante el mejoramiento de la cebada maltera para condiciones de temporal en México se ha observado que la variación de proteína es muy amplia y puede llegar a ser de 3-4% en un mismo genotipo de un ciclo agrícola a otro cuando existe reducción en niveles de precipitación pluvial u otro tipo de estrés durante el cultivo; sin embargo, el índice de Kolbach se ha reportado sin variación (Figueroa, 1985), contrario a lo observado en este experimento; lo cual podría estar relacionado al genotipo. La evaluación conjunta de estos factores es indispensable para el mejorador durante la selección en generaciones tempranas donde la segregación de calidad maltera ha sido un factor importante, además de las variables agronómicas (Foster *et al.*, 1967; Goblirsch *et al.*, 1996).

Conclusiones

La friabilidad de malta no es una herramienta aplicable en el mejoramiento genético de cebada maltera debido a que, considerando la calidad de malta, no es posible establecer un valor mínimo de friabilidad para la discriminación de genotipos. Se observó que los cambios significativos de friabilidad de malta y extracto molienda fina se presentan cuando la variación de proteína entre dos ciclos agrícolas es mayor a 1.40%.

Literatura citada

- Astrup, S. and Erdal, K. 1980. Quantitative determination of endosperm modification and its relationship to the content of 1,3:1,4- β -glucans during malting of barley. *Carlsberg Research Communications* 45:369-379.
- Astrup, S.; Gibbons, G.C. and Munck, L. 1981. A rapid method for estimating degree of modification in barley malt by measurement of cell wall breakdown. *Carlsberg Res. Comm.* 46:77-86.
- Agu, R. C. and Palmer, G. H. 2001. The effect of nitrogen level on the performance of malting barley varieties during germination. *J. Institute Brewing.* 107(2): 93-98.
- American Society of Brewing Chemists (ASBC). 2009. *Methods of Analysis*. ASBC, 3340 Pilot Knob Road, St. Paul, MN 55121, USA.
- Arends, A. M.; Fox, G. P.; Henry, R. J.; Marschke, R. J. and Symons, M. H. 1995. Genetic and environmental variation in the diastatic power of Australian barley. *J. Cereal Sci.* 21:63-70.
- Benard, M. and Lie, S. 1993. Comments on the determination of friability and unmodified grains. *J. Institute Brewing.* 99:137-138.
- Briggs, D. E.; Hough, J. S.; Stevens, R. and Young, T. W. 1981. *Malting and Brewing Science. Volume 1: Malt and Sweet Wort*. Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8 HN, UK. 387 p.
- Briggs, D. E. 2002. Malt modification- a century of evolving views. *J. Institute Brewing.* 108(4): 395-405.
- Chandra, G. S.; Proudlove, M. O. and Baxter, E. D. 1999. The structure of barley endosperm- an important determinant of malt modification. *J. Sci. Food Agric.* 79:37-46.
- Edney, M. J.; LaBerge, D. E. and Langrell, D. E. 1998. Relationships among β -glucan contents of barley, malt, malt congress extract and beer. *J. Am. Soc. Brewing Chem.* 56(4):164-168.
- Edney, M. J.; Eglinton, J. K.; Collins, H. M.; Barr, A. R.; Legge, W. G. and Rosnagel, B. G. 2007. Importance of endosperm modification for malt wort fermentability. *J. Institute Brewing.* 113(2):228-238.
- Ferrari, B.; Baronchelli, M. M.; Stanca, A. and Gianinetti, A. 2010. Constitutive differences between steely and mealy barley samples associated with endosperm modification. *J. Sci. Food Agric.* 90:2105-2113.
- Figueroa, J. C. 1985. Métodos para evaluar la calidad maltera en cebada. Tema didáctico 17. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). México, D. F. 115 pp.
- Foster, A. E.; Peterson, G. A. and Banasik, O. J. 1967. Heritability of factors affecting malting quality of barley, *Hordeum vulgare* L., emend. *Lam. Crop Sci.* 7:611-613.
- Fox, G. P.; Onley, K.; Ferguson, R.; Skerman, A. and InKerman, A. 2001. The friabilimeter as a tool in assessing malt quality in a breeding program. *Proceedings of the 10th Australian Barley Technical Symposium 2001*.
- Fox, G. P.; Panozzo J. F.; Li, C. D.; Lance, R. C. M.; InKerman, P. A. and Henry, R. J. 2003. Molecular basis of barley quality. *Australian J. Agric. Res.* 54:1081-1101.
- Fox, G. P.; Kelly, A.; Poulsen, D.; InKerman, A. and Henry, R. 2006. Selecting for increased barley grain size. *Journal of Cereal Science.* 43:198-208.
- Gianinetti, A.; Toffoli, F.; Cavallero, A.; Delogu, G. and Stanca, A. M. 2005. Improving discrimination for malting quality in barley breeding programmes. *Field Crops Res.* 94:189-200.
- Gianinetti, A. 2009. A theoretical framework for β -glucan degradation during barley malting. *Theory in Biosciences.* 128:97-108.
- Giarratano, C. E. and Thomas, D. A. 1986. Rapid malt modification analyses in a production malthouse: Friabilimeter and calcofluor methodologies. *J. Am. Soc. Brewing Chem.* 44(2):95-97.
- Gibson, T. S.; Solah, V.; Holmes, M. R. G. and Taylor, H. R. 1995. Diastatic Power in malted barley: Contributions of malt parameters to its development and the potential of barley grain *beta*-amylase to predict malt diastatic power. *J. Institute Brewing.* 101:277-280.
- Goblirsch, C. A.; Horsley, R. D. and Schwarz, P. B. 1996. A strategy to breed low-protein barley with acceptable kernel color and diastatic power. *Crop Sci.* 36(1):41-44.
- Han, J. Y. and Schwarz, P. B. 1996. Arabinoxylan composition in barley, malt and beer. *J. Am. Soc. Brewing Chem.* 54(4):216-220.
- Holopainen, U. R. M.; Wilhelmson, A.; Salmenkallio-Marttila, M.; Peltonen-Sainio, P.; Rajala, A.; Reinikainen, P.; Kotaviita E.; Simolin, H. and Home, S. 2005. Endosperm structure affects the malting quality of barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Agric. Food Chem.* 53:7279-7287.
- Kanauchi, M. and Bamforth, C. W. 2008. The relevance of different enzymes for the hydrolysis of β -glucans in malting and mashing. *J. Institute Brewing.* 114(3):224-229.
- Kunze, W. 2006. *Tecnología para cerveceros y malteros*. Primera edición en español. VLB Berlín, Seestraße 13, 13353 Berlín, Alemania. 1075 p.

- Li, Y.; Schwarz P. B.; Barr, J. M. and Horsley, R. D. 2008. Factors predicting malt extract within a single barley cultivar. *J. Cereal Sci.* 48:531-538.
- MacGregor, A. W. 1978. Changes in α -amylase enzymes during germination. *J. Am. Soc. Brewing Chem.* 36:1-5.
- Molina-Cano, J. L.; Ramo, T.; Ellis, R. P.; Swanston, J. S.; Bain, H.; Uribe-Echeverría, T. and Perez-Vendrell, A. M. 1995. Effect of grain composition on water uptake by malting barley: a genetic and environmental study. *J. Institute Brewing.* 101:79-83.
- Molina-Cano, J. L.; Francesch, M.; Perez-Vendrell, A. M.; Ramo, T.; Voltas, J. and Brufau, J. 1997. Genetic and environmental variation in malting and feed quality of barley. *J. Cereal Sci.* 25:37-47.
- Nagamine, T.; Sekiwa, T.; Yamaguchi, E.; Oozeki, M. and Tsuneko, K. 2009. Relationship between quality parameters and SKCS hardness index in malting barley. *J. Institute Brewing.* 115(4):292-295.
- O'Brien, R. and Fowkes, N. 2005. Modification patterns in germinating barley- malting II. *J. Theo. Biol.* 233:315-325.
- Osborne, B. G.; Fox, G. P.; Kelly, A. M. and Henry, R. J. 2007. Measurement of barley grain rheology for the quality selection of breeding material. *J. Institute Brewing.* 113(2):135-141.
- Pitz, W. J. 1990. An analysis of malting research. *J. Am. Soc. Brewing Chem.* 48(1):33-44.
- Psota, V.; Vejražka, K.; Faměra, O. and Hřeka, M. 2007. Relationship between hardness and malting quality of barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Institute Brewing.* 113(1):80-86.
- Qi, J. C.; Zhang, G. P. and Zhou, M. X. 2006. Protein and hordein content in barley seeds as affected by nitrogen level and their relationship to β -amylase activity. *J. Cereal Sci.* 43:102-107.
- Rasmusson, D. C. 1985. Barley (Agronomy). No. 26. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. 522 p.
- Sadosky, P.; Schwarz, P. B. and Horsley, R. D. 2002. Effect of arabinoxylans, β -glucans and dextrans on the viscosity and membrane filterability of a beer model solution. *J. Am. Soc. Brewing Chem.* 60(4): 153-162.
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. SAS/STAT. Release 9.0. SAS Institute Inc., Cary, N.C, USA.
- Schwarz, P. B. and Han, J. Y. 1995. Arabinoxylan content of commercial beers. *J. Am. Soc. Brewing Chem.* 53(4):157-159.
- Smart, J. G.; Lukes B. K.; Tie, E. and Ford, A. T. 1993. Relationships among wort β -glucan, malting conditions and malt analysis. *J. Am. Soc. Brewing Chem.* 51(3):88-93.
- Thomas, D. A. 1986. A novel result of malt friabilimeter analysis: case-hardened malt. *J. Institute Brewing.* 92:65-68.
- Wei, K.; Dai, F.; Wu, F. and Zhang, G. 2009. The variation of β -amylase activity and protein fractions in barley grains as affected by genotypes and post-anthesis temperatures. *J. Am. Soc. Brewing Chem.* 115(3):208-213.
- Wentz, M. J.; Horsley, R. D. and Schwarz, P. B. 2004. Relationships among common malt quality and modification parameters. *J. Am. Soc. Brewing Chem.* 62(3):103-107.