

# Caracterización y selección de nuevos genotipos imberbes de cebada forrajera para el norte y centro de México

## Characterization and selection of new awnless forage barley genotypes for northern and central Mexico

Modesto Colín Rico<sup>a</sup>, Víctor Manuel Zamora Villa<sup>a</sup>, Alejandro Javier Lozano del Río<sup>a</sup>, Gaspar Martínez Zambrano<sup>†</sup>, María Alejandra Torres Tapia<sup>a</sup>

### RESUMEN

Se condujo una investigación en localidades de Torreón, Coah. (otoño-invierno, ciclos 02-03 y 03-04), Navidad, N.L. (02-03) y Celaya, Gto. (02-03) para evaluar el rendimiento de materia seca y sus fracciones (hojas, tallos y espigas), relación hoja tallo, altura de planta y etapa fenológica, de 36 líneas F7 de cebada forrajera imberbe, y los testigos comerciales triticale cv. Eronga 83 y cebada cv. Cerro prieto. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La información generada a través de ciclos y localidades (ambientes) se analizó como bloques al azar combinado sobre ambientes. Con los promedios de los genotipos se realizaron análisis de componentes principales y de conglomerados. Los resultados indicaron ausencia de interacción genotipo ambiente para el rendimiento de materia seca y diferencias ( $P < 0.05$ ) entre genotipos. Los métodos multivariados separaron efectivamente a las especies y los genotipos imberbes de los barbados, basados principalmente en el rendimiento de materia seca y precocidad, que favoreció a las cebadas. Con las forrajeras imberbes se formaron tres grupos de interés para la producción de forraje, siendo el grupo 3 el mejor, seleccionando dentro de éste los genotipos 33, 19, 10 y 34 con rendimientos superiores a  $12.0 \text{ t ha}^{-1}$ . Se concluye que los nuevos genotipos de cebada forrajera imberbe representan una opción viable para la producción de forraje en la época invernal, cuya precocidad y productividad cobran relevancia en áreas con restricción en el uso de agua, y facilitan su inserción en los esquemas de rotación de forrajeras anuales.

**PALABRAS CLAVE:** Cebada forrajera, Rendimiento de materia seca, Genotipos imberbes, Agrupamiento, Selección.

### ABSTRACT

Dry matter yield and its fractions (stems, leaves and spikes), leaf/stem ratio, plant height and phenological stage of 36 awnless barley F7 lines, plus two commercial controls (triticale cv Eronga 83 and barley cv Cerro prieto), were evaluated in three environments (Torreón, Coahuila; Navidad, Nuevo León; and Celaya, Guanajuato) in central and northern Mexico. Experimental design was a randomly complete block design with three replicates. Data generated by locations and cycles (i.e. environments) were analyzed as a randomly block combined over environments. The genotype averages were used in a principal components analysis and a cluster analysis. The genotype x environment interaction had no effect on dry matter yield, and was different ( $P < 0.05$ ) between genotypes. The multivariate analyses effectively separated the awnless from the awned genotypes mainly based on dry matter yield and precocity, which favored the barleys. The awnless barley genotypes were clustered into three groups with potential for forage production, with genotypes 33, 19, 10 and 34 outyielding others with production greater than  $12 \text{ t ha}^{-1}$ . The evaluated new awnless forage barley genotypes constitute a feasible alternative for winter forage production. Their precocity and productivity are important in areas with restricted water use, and allow barley to be included in annual forage crop rotation schemes.

**KEY WORDS:** Forage barley, Dry matter yield, Awnless genotypes, Clustering, Selection.

### INTRODUCCIÓN

La cebada (*Hordeum vulgare* L.), un cultivo muy antiguo cuyos granos se utilizaron por el hombre

### INTRODUCTION

Barley (*Hordeum vulgare* L.) is an ancient crop the grains of which were used to make bread even

Recibido el 20 de septiembre de 2005 y aceptado para su publicación el 23 de mayo de 2007.

<sup>a</sup> Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" Domicilio Conocido Buenavista 25315. Saltillo, Coahuila, México. Teléfono y fax: (844) 4-11-02-20. v zamvil@uaaan.mx. Correspondencia al segundo autor.

para la elaboración de pan incluso antes que el trigo<sup>(1)</sup>, tiene la ventaja sobre otros cereales de ser más vigorosa, resistente a la sequía y salinidad, y puede cultivarse en suelos marginales; presenta rápido desarrollo, por lo que produce forraje y grano en relativamente menor tiempo y costo en comparación con otros cultivos del mismo ciclo; ofrece también buena calidad forrajera<sup>(2)</sup>.

A pesar de sus bondades, en México poco se ha utilizado en la producción de forraje en comparación con la superficie que se le dedica en otros países<sup>(2,3,4)</sup>, en algunos de los cuales existen programas de mejoramiento genético de esta especie como alternativa forrajera<sup>(3,5)</sup>, orientados al uso del grano en la alimentación animal, pero que recientemente se han enfocado al rendimiento y calidad de la materia seca total y sus fracciones<sup>(4,6,7,8)</sup>.

Se ha establecido que la biomasa se incrementa desde la etapa vegetativa hasta el grano masoso y declina cuando se acerca a la madurez fisiológica, en tanto la calidad disminuye por efecto de la elongación de los tallos y cambios en la estructura de la pared celular secundaria. Una buena calidad se asocia con una mayor proporción de hojas (o relación hoja tallo) debido a su mejor digestibilidad y mayor contenido de proteína que los tallos<sup>(8-12)</sup>; en cebada también se ha relacionado a una mayor proporción de materia seca de espigas<sup>(13)</sup>, ya que es más digestible y nutritiva que otras fracciones; sin embargo en nuestro país pocos esfuerzos de mejoramiento se han realizado para estos fines, utilizando como forrajeras aquellas variedades malteras con grano de baja calidad para la industria.

La actual restricción para cultivar especies altamente demandantes de agua como la alfalfa, requiere de opciones forrajeras que permitan a la ganadería una mayor eficiencia en la producción, adoptando tecnología ahorradora de agua. Recientemente, el uso del triticale se ha revelado como una alternativa para la producción de forraje en invierno<sup>(14,15)</sup>, dado que posee mayor tolerancia a bajas temperaturas, uso eficiente del agua, producción de biomasa y valor nutritivo superior al de avena y ballico, por lo cual ha tenido rápida aceptación por los productores de Coahuila y Chihuahua<sup>(16)</sup>;

before wheat<sup>(1)</sup>. Compared to other cereals it is more vigorous, drought resistant, salinity resistant, can be grown in poor soils and still produces good quality forage. It also has rapid growth and consequently produces forage and grain in relatively less time and at lower cost than other crops with the same cycle<sup>(2)</sup>.

Despite its advantages, it is infrequently used for forage production in Mexico, compared to other countries<sup>(2,3,4)</sup>. Some countries have genetic improvement programs to develop barley as an alternative forage<sup>(3,5)</sup> and these are focused on its use as animal feed. Recently this has changed and the yield and quality of total dry material and its fractions are being considered<sup>(4,6,7,8)</sup>.

Biomass in cereals increases from the vegetative to the dough grain stages and then declines as physiological maturity nears. In contrast, quality declines as stems elongate and secondary cellular wall structure changes. Good quality is associated with a higher leaf proportion (i.e. leaf:stem ratio) because leaves are more digestible and have higher protein content than stems<sup>(8-12)</sup>. In barley, quality is also linked to a higher proportion of spike dry matter<sup>(13)</sup> since this is more digestible and nutritive than other fractions. Relatively little effort has been made in Mexico to improve barley varieties and those in use are low grain quality malt varieties for industrial applications.

Current restrictions on cultivating water-intensive species such as alfalfa require a move to alternative forages that provide better production efficiency in cattle ranching by adopting water-saving technology. For example, recent trials with triticale showed it to be an alternative for winter forage production<sup>(14,15)</sup> due to its greater tolerance of cold temperatures, efficient water use, and biomass production and nutritional values greater than that of oats or rye grass. As a result, it has been readily accepted by producers in the northern states of Coahuila and Chihuahua<sup>(16)</sup>. However, this and other winter cereals have the disadvantage of awns on the spike which can lacerate the mucous membranes of animals<sup>(17)</sup>. Barley, in contrast, is a promising forage with awnless spikes, which avoids this problem and can positively impact total

sin embargo, éste y otros cereales de invierno tienen como desventaja la presencia de aristas en la espiga, que pueden lacerar las mucosas de los animales<sup>(17)</sup>; en cambio la cebada es una especie que ha mostrado buena aptitud forrajera y la ausencia de aristas en la espiga puede evitar este problema e impactar en el total de nutrientes digestibles<sup>(7)</sup>, por lo que nuevos genotipos de cebada forrajera, imberbes, con alta producción de biomasa y precocidad, representan una alternativa de solución a la escasez de forraje durante la época invernal, favoreciendo la diversificación de cultivos forrajeros.

Al igual que en otros cultivos<sup>(18)</sup>, se parte de la premisa de que en la medida en que se puedan generar genotipos con escasa interacción con el ambiente o de reacción gradual y favorable del rendimiento a la mejora de las condiciones del ambiente, se habrá obtenido el genotipo apropiado para la producción.

Los objetivos de este trabajo fueron caracterizar con base en la producción de materia seca y sus fracciones, 36 genotipos imberbes de cebada forrajera en cuatro ambientes, determinar la magnitud de la interacción genético ambiental de las variables estudiadas para seleccionar materiales precoces de alta producción, adecuadas a las necesidades de los productores de forraje del norte y centro del país.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 36 líneas experimentales F<sub>7</sub> de cebada forrajera imberbe de seis hileras, más dos variedades comerciales como testigos (cebada cv Cerro Prieto y triticale cv Eronga 83), ambas barbadas y primaverales. Las líneas de cebada fueron generadas por el Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) usando la línea “Marco frágil” como fuente del carácter imberbe; Eronga 83 y Cerro prieto son variedades liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

La evaluación se llevó a cabo en cuatro experimentos realizados en tres localidades: rancho “Ampuero” en Torreón, Coah. (ciclos otoño-

digestible nutrients<sup>(7)</sup>. Given this, new awnless forage barley genotypes with high biomass and precocity may represent a solution to forage scarcity during winter and favor forage crop diversification.

As is the case with genotype generation in other crops<sup>(18)</sup>, it is assumed that the most appropriate barley genotype for production in a given area is that with minimal interaction with the environment, or that has a gradual, favorable reaction in yield to improved environmental conditions. The present study aim was to characterize 36 awnless forage barley genotypes in four environments based on dry matter production and its fractions, and determine the extent of the genotype x environment interaction in the studied variables to allow for selection of high production precocious materials appropriate for the needs of forage producers in northern and central Mexico.

## MATERIALS AND METHODS

Thirty-six experimental F<sub>7</sub> lines of six-row, awnless forage barley were used, as well as two commercial awned, spring varieties (barley cv Cerro prieto and triticale cv Eronga 83) as control treatments. The experimental lines were generated in the Cereals Program of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) using the “Marco frágil” line as the awnless character source. The barley cv Cerro prieto and triticale cv Eronga 83 are released by the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Genotype evaluation was done with four trials at three locations: Ampuero Ranch in Torreón, Coahila (fall/winter 2002–03 and 2003–04); Navidad, Nuevo León (2002–03); and Celaya, Guanajuato (2002–03). Torreón (25°33'N;103°26'W) is at 1137 m asl, has a mean annual temperature of 22.6 °C, average annual rainfall of 217.1 mm and a BW(h')hw(e) climate. Navidad (25°04'N;100°56'W) is at 1895 m asl, has a mean annual temperature of 14.4 °C, average annual rainfall of 400 mm and a Bsohx'(e) climate. Celaya (20°32'N;100°49'W) is at 1754 m asl, has a mean annual temperature of 20.6 °C, average annual rainfall of 597.3 mm and a BS<sub>1</sub>hw(w)(e)g climate<sup>(19)</sup>.

invierno 2002–03 y 2003–04), Navidad, N.L. (2002–03) y Celaya, Gto. (2002–03), que poseen las siguientes características geográficas y climáticas: Torreón, se ubica a 25° 33' N, 103° 26' O, altitud 1137 msnm, temperatura media anual 22.6 °C y precipitación pluvial media anual de 217.1 mm, con clima BW(h')hw(e); Navidad, ubicado a 25° 04' N, 100° 56' O, 1895 msnm, 14.4 °C de temperatura media anual y una precipitación promedio de 400 mm anuales y clima Bsohx'(e); Celaya, se ubica a 20° 32' N y 100° 49' O, una altitud de 1754 msnm y temperatura media anual de 20.6 °C, precipitación media anual de 597.3 mm y clima BS<sub>1</sub>hw(w)(e)g<sup>(19)</sup>.

La preparación del terreno consistió de barbecho, rastreo y nivelación. En los cuatro experimentos, la siembra se realizó en seco, manualmente, a chorrillo, con una densidad de 80 kg de semilla por hectárea. La fertilización para Torreón, Coah., en ambos experimentos fue de 82-46-00 usando como fuentes sulfato de amonio y superfosfato triple; en Navidad, se aplicó la dosis 120-80-00, con urea y fosfato monoamónico como fuentes; aplicando todo el fósforo y la mitad del nitrógeno a la siembra, y el resto del nitrógeno en el primer auxilio. En el experimento de Celaya, no se aplicó fertilizante. El riego fue por aspersión, excepto Celaya, donde se dio por gravedad; en todos los experimentos se aplicaron cuatro riegos, incluyendo el de siembra, con una lámina total aproximada de 40 cm.

En todas las localidades y ciclos (ambientes), el ensayo de rendimiento se estableció con el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. El tamaño de parcela experimental fue de 3.6 m<sup>2</sup>

The land was prepared by plowing, raking and leveling. In all four trials sowing was done dry, manually and directly at 80 kg seed/ha density. Fertilization in both Torreón trials was 82-46-00 using ammonium sulfate and triple superphosphate. In the Navidad trial fertilization was 120-80-00 using urea and monoammonium phosphate, applying all the phosphorous and half the nitrogen at sowing and the remaining nitrogen at first irrigation. No fertilizer was applied in the Celaya trial. Irrigation was by sprinkler at Torreón and Navidad, and by gravity flow at Celaya. Four irrigations were applied, including that at sowing, with a total approximate depth of 40 cm.

The yield trial at all locations and cycles (i.e. environments) was established using a randomly complete block design with three replications. Experimental plot size was 3.6 m<sup>2</sup> (four, 3 m long rows, spaced at 0.3 m), and effective plot size was 0.4 m<sup>2</sup>. Plant height (AP) in cm was measured immediately before the cut, as was the genotypes' phenological stage, according to the Zadoks scale<sup>(20)</sup>. Control plot forage was harvested manually, 2 cm above soil surface. Sowing and harvest dates, and days from sowing to harvest, were recorded for each environment (Table 1).

After weighing, fresh forage was separated into leaves, stems and spikes, and each fraction dried separately in a forced-air oven at 55 °C for 48 h until constant weight. These data were used to determine dry weight (t ha<sup>-1</sup>) for leaves (PSH), stems (PST) and spikes (PSE); the leaf:stem ratio (PHT) as a quotient of PSH divided by PST; and total dry forage yield (RFST) as determined by the sum of the dry weight of the fractions.

Cuadro 1. Localidades y ciclos, fechas de siembra y cosecha de forraje, y días transcurridos de siembra a cosecha  
Table 1. Locations and cycles, forage sowing and harvest dates, and days from sowing to harvest (DTSC)

Location and cycle	Plant date	Harvest date	DTSC
Torreón, 2002–03	Dec. 24, 2002	Apr. 9, 2003	106
Torreón, 2003–04	Nov. 26, 2003	Mar. 25, 2004	120
Navidad, 2002–03	Feb. 19, 2003	Jun. 19, 2003	120
Celaya, 2002–03	Dec. 20, 2002	Mar. 21, 2003	91



(cuatro surcos de 3 m de longitud espaciados a 0.3 m), en tanto que la parcela útil consistió de 0.4 m<sup>2</sup>. Justo antes del corte se midió la altura de planta (AP) en centímetros y se registró la etapa fenológica de los genotipos (ETAPA) de acuerdo a la escala de Zadoks<sup>(20)</sup>. El forraje de la parcela útil se cosechó manualmente, a una altura aproximada de 2 cm sobre la superficie del suelo. Se registraron las fechas de siembra, cosecha y días transcurridos desde la siembra a cosecha en cada ambiente (Cuadro 1).

El forraje fresco se pesó, se separó en hojas, tallos y espigas y se secó cada parte por separado en una estufa de aire forzado a 55 °C por 48 h hasta peso constante. Con estos datos se determinó el peso seco de hojas (PSH), de tallos (PST) y de espigas (PSE) en t ha<sup>-1</sup>; se obtuvo la relación hoja tallo (RHT) como el cociente del PSH entre el PST, y con la suma del peso seco de las fracciones se obtuvo el rendimiento de forraje seco total (RFST).

Los datos se analizaron como bloques al azar combinado sobre ambientes con el fin de detectar diferencias entre genotipos, ambientes y la magnitud de la interacción genotipo ambiente (IGA), y se compararon las medias respectivas con la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) al 0.05 de probabilidad. Adicionalmente se realizaron análisis de covarianza para detectar el efecto de la etapa fenológica sobre las variables evaluadas. Con los promedios de cada genotipo a través de los cuatro ambientes, se realizó el análisis de componentes principales y de conglomerados, con el fin de establecer relaciones entre variables, reducir la dimensionalidad de los datos, analizar la dispersión de los materiales<sup>(21)</sup> y agrupar genotipos semejantes. Los grupos obtenidos se compararon mediante la prueba de T<sup>2</sup> de Hottelling<sup>(22)</sup> y las variables entre grupos mediante la t de student. Los análisis de varianza y comparación medias se realizaron con el SAS<sup>(23)</sup> y los multivariados con el programa Statistica<sup>(24)</sup>.

## RESULTADOS

El análisis de varianza combinado, detectó diferencias ( $P < 0.05$ ) entre ambientes y genotipos

The data were analyzed as randomly block combined over environments to determine differences between genotypes, environments and the extent of the genotype x environment interaction (IGA). The respective means were compared with the minimum significant difference (MSD) test at 0.5 probability. Covariance analyses were also done to determine the effect of phenological stage on the evaluated variables. Using the averages of each genotype by environment, principal components and clustering analyses were done to establish the relationships between variables, reduce data dimensionality, analyze material dispersion<sup>(21)</sup> and group similar genotypes. The resulting groups were compared with a Hottelling T<sup>2</sup> test<sup>(22)</sup> and the variables compared between groups with a student t test. The analysis of variance (ANOVA) and comparison of means were done with the SAS program<sup>(23)</sup> and the multivariate analyses with the Statistica program<sup>(24)</sup>.

## RESULTS

The combined ANOVA showed differences ( $P < 0.05$ ) between environments and genotypes in all the measured variables. No interaction was found for IGA, RFST, PSE and PSH, but interaction was found for the PST, ETAPA, RHT and AP variables. The covariance analysis showed that only plant height (AP) was affected by phenological stage at harvest.

Production in the ten awnless barley genotypes with the highest dry forage yield ranged from 11.30 to 12.26 t ha<sup>-1</sup>, and they were not significantly different (Table 2). This range is from 12.4 to 21.9 % greater than that of the cv Cerro prieto and from 20.8 to 31.1 % greater than for triticale cv Eronga 83, which had the next to lowest dry forage yield value. Overall mean RFST was 10.96 t ha<sup>-1</sup>. The most precocious genotypes (e.g. 5, 10 and 4), which were harvested at stages greater than 80, had higher PSE, whereas genotypes at stages less than 80 (e.g. 29, 33, 23 and 34) generally had higher PSH and PST. No significant differences in the RHT were observed between genotypes, although genotypes 10, 27 and 34 were not statistically different from the triticale cv Eronga

Cuadro 2. Valores promedio de las variables evaluadas para los mejores diez genotipos imberbes de cebada y testigos

Table 2. Average values of evaluated variables for ten best awnless barley genotypes and controls

Genotype	RFST (t ha <sup>-1</sup> )	PSE(t ha <sup>-1</sup> )	PSH(t ha <sup>-1</sup> )	PST(t ha <sup>-1</sup> )	RHT	AP(cm)	ETAPA
33	12.26	3.90	4.29	4.07	1.05	99.17	77.58
19	12.17	4.03	3.99	4.15	0.96	92.92	79.92
10	12.14	4.69	3.95	3.50	1.13	100.00	84.75
34	12.13	3.72	4.37	4.04	1.08	99.17	79.67
5	11.94	4.57	3.78	3.59	1.05	101.50	85.58
27	11.74	4.05	4.02	3.67	1.09	98.33	82.33
4	11.68	4.57	3.53	3.58	0.99	98.33	83.83
21	11.64	3.52	4.11	4.01	1.02	100.83	82.25
23	11.61	3.36	3.97	4.28	0.93	100.83	78.25
29	11.30	3.97	3.49	3.84	0.91	96.67	77.17
C. prieto	10.05	4.54	2.78	2.73	1.02	89.58	84.58
Eronga	9.35	2.59	3.88	2.88	1.35	108.33	69.00
DMS	1.74	0.82	0.67	0.61	0.29	5.16	2.68
CV, %	19.81	27.89	23.05	21.05	28.10	6.59	4.15

RFST= total dry forage yield; PSE= spike dry weight; PSH= leaf dry weight; PST= stem dry weight; RHT= leaf:stem ratio; AP= plant height; ETAPA= phenologic stage; DMS= dry matter digestibility; CV= variation coefficient.

en todas las variables medidas; no se detectó interacción IGA, RFST, PSE y PSH; pero sí para las variables PST, ETAPA, RHT y AP. El análisis de covarianza mostró que solamente la altura de planta fue influenciada por la etapa fenológica al corte.

En el Cuadro 2 aparecen los diez genotipos de cebada imberbe con mayor rendimiento de forraje seco, cuyo rango de producción varió desde 11.30 hasta 12.26 t ha<sup>-1</sup>, estadísticamente iguales entre ellos, pero que representan de 12.4 a 21.9 % más del rendimiento obtenido por el cv Cerro prieto y de 20.8 a 31.1 % más que el mostrado por el triticale cv Eronga 83, el cual ocupó el penúltimo lugar en rendimiento de forraje seco. La media general para RFST se ubicó en 10.96 t ha<sup>-1</sup>. Se aprecia también que los genotipos más precoces como el 5, 10 y 4, cosechados en etapas de desarrollo superiores a 80 tuvieron mayor PSE; mientras que genotipos cosechados en etapas inferiores a 80 como el 29, 33, 23 y 34, tuvieron por lo general mayor PSH y PST; sin embargo,

83, which had the highest RHT value. The lowest AP value was in the cv Cerro prieto, the highest in the triticale cv Eronga 83, and the awnless genotypes had similar heights ranging between these two extremes.

The first three components explained 88.3% of total variance in the PCA (Table 3). Principal component 1 explained 37.6 % of variation and the variables that most contributed to this variation were RFST, PST, PSE and ETAPA. All these variables were negative, indicating a positive relationship between them and a negative relationship with component 1. Only the RHT was positive for this component, meaning that one group contained genotypes with high total dry forage yield, that were precocious, had high dry stem and spike weights and a low leaf:stem ratio. Principal component 2 explained 33.3 % of the variation and the variables that most contributed were PSH, AP and RHT (negative) and ETAPA (positive). This means that one group contained precocious genotypes with lower AP and low PSH and RHT.

en RHT, no hubo diferencias significativas entre ellos, aunque los genotipos 10, 27 y 34 igualaron estadísticamente a Eronga 83 que mostró el mayor valor en esta variable. Cerro prieto fue el genotipo con menor altura de planta en el experimento, Eronga 83 mostró la mayor altura y los genotipos imberbes mostraron una altura similar entre ellos.

El análisis de componentes principales explicó un 88.3 % de la varianza total con los primeros tres componentes (Cuadro 3). El componente principal 1 explicó el 37.6 % de la varianza y las variables que más contribuyeron a la variación fueron RFST, PST, PSE y ETAPA. Todas mostraron signo negativo indicando una relación positiva entre sí y negativa con el componente 1. Para este componente solamente la relación hoja tallo mostró signo positivo; lo cual indica que hubo un grupo de genotipos de alto rendimiento de forraje seco total, precoces, con alto peso seco de tallos y espigas, y baja relación hoja tallo.

El componente principal 2 explicó un 33.3 % de la varianza y las variables que más contribuyeron a la variación fueron PSH, AP y RHT, con signo negativo, y ETAPA con signo positivo, indicando que hubo otro grupo de genotipos precoces que tuvieron menor altura de planta y bajo PSH y RHT. El tercer componente solamente tuvo un 17.4% de la varianza y detectó la relación negativa entre el PST y RHT.

La Figura 1 muestra la distribución de las variables en los dos primeros componentes principales. En el componente 1, se separan los genotipos de alto RFST, PST, ETAPA y PSE de aquéllos de mayor RHT; mientras que el componente 2 separa los materiales con base en su ETAPA y PSE, de aquéllos de mayor PSH y AP.

El análisis de conglomerados formó cinco grupos de interés (Cuadro 4), en los cuales se separaron los testigos comerciales de los genotipos imberbes (Figura 2); así en el grupo 2 se ubicó como único integrante al triticale cv Eronga 83, en el grupo 5 a la variedad Cerro prieto y en los otros grupos a los genotipos de cebada imberbe.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación de cada variable con los tres componentes principales

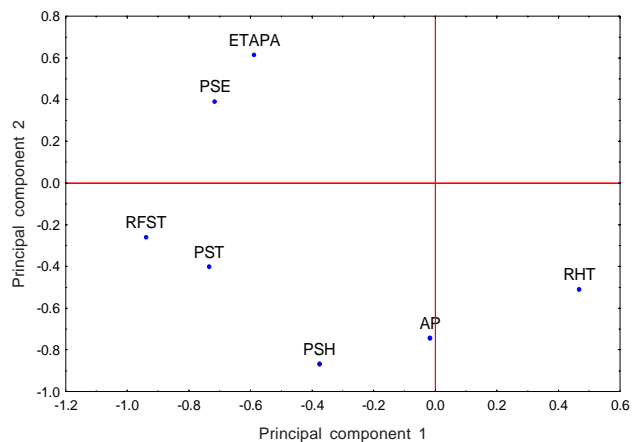
Table 3.- Correlation coefficients for each variable in the three principal components

Variables	Principal components		
	CP 1	CP 2	CP 3
RFST	-0.939	-0.261	-0.119
Spike dry weight	-0.715	0.390	-0.524
Leaf dry weight	-0.375	-0.868	-0.082
Stem dry weight	-0.734	-0.402	0.543
Leaf:stem ratio	0.468	-0.511	-0.679
Plant height	-0.016	-0.743	-0.238
Phenologic stage	-0.587	0.613	-0.332
Eigenvalue variance, %	37.6	33.3	17.4
Cumulative variance, %	37.6	70.9	88.3

RFST= total dry forage yield.

Figura 1. Distribución de las variables en los dos primeros componentes principales

Figure 1.- Variables distribution in the first two principal components



Component 3 accounted for 17.4 % of the variance with a negative relationship between PST and RHT.

The distribution of the variables in the first two principal components (Figure 1) shows that in component 1, genotypes with high RFST, PST, ETAPA and PSE are separated from those with a high RHT. In component 2, by comparison, they

Cuadro 4. Número de genotipos, valores medios (a través de cuatro ambientes) de los grupos para las variables evaluadas y contribución de las fracciones al rendimiento (%)

Table 4. Number of genotypes and mean values (in four environments) of groups for the evaluated variables and their contribution to fraction yield (%)

Variable	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5
No. of genotypes	11	1	12	13	1
RFST, t ha <sup>-1</sup>	10.22 <sup>c</sup>	9.35 <sup>c</sup>	11.74 <sup>a</sup>	10.99 <sup>b</sup>	10.05 <sup>c</sup>
Spike dry weight, t ha <sup>-1</sup>	3.18 <sup>c</sup>	2.59 <sup>d</sup>	3.93 <sup>b</sup>	3.81 <sup>b</sup>	4.54 <sup>a</sup>
% of RFST	31.1	27.7	33.5	34.7	5.2
Leaf dry weight, t ha <sup>-1</sup>	3.55 <sup>b</sup>	3.88 <sup>ab</sup>	3.96 <sup>a</sup>	3.49 <sup>b</sup>	2.78 <sup>c</sup>
% of RFST	34.7	41.5	33.7	31.8	27.7
Stem dry weight, t ha <sup>-1</sup>	3.49 <sup>b</sup>	2.88 <sup>c</sup>	3.85 <sup>a</sup>	3.69 <sup>a</sup>	2.73 <sup>c</sup>
% of RFST	34.1	30.8	32.8	33.6	27.2
Leaf:stem ratio	1.02 <sup>b</sup>	1.35 <sup>a</sup>	1.03 <sup>b</sup>	0.95 <sup>c</sup>	1.02 <sup>b</sup>
Plant height, cm	95.38 <sup>d</sup>	108.33 <sup>a</sup>	99.22 <sup>b</sup>	97.38 <sup>c</sup>	89.58 <sup>e</sup>
Phenologic stage	79.17 <sup>b</sup>	69.00 <sup>c</sup>	81.11 <sup>ab</sup>	81.78 <sup>a</sup>	84.58 <sup>a</sup>

abcde Means with the same letter are equal ( $P < 0.05$ ).

RFST = total dry forage yield.

Entre los grupos de cebada, el grupo 3, incluyó prácticamente todos los genotipos superiores que se presentan en el Cuadro 2, excepto el genotipo 29 que se ubicó en el grupo 4. Así, el grupo 3 se constituyó por los genotipos: 4, 5, 10, 15, 19, 21, 23, 27, 33, 34, 35, y 36, los cuales se caracterizaron por la mayor producción de forraje seco total, mayor PSE, PSH, PST, alta RHT, mayor AP y ETAPA de 81.1 (inicio de estado masoso).

El grupo 4 constituido por los genotipos 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 22, 26, 28, 29 y 30, tuvo también alto RFST, pero fue significativamente inferior al grupo 3; se caracterizó principalmente por su baja RHT, con ETAPA, PSE y PST similares a las del grupo 3, pero menor PSH y altura de planta. La prueba de T<sup>2</sup> reportó significancia ( $P < 0.01$ ) entre ambos grupos declarándolos diferentes.

El grupo 1 se conformó con 11 genotipos (1, 11, 14, 16, 17, 18, 20, 24, 25, 31 y 32) y se caracterizó por un bajo RFST similar al del triticale y Cerro prieto; PSE que superó solamente al triticale, una RHT similar a la del grupo 3 y Cerro prieto; con la menor AP de las cebadas imberbes (superando solamente a la variedad maltera) y ETAPA similar

are separated by ETAPA and PSE from those with higher PSH and AP.

Five groups were formed in the clustering analysis (Table 4). Of these, groups 1, 3 and 4 contained the awnless barley genotypes, group 2 the triticale cv Eronga 83 and group 5 the barley cv Cerro prieto (Figure 2). Of the awnless genotype groups, group 3 included almost all the superior genotypes (Table 2), with the exception of genotype 29, which was in group 4. Group 3 included genotypes 4, 5, 10, 15, 19, 21, 23, 27, 33, 34, 35 and 36, all characterized by high total dry forage production, high PSE, PSH, PST, RHT and AP, at an ETAPA of 81.1 (early dough stage).

Group 4 contained genotypes 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 22, 26, 28, 29 and 30, which all had high RFST, but significantly less than those in group 3. They were mainly characterized by their low RHT, ETAPA, PSE and PST similar to group 3 genotypes, but with lower PSH and AP. The T<sup>2</sup> test showed groups 3 and 4 to be different ( $P < 0.01$ ).

Group 1 consisted of the genotypes 1, 11, 14, 16, 17, 18, 20, 24, 25, 31 and 32 all characterized by



al grupo 3, pero superior a la mostrada por el triticale del grupo 2. La prueba de  $T^2$  declaró diferente al grupo 1 de todos los anteriores ( $P < 0.01$ ).

La variedad Eronga 83 del grupo 2 se caracterizó por tener mayor AP y RHT, fue más tardía con menor ETAPA, PST, PSE y RFST; mientras que la variedad Cerro prieto del grupo 5 mostró el mayor PSE, mayor precocidad y la menor AP, PSH y PST, tal como aparece en el Cuadro 4, en donde se aprecia que el grupo 4 fue estadísticamente diferente del triticale Eronga 83 en todas las variables estudiadas, superándola en rendimiento de forraje seco, ETAPA, PSE y PST pero con menor altura de planta, PSH y RHT; el grupo 3 sólo en PSH fue estadísticamente igual a dicha especie, superándola en rendimiento, PSE, PST y ETAPA, presentando menor altura y relación hoja tallo que el triticale. El grupo 1 mostró valores de RFST y PSH similares a Eronga 83, con menor altura y RHT, pero mayor ETAPA, PSE y PST.

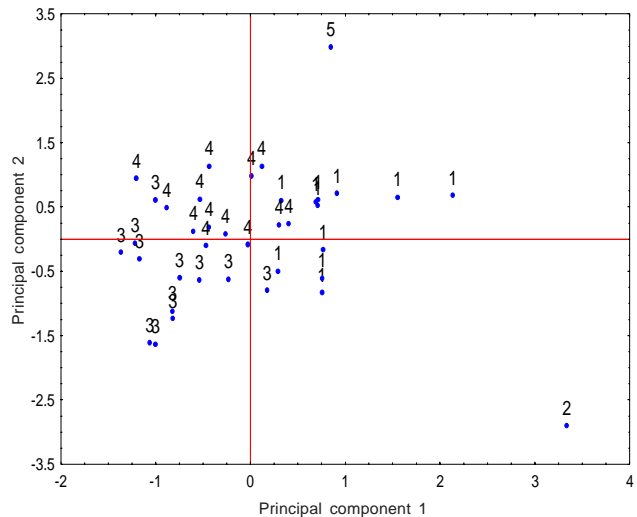
Al comparar estos grupos con el cv Cerro prieto, el grupo 4 mostró valores similares de ETAPA, mayor altura, RFST, PST y PSH, pero menor PSE y RHT que la variedad maltera; el grupo 3 igualó estadísticamente la ETAPA y RHT de Cerro prieto, con menos PSE, mayor altura, PST y PSH que le permitieron obtener mayor RFST. El grupo 1 igualó a este cultivar en el RFST y RHT, pero con menor etapa fenológica y PSE, superándola en altura de planta, peso seco de hojas y tallos.

## DISCUSIÓN

La ausencia de significancia en la IGA para el RFST, PSH y PSE indica que los genotipos respondieron de manera similar al cambio de ambiente, en tanto que en las variables PST, RHT, ETAPA y AP mostraron un comportamiento diferencial influenciado por la fertilización, fechas de siembra y características climáticas y edáficas de las localidades<sup>(8)</sup>. En Navidad, localidad con mayor altitud, suelos calcáreos y menor temperatura, se obtuvieron los menores valores para AP, PST y ETAPA, en tanto que en Celaya, por

Figura 2. Distribución de los grupos en los dos primeros componentes principales

Figure 2. Group distribution in the first two principal components



low RFST similar to the triticale and cv Cerro prieto. Their PSE was higher than that of triticale, their RHT similar to those in group 3 and cv Cerro prieto (group 5), and their AP lower than the other awnless genotypes but higher than cv Cerro prieto. Their ETAPA was similar to that of group 3, but higher than that of triticale (group 2). The  $T^2$  test showed group 1 to be different from all the other groups ( $P < 0.01$ ).

The triticale cv Eronga 83 (the only one in group 2) was characterized for its high AP and RHT, later ETAPA and lower PST, PSE and RFST (Table 4). Group 4 was statistically different from group 2 in all the studied variables, surpassing it in RSFT, ETAPA, PSE and PST values, but with lower AP, PSH and RHT values. The PSH values of group 3 were statistically equal to group 2, its PSE, PST and ETAPA values were higher and its AP and RHT were lower. Group 1 had RFST and PSH values similar to group 2, but with higher ETAPA, PSE and PST, and lower AP and RHT.

The malt barley cv Cerro prieto (the only one in group 5) had high PSE and precocity and low AP,

sus mejores características de suelo y clima, favoreció una mayor AP y PST a pesar de que no se fertilizó.

Aunque se ha documentado y establecido el efecto de la etapa de madurez a la cosecha sobre el rendimiento y calidad de cereales<sup>(8,13)</sup>, el análisis de covarianza reportó que solamente la altura de planta fue afectada por dicha variable, de tal forma que la etapa fenológica se manejó como una variable más y no como un factor que ayudara a explicar la producción de forraje seco.

Dada la importancia de la producción de forraje para la ganadería regional, se considera que los genotipos imberbes del Cuadro 2 son altamente deseables por su RFST, superior a las 11.0 t ha<sup>-1</sup>; cabe resaltar dentro de estos, genotipos que rindieron más de 12.0 t ha<sup>-1</sup> como el 33, 19, 10 y 34; así también genotipos como el 10 y 5 que mantienen una buena relación hoja tallo en etapas avanzadas (85= madurez masosa suave), sin incrementar su proporción de espigas como Cerro prieto (45.2), sugiriendo una lenta movilización de nutrientes hacia la espiga o mayor permanencia en el follaje<sup>(8)</sup> que pudiera favorecer la calidad del forraje debido a su mejor digestibilidad y mayor contenido de proteína que los tallos<sup>(8-12)</sup>.

El análisis de componentes principales permitió hacer una caracterización parcial de los genotipos, separando los testigos de las líneas experimentales. El componente principal 1 indicó que los materiales más precoces tuvieron mayor peso seco de espiga y de tallo, los cuales contribuyeron más a la producción de materia seca total<sup>(8,25)</sup>. También se determinó que estos materiales tienen una baja RHT, lo cual es característico de la mayoría de las cebadas imberbes. De acuerdo con este componente, la altura de planta no se asoció al RFST, contradiciendo reportes de que en cebada los altos rendimientos están asociados con genotipos altos y de madurez tardía<sup>(9)</sup>.

El segundo componente principal señaló que los genotipos más precoces presentaron plantas de menor tamaño, con menor PSH y en consecuencia menor RHT. Esto fue evidente en la cebada maltera

PSH and PST (Table 4). Compared to group 5, group 4 had similar ETAPA values, greater AP, RFST, PST and PSH, and lower PSE and RHT. Group 3 had ETAPA and RHT values statistically similar to group 5, but with lower PSE, higher AP, PST and PSH, which gave it higher RFST. Group 1 had the same RFST and RHT values as group 5, lower ETAPA and PSE values, and higher AP, PSH and PST values.

## DISCUSSION

The absence of difference in the IGA for RFST, PSH and PSE indicates that the genotypes responded similarly to environmental change. The PST, RHT, ETAPA and AP values, in contrast, had variable values influenced by fertilization, sowing dates and the climatic and edaphic characteristics of the locations<sup>(8)</sup>. For example, Navidad has the highest elevation, calcareous soils and a lower average temperature and this is where the lowest AP, PST and ETAPA values were recorded. The better soil and climate characteristics at Celaya produced higher AP and PST values, even though fertilizer was not used in the trial.

Although the effect of maturity at harvest on cereal yield and quality has been established<sup>(8,13)</sup>, the covariance analysis here showed that only AP was affected by this variable. As a result, phenological stage was treated as just another factor (ETAPA) in explaining dry forage production.

Because forage yield is important to the regional cattle industry, the awnless genotypes in Table 2 are highly desirable for their RFST values higher than 11.0 t ha<sup>-1</sup>. Genotypes 33, 19, 10 and 34 had outstanding yields of more than 12.0 t ha<sup>-1</sup>. Also noteworthy were genotypes 10 and 5, both of which had good RHT at advanced phenological stages (85 = soft dough). This occurred without an increase in the spike proportion, as is the case with the cv Cerro prieto (45.2), suggesting slow mobilization of nutrients toward the spike, or longer residence in the foliage<sup>(8)</sup>. This could improve forage quality because leaves are more digestible and have higher protein content<sup>(8-12)</sup>.

Cerro prieto, la cual fue uno de los materiales más precoces, de menor altura, con mayor peso de espiga a la cosecha y menor peso seco de hojas. En estas variables se ha realizado mejoramiento genético con el fin de incrementar el índice de cosecha y el rendimiento de grano<sup>(5)</sup>, pero que no necesariamente mejoran la producción de forraje.

Estos dos componentes principales sugieren que en etapas fenológicas avanzadas se incrementa el peso de espigas y tallos, disminuyendo el de hojas, lo cual se ha explicado fisiológicamente en trigo, estableciendo que el peso seco de la espiga se incrementa a medida que la planta inicia el llenado de grano, debido en parte a la translocación de fotosintatos desde los tallos y hojas<sup>(8,26)</sup>, que resulta en senescencia y pérdida de las mismas.

De los grupos generados con los genotipos imberbes, el grupo 3 resultó de mayor interés para la producción de forraje, por su alto rendimiento promedio de 11.7 t ha<sup>-1</sup>, superior en 2.3 y 3.3 t ha<sup>-1</sup> (5,6) a lo reportado para algunas áreas de Norteamérica, pero inferior en 4.9 t ha<sup>-1</sup> a lo reportado para el Mediterráneo<sup>(2)</sup>. Una ventaja adicional de los genotipos de este grupo es que tuvieron igual o mayor producción de materia seca de espigas, de hojas y de tallos que los grupos 1 y 4. Las hojas y las espigas presentan por lo general mayor digestibilidad y proteína que los tallos<sup>(9)</sup> y por tanto pudieran contener mayor calidad forrajera.

El grupo 4 sobresalió también en producción de materia seca total pero con una relación hoja tallo menor de 1.0. En general, una alta relación hoja tallo se asocia frecuentemente con una buena calidad forrajera<sup>(8)</sup>; por consiguiente se podría esperar que la menor RHT en este grupo afectará negativamente su calidad. A pesar de haber mostrado la menor RHT en el presente estudio, la proporción de hojas de este grupo (31.8 %) fue superior a las reportadas en otros trabajos en etapas similares de cosecha, del orden del 12 %<sup>(8)</sup> y 20 a 21 %<sup>(11)</sup>, lo cual confirma lo novedoso y diferente de los genotipos imberbes aquí utilizados.

Adicionalmente, una mayor proporción de espigas (34.7 % de este grupo y 33.5 % del grupo 3)

The principal components analysis provided a partial characterization of the studied genotypes by separating the controls from the experimental lines. Principal component 1 showed that the most precocious lines had higher spike and stem dry weight, which contributed to their higher total dry matter production<sup>(8,25)</sup>. These genotypes also had the low RHT characteristic of most awnless barleys. Based on this component, plant height (AP) was not associated with RFST, contradicting reports that high-yield barleys are associated with tall, late genotypes<sup>(9)</sup>.

Principal component 2 showed that the most precocious genotypes had smaller-sized plants with low PSH and consequently lower RHT. This was especially evident in the malt barley cv Cerro prieto, one of the most precocious genotypes with the lowest height, highest spike weight at harvest and low leaf dry weight (PSH). Efforts have been made to genetically improve this variety to increase the harvest index and grain yield<sup>(5)</sup>, but these have not necessarily improved forage production.

Both components suggest that spike and stem weight increase in more advanced phenological stages while leaf weight decreases. This has been physiologically explained in wheat in that spike dry weight increases as the plant begins to fill the grain, partially because of the translocation of photosynthates from the stems and leaves<sup>(8,26)</sup>, which results in senescence and loss.

Of the three awnless genotype groups, the most promising for forage production is group 3 due to its high average yield (11.7 t ha<sup>-1</sup>), which is far higher than in some areas in North America (2.3 and 3.3 t ha<sup>-1</sup>)<sup>(5,6)</sup>, but still 4.9 t ha<sup>-1</sup> less than reported for the Mediterranean<sup>(2)</sup>. An additional advantage of the group 3 genotypes is that they had spike, leaf and stem dry matter production values equal to or greater than those in groups 1 and 4. This is important because leaves and spikes have higher digestibility and protein content than stems<sup>(9)</sup>, and can therefore generate higher forage quality.

The group 4 genotypes were also noteworthy in terms of total dry matter yield, despite their having

puede mejorar la cantidad de proteína y mantener la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica, ya que el incremento de almidón en el grano puede compensar el decremento en la degradabilidad de la fibra neutro detergente<sup>(27)</sup>. El grupo 4 obtuvo la segunda posición para producción de materia seca total con 10.99 t ha<sup>-1</sup>, y superó significativamente al triticale y a la cebada normal con 1.7 y 0.95 t ha<sup>-1</sup> respectivamente.

El grupo 1 fue el más tardío, con menor etapa a la cosecha de todas las cebadas (79 = estado lechoso tardío), pero superior a la del triticale (69 = floración completa), que en términos de manejo del cultivo significa que las cebadas requieren un riego menos que el triticale para producir la misma cantidad de biomasa. Esto es relevante, en áreas donde existen severas restricciones en el uso de agua.

La precocidad mostrada por la cebada se traduce también en menor tiempo de ocupación del terreno, lo cual flexibiliza los esquemas de rotación con forrajeras anuales de los sistemas intensivos usados para complementar la producción obtenida con alfalfa.

Las cebadas imberbes mostraron en promedio, proporciones de 33.1, 33.4 y 33.4 % de espigas, hojas y tallos, respectivamente, lo cual concuerda con otro reporte<sup>(7)</sup>, en donde no se encontraron diferencias significativas en la contribución de tallos, inflorescencia, hojas y vainas al rendimiento de forraje total, y no se pudo clarificar la superioridad en la calidad de la cebada con base en las fracciones de forraje al compararla con avena.

En pasto Timothy (*Phleum pratense* L.), se ha sugerido que las diferencias en el rendimiento de forraje seco pueden deberse a un mayor potencial de crecimiento de algunos genotipos, más que a cambios en la partición de biomasa<sup>(12)</sup>, característica que debe estudiarse en genotipos de cebada.

## CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Estas evidencias permiten concluir que los nuevos genotipos de cebada imberbe representan una opción

a lower leaf:stem ratio of 1.0 (Table 4). A high leaf:stem ratio is generally associated with good forage quality<sup>(8)</sup>, and therefore the lower values of this group should negatively affect its quality. Nonetheless, this group's leaf proportion (31.8 %) was higher than reported for other grains at similar harvest stages, as much as 12 %<sup>(8)</sup> and 20 to 21 %<sup>(11)</sup>, confirming that these awnless genotypes have novel characteristics.

The higher spike proportion in groups 3 (34.7 %) and 4 (33.5 %) can also help to improve protein quality and maintain *in vitro* digestibility, since the increase in grain starch can compensate for decreases in the degradability of neutral detergent fiber<sup>(27)</sup>. Group 4 was second in total dry matter production (10.99 t ha<sup>-1</sup>), with a value clearly higher than those of the triticale (1.7 t ha<sup>-1</sup>) or the malt barley cv Cerro prieto (0.95 t ha<sup>-1</sup>).

Group 1 was the latest and had the lowest stage at harvest of all the barleys (79 = late milk), but this was still higher than for the triticale (69 = full bloom). In terms of crop management this means that the barleys require less irrigation than triticale to produce the same biomass, which is especially relevant in areas with severe water use restrictions. The barleys' precocity also translates into less land occupied, which can allow more flexible rotation schemes with the intensive annual forage systems used to complement alfalfa production.

The average proportions for the awnless barleys were 33.1 % spikes, 33.4 % leaves and 33.4 % stems. These agree with a previous study<sup>(7)</sup> in which no significant difference was observed in the contributions of stems, inflorescences, leaves and pods to total forage yield, and barley's superior quality compared to oats could not be determined based on forage fractions.

It has been suggested that the differences in dry forage yield in Timothy grass (*Phleum pratense* L.) may result from the higher growth potential of some genotypes rather than changes in biomass partition<sup>(12)</sup>. This is a potentially significant observation that can be evaluated in future studies of barley genotypes.



viable para la producción de forraje en la época invernal, cuya precocidad y productividad favorecen la diversificación de forrajeras anuales, sobre todo en áreas con restricción en el uso de agua. Dentro de los grupos generados, el grupo 3 resultó mejor por su rendimiento de forraje seco total superior a las 11.0 t ha<sup>-1</sup>, seleccionando de este grupo los genotipos 33, 19, 10 y 34, de los cuales es necesario determinar su calidad forrajera con fines de recomendación. Las diferencias detectadas entre los grupos generados indican la variabilidad genética presente en las cebadas forrajeras imberbes. Es necesario realizar estudios para determinar el impacto del tiempo de cosecha sobre las fracciones de forraje a través de un rango amplio de etapas fenológicas y su influencia en la calidad del mismo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las facilidades y apoyo brindado por el Grupo "Ampuero" S.P.R. de R.L. para la realización del presente trabajo, en especial a los Ingenieros Jesús Timoteo Santana Rodríguez y Pedro Vélez Burciaga, igualmente al fondo sectorial SAGARPA-CONACYT por el apoyo financiero.

## LITERATURA CITADA

1. Kent NL. Tecnología de los cereales. 3ª ed. Zaragoza, España: Ed. Acribia, SA; 1987.
2. Royo C, Serra J, Puigdomench A, Aragay M. Yield and quality of triticale cv. Trujillo and barley cv. Flika grown for different end-uses in a Mediterranean environment. *Cereal Res Comm* 1998;26(2):169-176.
3. Bowman JGP, Blake TK, Surber LMM, Habernicht DK, Bockelman H. Feed-quality variation in the barley core collection of the USDA national small grains collection. *Crop Sci* 2001;41:863-870.
4. Juskiw PE, Jame YW, Kryzanowski L. Phenological development of spring barley in a short season growing area. *Agron J* 2001; 93:370-379.
5. Boukerrou L, Rasmusson DD. Breeding for high biomass yield in spring barley. *Crop Sci* 1990;30:31-35.
6. Narasimhalu P, Kong D, Choo TM. Straw yields and nutrients of seventy-five Canadian barley cultivars. *Can J Anim Sci* 1998;78:127-134.

## CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

The new awnless barley genotypes evaluated here are a viable option for winter forage production. Their precocity and productivity favor diversification of annual forages, particularly in areas with restricted water use. The group 3 genotypes were optimum based on their high total dry forage production (11.0 t ha<sup>-1</sup>). Of this group, genotypes 33, 19, 10 and 34 are the most promising and deserve further evaluation to determine their forage quality before making recommendations. The differences observed between the barley groups indicates the presence of genetic variability in these awnless forage barleys. Further research is needed to determine the impact of harvest time on forage fractions over a wide range of phenological stages, and its influence on quality.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Grupo "Ampuero" S.P.R. de R.L. for access to facilities and support provided for this research, with special thanks to Jesús Timoteo Santana Rodríguez and Pedro Vélez Burciaga. This research was funded by SAGARPA-CONACYT.

*End of english version*

7. Carr PM, Horsley RD, Poland WW. Barley, oat and cereal-pea mixtures as dryland forages in the Northern Great Plains. *Agron J* 2004;96:677-684.
8. Juskiw PE, Helm JH, Salmon DF. Postheading biomass distribution for monocrops and mixtures of small grain cereals. *Crop Sci* 2000;40:148-158.
9. Baron VS, Kibite S. Relationships of maturity, height and morphological traits with whole-plant yield and digestibility of barley cultivars. *Can J Plant Sci* 1987;67:1009-1017.
10. Goto M, Morita O, Chesson A. Morphological and anatomical variations among barley cultivars influence straw degradability. *Crop Sci* 1991;31:536-541.
11. Sheaffer CC, Rasmusson DC, Simmonds SR. Forage yield and quality of semidwarf barley. *Crop Sci* 1994;34:1662-1665.
12. Brégard A, Bélanger G, Michaud R, Tremblay GF. Biomass partitioning, forage nutritive value, and yield of contrasting genotypes of Timothy. *Crop Sci* 2001;41:1212-1219.



13. Cherney JH, Marten GC. Cereal crop forage potential: II. Interrelationships among biological, chemical, morphological and anatomical determinants of quality and yield. *Crop Sci* 1982;22:240-245.
14. Lozano del RAJ, Colín RM, Pfeiffer HW, Mergoum M, Hede A, Reyes-Valdés MH. Registration of "TCLF-AN-31" Triticale. *Crop Sci* 2002;42:2214-2215.
15. Lozano del RAJ, Colín RM, Pfeiffer HW, Mergoum M, Hede A, Reyes-Valdés MH. Registration of "TCLF-AN-34" Triticale. *Crop Sci* 2002;42:2215-2216.
16. Lozano del RAJ, Hernández SA, González IR, Béjar HM. Triticale in México. In: Mergoum M, González-Macpherson editors. Triticale improvement and production. FAO plant protection and protection paper 179. FAO. Rome, Italy. 2004:23-134.
17. Abdel-Haleem HA. Genetics and mapping of quantitative trait loci of feed quality-related traits in barley (*Hordeum vulgare* L) [doctoral thesis]. Bozeman, Montana, USA: Montana State University; 2004.
18. Wissar R, Ortiz R. Mejoramiento de papa en el Centro Internacional de la Papa (CIP) por adaptación a climas cálidos tropicales. Docum de Tecnología Especializada No. 22. Lima, Perú. 1987.
19. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 1988.
20. Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF. A decimal code for the growth stages of cereals. *Eucarpia Bull* 1974;7:42-52.
21. Manly BFJ. Multivariate statistical methods: A primer. London: Chapman and Hall; 1986.
22. Jhonson RA, Wichern DW. Applied multivariate statistical analysis. 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall; 1988.
23. SAS Institute Inc. SAS/STAT User's guide. Versión 6. Fourth edition. SAS Institute Inc., Cary, NC; 1989.
24. Statistica. Statistica for windows (ver. 4.5) Tulsa Ok, USA: StatSoft, Inc. 1994.
25. Ellen J. Growth, yield and composition of four winter cereals. I. Biomass, grain yield and yield formation. *Neth J Agric Sci* 1993;41:153-165.
26. Niu JY, Gan YT, Zhang JW, Yang QF. Postanthesis dry matter accumulation and redistribution in spring wheat mulched with plastic film. *Crop Sci* 1998;38:1562-1568.
27. Ben-Ghedalia DA, Kabala A, Miron J. Composition and in-vitro digestibility of carbohydrates of wheat plant harvested at bloom and soft-dough stages. *J Sci Food Agric* 1995;68:111-116.