

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y CONTENIDO DE CAROTENOIDES EN MAÍCES (*Zea mays* L.) AMARILLOS CULTIVADOS EN EL ESTADO DE MÉXICO*

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND CAROTENOID CONTENT IN YELLOW CORN (*Zea mays* L.) GROWN IN THE STATE OF MEXICO

Yolanda Salinas Moreno^{1§}, Salvador Saavedra Arellano², Jesús Soria Ruíz³ y Edgar Espinosa Trujillo¹

¹Laboratorio de calidad de maíz. Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Apartado Postal 10, Chapingo, México. C. P. 56230. Chapingo, México. ²Departamento de Ingeniería Agroindustrial, UACh. ³Laboratorio de Geomática. Campo Experimental Toluca, INIFAP. [§]Autora para correspondencia: yolysamx@yahoo.com

RESUMEN

En México hay pocos estudios referentes a la caracterización de los maíces amarillos cultivados en las diferentes regiones del país. Los objetivos fueron caracterizar los maíces amarillos cultivados en el Estado de México en función de sus propiedades físico-químicas y el contenido de carotenoides y determinar la relación de este pigmento con el color de grano y harina. Para ello se analizaron 19 materiales criollos colectados durante 2005 y 2006, cuatro muestras de la variedad mejorada de polinización libre Ultra y tres variedades experimentales. También se incorporaron en el estudio cuatro muestras de maíz amarillo importado. Los maíces criollos fueron de grano más suave, tamaño más grande y mayor contenido de aceite que los materiales mejorados, su contenido de carotenoides fue inferior al de los maíces mejorados y muestras de importación. En promedio, la variedad mejorada y las variedades experimentales tuvieron un contenido de carotenoides similar al de los maíces de importación. El contenido de carotenoides mostró una correlación positiva de 0.83 ($p \leq 0.01$) con el color de la harina cruda expresado en términos de +b*, parámetro obtenido del colorímetro Hunter-Lab y que está asociado con el tono amarillo.

Palabras clave: variedades nativas de maíz, composición química, color de grano, pigmento amarillo.

ABSTRACT

In Mexico there is a low number of studies in relation to the characterization of yellow corn kernel populations cultivated in different regions of the country. The objectives were to analyze the physicochemical characteristics and to determine the relationship of carotenoid content with grain and flour color in different populations of yellow corn. In the study, we included 19 native populations from the State of Mexico collected during 2005 and 2006, four samples of the commercial breed variety "Ultra", three experimental varieties and four samples of yellow corn imported from USA. Grain of native populations was softer, of larger size and higher oil content than the rest of the genotypes; they have the lowest carotenoid content. In average, bred variety Ultra and the experimental varieties showed similar carotenoid content than that of the imported corn samples. Carotenoid content show a positive Pearson's correlation coefficient of 0.83 ($p \leq 0.01$) with the Hunter-Lab parameter b* (yellow axis) of the dry raw flour.

Key words: corn landraces, chemical composition, grain color, yellow pigment.

La producción de maíz amarillo en México es baja, ya que de las 21.3 millones de toneladas de maíz producidas en

* Recibido: Enero de 2008
Aceptado: Septiembre de 2008

2006, solamente un millón corresponden a grano amarillo. Se requieren para el sector pecuario alrededor de 15 millones de toneladas de este grano, por lo que la diferencia entre lo producido y lo demandado se resuelve mediante la importación (CANAMI, 2007). Según datos de la Secretaría de Economía (2007), para este mismo año México importó 7.27 y 3.2 MT millones de toneladas de maíz amarillo entero y de maíz amarillo quebrado respectivamente.

En el Estado de México se produjeron durante el año 2005, 1.35 millones de toneladas de maíz (Anónimo, 2006), de este volumen, se estima que alrededor de 28% es maíz amarillo. La producción de maíz en la entidad proviene de semilla criolla principalmente, pues el uso de semilla mejorada es limitado (<15%). En el caso de los maíces amarillos, la producción proviene en su mayoría de semilla criolla, ya que los materiales mejorados desarrollados son solo dos variedades de polinización libre, mismas que se encuentran en etapa de evaluación.

El color amarillo del grano de maíz se debe a los carotenoides que son pigmentos naturales solubles en grasa y que se encuentran principalmente en plantas, algas y bacterias fotosintéticas, en las que desarrollan un papel crítico en el proceso fotosintético. Su estructura química consta de un esqueleto de 40 carbonos conformado por unidades de isopreno (Grotewold, 2006). Esta cadena puede tener terminaciones cíclicas en las que puede haber grupos funcionales que incluyen oxígeno.

Los carotenoides hidrocarbonados se conocen como carotenos, en tanto que los derivados oxigenados se denominan xantofilas (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004; Liu, 2007). En ambos casos, la presencia de dobles enlaces alternados en la cadena de isoprenos les permite absorber excesos de energía de otras moléculas, por lo cual poseen propiedades antioxidantes. Por estas propiedades, el consumo de luteína y zeaxantina, que son xantofilas presentes en el grano de maíz, se ha asociado con la prevención de la degeneración de la mácula del ojo, que en personas de edad avanzada produce ceguera (Seddon *et al.*, 1994). El β -caroteno es un importante precursor de vitamina A, cuya deficiencia es la principal causa de muerte prematura en naciones en desarrollo, particularmente entre los niños.

El contenido de carotenoides en el grano de maíz es influenciado por el genotipo, esto es, si el maíz ha sido mejorado para alto contenido de carotenoides, particularmente el β -caroteno, o si se trata de maíz dulce o

dentado. Así Kulirich y Juvik (1999) mencionan un rango de 0.45 a 33.11 mg kg⁻¹ de muestra seca en maíz dulce inmaduro; por su parte, De la Parra *et al.* (2007) señalan un contenido de 8.12 mg kg⁻¹ de muestra seca en maíz amarillo dentado. En maíces criollos mexicanos el rango informado es de 4.3 a 23.6 mg kg⁻¹ de muestra húmeda y de 9.8 a 22.5 mg kg⁻¹ en maíces híbridos (Lozano *et al.*, 2007).

Se espera que la producción de maíz amarillo en México se incremente en los próximos años, y sin duda será necesario conocer sus propiedades para adaptarlos al uso más conveniente. Por tanto, Los objetivos del presente trabajo fueron caracterizar los maíces amarillos cultivados en el Estado de México en función de sus propiedades físico-químicas, y contenido de carotenoides, y determinar la relación de este pigmento con color de grano y de harina.

Material de estudio

Se usaron 26 muestras de maíces amarillos (19 criollos, 4 muestras de la variedad mejorada Ultra y 3 variedades experimentales) cultivados en el Estado de México en el ciclo primavera-verano 2005 y 2006. En el caso de los maíces criollos, estos fueron colectados directamente en la parcela del productor; las muestras de la variedad mejorada Ultra (VMU) fueron donadas por el despacho de asesoría técnica Impulsagro, que se ubica en Toluca, Estado de México y las variedades mejoradas por personal del programa de mejoramiento genético de maíz del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). También se incorporaron 4 muestras de maíces amarillos importados donados por las empresas El Calvario y Purina. Dos de estas muestras fueron en grano entero, una en grano quebrado y otra en grano molido.

Métodos

Caracterización física

Las variables físicas medidas fueron: humedad de grano, peso hectolítrico (métodos 44-11 y 84-10, AACC, 1976), peso de 100 granos, índice de flotación (Salinas *et al.*, 1992), color en grano entero y en harina cruda a través del equipo Agtron del cual se obtuvo el valor de reflectancia (R). En este equipo el selector de color se usó en amarillo. También se midió con el colorímetro Hunter-Lab mini Scan, utilizando la escala CIEL*a*b*. Se obtuvieron los valores L* (luminosidad), a* (color en el eje rojo-verde) y b* (color

en el eje amarillo-azul) (D65, 10°), con estos últimos dos parámetros se calcularon el tono ($\tan^{-1} b/a$) y croma [$(a^2+b^2)^{1/2}$]. Para el color de harina cruda, el grano se molió en un molino tipo ciclónico con malla de 0.5 mm. Todos los análisis se realizaron por duplicado.

Análisis químicos

Se determinó el contenido de cenizas (método de la AOAC, 1975), proteína cruda, método MacroKjeldahl (Harris, 1970), y extracto etéreo [método Goldfish (AOAC, 1975)]. El contenido de carotenoides totales se realizó de acuerdo al método estándar 14-50 de la AACC (1976), expresando el resultado en función del β -caroteno (Sigma, MN) con el cual se elaboró una curva patrón.

Análisis estadístico de los datos

Con la información sobre caracterización física y química de los maíces amarillos se realizó un análisis multivariado, usando los métodos de componentes principales y de agrupamiento. Se construyó una matriz de datos entre las 26 poblaciones y las 20 variables físico-químicas del grano. Se usaron los algoritmos de el software SAS (Statistical Analysis System 9.0 for Windows) sugeridos por Dallas (2000). Se realizó el análisis de correlación de parámetros de color tanto en grano como en harina con el contenido de carotenoides y un análisis univariado de varianza entre los grupos arrojados en el análisis multivariado, y la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), usando el paquete SAS.

Características físico-químicas del grano

El análisis de características físicas del grano se realizó por grupo de maíces. Las muestras de la VMU presentaron el

peso hectolítrico más elevado, y el más bajo se tuvo en las muestras de criollos de 2006 (C2006) y las de los maíces de importación. En promedio, el grano más grande perteneció a los maíces C2006 y el más pequeño a las muestras de maíz importado. El índice de flotación, que es una medida indirecta de la dureza del grano, determinada por la proporción de endospermo harinoso y córneo (Salinas et al., 1992; Watson, 2003), presentó el valor más alto en los maíces de importación, y el más bajo en las variedades. Los criollos 2005 y 2006, así como las muestras de la VMU mostraron valores intermedios entre los maíces de importación y las variedades (Cuadro 1).

De acuerdo a estos resultados, el grano de las variedades mejoradas es pequeño y muy duro, en tanto que los criollos 2005 y 2006, así como las muestras de la VMU son de grano de dureza intermedia y tamaño mediano. Los maíces más suaves fueron los de importación.

Con relación a la composición química del grano, entre las muestras de los cinco grupos analizados no existe diferencia estadística para el contenido de proteína, aunque numéricamente el más bajo correspondió a los de importación; en el contenido de cenizas el valor más alto se tuvo en las variedades experimentales y el más bajo en los maíces de importación; el contenido de aceite fue en promedio mayor en los C2006 y C2005, el más bajo se tuvo en las muestras de maíz importado (Cuadro 1).

La industria que procesa maíz para obtener diversos productos requiere materia prima con calidad específica con base en características físicas y químicas del grano. En la industria de la molienda seca, la densidad del grano es importante debido a que una mayor densidad repercute positivamente en el rendimiento y calidad de las sémolas o

Cuadro 1. Características fisicoquímicas de los maíces amarillos analizados.

Grupos	PH	PCG	IF	PRO	CEN	EE
C2005	75.5 bc	33.3 ab	39.8 ab	9.6 a	1.2 ab	5.2 ab
C2006	74.6 c	39.2 a	36.9 ab	9.1 a	1.4 a	5.8 a
VMU	80.8 a	31.1 ab	15.5 ab	9.2 a	1.3 ab	4.8 bc
VARIEDAD	78.8 ab	29.6 b	11.8 b	9.4 a	1.4 a	4.4 bc
IMPORTADO	75.2 c	32.4 ab	46.3 a	8.4 a	1.1 b	4.0 c
DMS	3.5	9.1	35.4	3.8	0.2	0.9

C2005= criollos colectados en 2005; C2006= criollos colectados en 2006; VMU= variedad mejorada Ultra; PH= peso hectolítrico (kg/hL); PCG= peso de 100 granos (g); IF= índice de flotación (%); PRO= proteína (%); CEN= cenizas (%); EE= extracto etéreo (%); DMS= diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$).

“grits”; en contraparte, la industria refinadora de almidón prefiere granos suaves o de baja densidad por requerir menor tiempo de remojo en la solución de dióxido de azufre, y presentar un mayor contenido de almidón y menor contenido de proteína, comparado con los granos de textura vítrea (Serna, 1996).

La industria pecuaria requiere maíces de grano amarillo con textura de grano intermedia a suave para que la molienda se facilite y la digestibilidad del almidón en animales monogástricos (aves y cerdos) sea mayor.

Los materiales nativos analizados reúnen características favorables para su uso en la industria pecuaria, particularmente la avícola. La producción es absorbida por los avicultores de la zona de Querétaro, quienes valoran estos maíces por considerarlos de grano aceitoso y favorable para alimentar sus animales. Los materiales mejorados analizados que se están proponiendo para la siembra en el Estado de México, poseen características más favorables para la molienda seca y elaboración de frituras.

Contenido de carotenoides

En las muestras obtenidas en 2005, las de la VMU presentaron mayor contenido de carotenoides, en relación a los nativos. Entre estos últimos se observó un rango de 11.9 a 22.1 $\mu\text{g/g}$ de harina seca; el material nativo 14-250

tuvo el valor más alto (Figura 1). En las muestras del ciclo primavera-verano 2006, nuevamente los nativos fueron los de menor contenido, pero en este caso el rango observado fue de 14.4 a 25.4 $\mu\text{g/g}$ de harina seca, en este grupo la muestra 20 R2 fue la de mayor contenido (Figura 2). En promedio los maíces C2005 tuvieron menor contenido de carotenoides que los C2006. Estos materiales nativos ni son los mismos ni fueron cultivados en los mismos sitios, lo que podría explicar estas diferencias, pero una situación que pudo influir en este resultado es el tiempo de almacenamiento previo al análisis en los C2005, que fue mayor que el de los C2006. Está documentado que los carotenoides son susceptibles a la luz y a la temperatura (Moros *et al.*, 2002) y posiblemente el mayor tiempo de exposición a estos factores en los maíces C2005 pudo modificar su contenido.

De las muestras de 2006, las variedades fueron las de mayor contenido, con un valor máximo de 41.5 en el grano de V-55A. Entre los maíces de importación se observaron diferencias importantes de acuerdo a la condición de la muestra. El contenido más elevado correspondió a las muestras que estaban como grano entero, en tanto que el menor se tuvo en la de grano molido.

Como se desconoce la identidad de las muestras, no es posible afirmar que la trituration del grano redujo el contenido de carotenoides. Sin embargo, su degradación pudo verse favorecida al presentar una mayor superficie

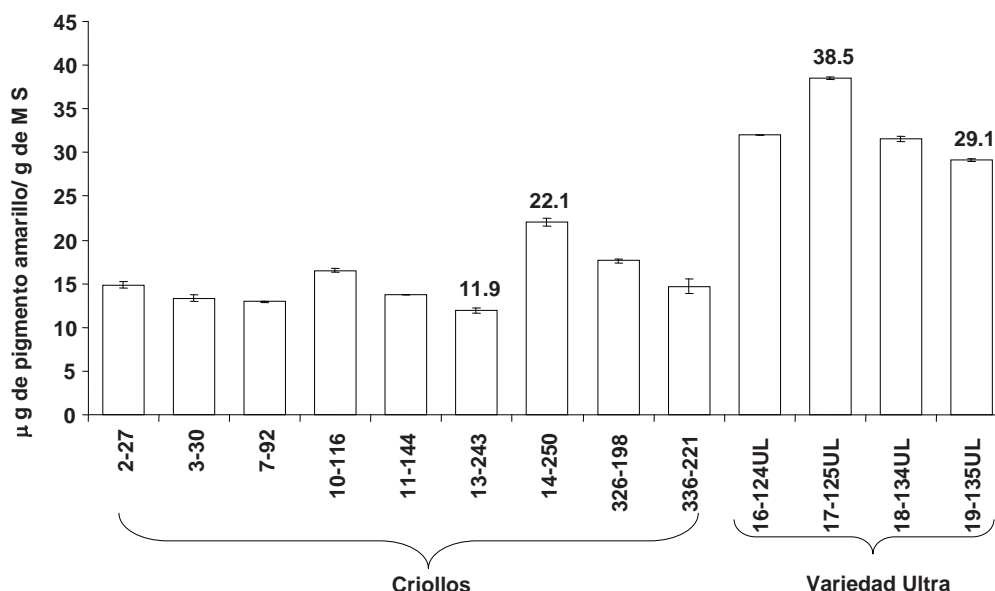


Figura 1. Contenido de carotenoides en maíces criollos y muestras de la VMU cultivadas en el Estado de México durante el ciclo primavera-verano-2005.

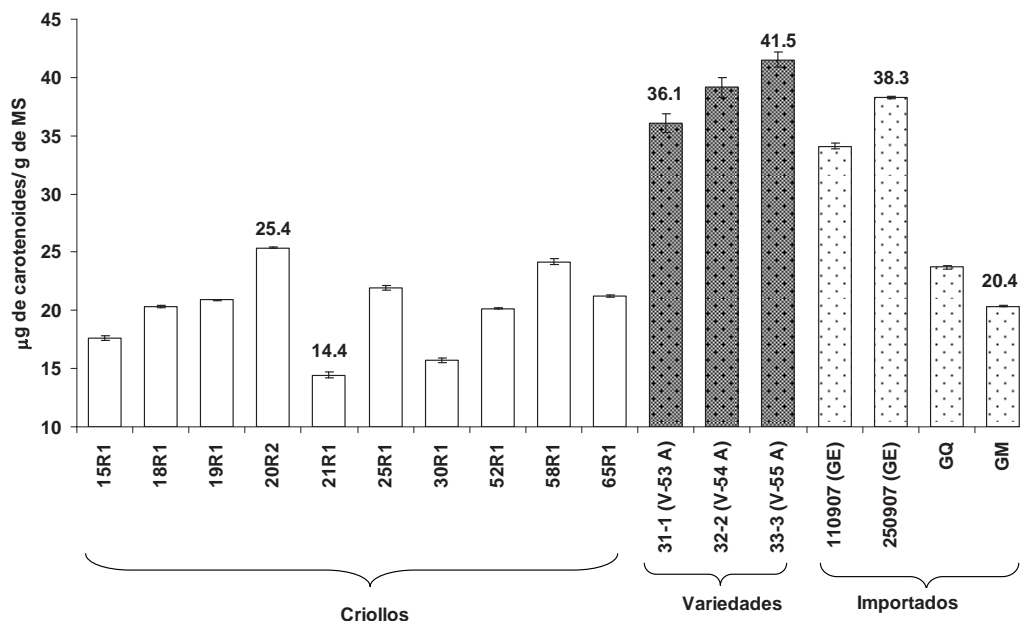


Figura 2. Contenido de carotenoides en maíces criollos, variedades mejoradas cultivadas en el Estado de México durante el ciclo primavera-verano-2006 y maíces importados. GE= grano entero; GQ= grano quebrado; GM= grano molido.

de contacto con el oxígeno atmosférico, factor al cual son inestables (Weber, 1987).

Los valores de carotenoides obtenidos en los maíces analizados en este estudio son similares a los informados por otros autores (Kurilich y Juvick, 1999; Lozano *et al.*, 2007), aunque los valores de las variedades se encontraron por arriba del rango máximo reportado.

Correlación del contenido de carotenoides con las variables físicas del grano y color de harina

De las variables relacionadas con la dureza del grano, el peso hectolítrico presentó una correlación positiva altamente significativa ($p \leq 0.01$), en tanto que con el índice de flotación fue negativa y sólo significativa ($p \leq 0.05$) (Cuadro 3). Esto significa que el contenido de carotenoides en las muestras analizadas es mayor en los maíces duros, con relación a los suaves. Esto se contrapone aparentemente con lo reportado por Lozano *et al.*, (2007) quienes encontraron una correlación positiva del índice de flotación con el contenido de provitamina A, que comprenden básicamente el α y β -carotenos y la β -criptoxantina pero no a la luteína y zeaxantina, que son xantofilas dominantes en el grano de maíz, particularmente presentes en el endospermo vítreo (Moros *et al.*, 2002) y que si son cuantificadas en los carotenoides totales.

De las variables de color de grano obtenidas tanto en el colorímetro Agrtron como Hunter-Lab, únicamente la luminosidad (L^*) y la tonalidad ($^{\circ}$ Hue) presentaron correlación significativa y altamente significativa con el contenido de carotenoides, en ambos casos estas fueron negativas. De las variables de color en harina cruda, todas presentaron correlación positiva, excepto la tonalidad ($^{\circ}$ Hue) que fue negativa, con el contenido de carotenoides. De acuerdo con los resultados, los valores de b^* y el índice de saturación de color (croma) de la harina seca pueden emplearse para predecir el contenido de carotenoides con una alta probabilidad (Cuadro 3). Esto es importante, sobre todo porque realizar la determinación directa de carotenoides implica el uso de n-butanol, que es tóxico y sobre todo contaminante, ya que los desechos no son fáciles de eliminar. Resultados similares a los de este estudio han sido encontrados para sémola de trigos duros (Fratiani *et al.*, 2005). En maíz, Lozano *et al.*, (2007) encontraron una correlación positiva del valor de b^* en harina húmeda con el contenido de carotenoides.

Análisis de la diversidad en las características fisicoquímicas

La diversidad fenotípica, caracterizada con las variables físicas y químicas del grano de las 28 muestras de maíz se

Cuadro 2. Coeficientes de correlación entre variables físicas de grano, color de grano y de harina cruda, y contenido de carotenoides en el grano de maíz.

Material	Variables	Coefficiente
Grano entero	Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)	0.53 **
	Peso de cien granos (g)	-0.28 ns
	Índice de flotación (%)	-0.48 *
	Color Agtron (% de R)	-0.18 ns
	Luminosidad (L*)	-0.44 *
	Valor de a*(verde-rojo)	0.33 ns
	Valor de b*(azul-amarillo)	-0.08 ns
	Tono (°Hue)	-0.69 **
	Índice de saturación (croma)	-0.04 ns
	Harina cruda	Color Agtron (% de R)
Luminosidad (L*)		0.40 *
Valor de a* (verde-rojo)		0.55 **
Valor de b*(azul-amarillo)		0.83 **
Tono (°Hue)		-0.28 ns
Índice de saturación (croma)		0.83 **

* = significativo al 5% de error; ** = significativo al 1% de error; NS = no significativo; R = reflectancia.

explicó en 91.7% con los 7 primeros componentes principales; los tres primeros explican 67.5% de la variación (Cuadro 4). En tales componentes, las variables sobresalientes están relacionadas con color de grano y harina, los cuales son: tonalidad de grano, escala colorimétrica “a”, y contenido de proteína, luminosidad de la harina (L), reflectancia del grano (R), luminosidad de grano (L) y humedad del grano,. De acuerdo a los lineamientos de este método de análisis, es recomendable que con máximo tres componentes se explique al menos 80% de la variación entre poblaciones. Cuando esto no ocurre, es recomendable explorar otras variables (Dallas, 2000).

En la Figura 3 se observa la dispersión de los cinco grupos de poblaciones en el espacio bidimensional comprendido por los dos primeros componentes principales. En el primer componente se observa que el grupo V, que comprende una sola población criolla, tiene valores altos de tonalidad de grano; le sigue el grupo III conformado por ocho poblaciones criollas cultivadas en el año 2005. Los valores intermedios los tuvieron los grupos II y IV, que incluyeron a las poblaciones criollas cultivadas en 2006 y las muestras de la VMU, respectivamente.

Cuadro 3. Valores propios de los componentes principales derivados del análisis de las 20 variables fisicoquímicas correspondientes a las 28 poblaciones de maíz amarillo.

Componentes	Valores propios	Proporción	Varianza acumulada
1	6.1082	0.3054	0.3054
2	4.8938	0.2447	0.5501
3	2.5029	0.1251	0.6753
4	2.0541	0.1027	0.7780
5	1.2933	0.0647	0.8426
6	0.8733	0.0437	0.8863
7	0.6080	0.0304	0.9167

El grupo I estuvo constituido por las variedades y los maíces importados y se caracterizó por presentar los valores más altos de “b”. Estudios recientes en maíz amarillo demuestran que el contenido de carotenoides se asocia con valores altos de “b” en la harina cruda húmeda (Lozano *et al.*, 2007). En trigos duros se ha observado este mismo patrón con el

Segundo Componente Principal (24.4 %): valor de "a" (+) y reflectancia de la harina (+)

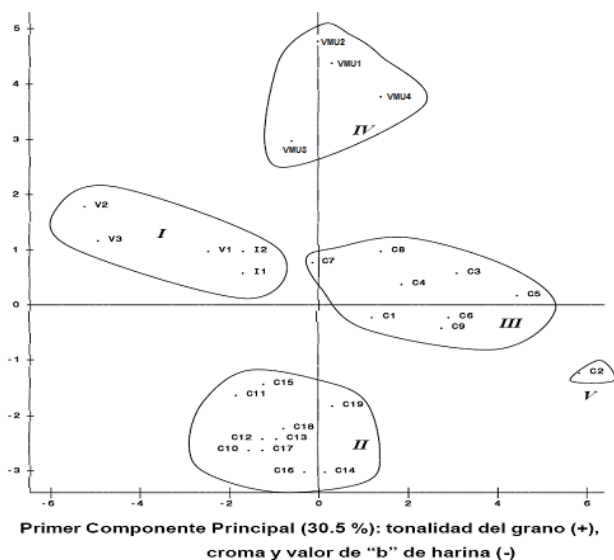


Figura 3. Distribución de los grupos de maíces amarillos con base en los dos primeros componentes principales. C= criollos; V= variedades experimentales; VMU= variedad mejorada ultra; I= muestras importadas.

contenido de carotenoides en la sémola (Fratiani *et al.*, 2005). De acuerdo con el segundo componente principal, los granos con valores altos en "a" en grano y reflectancia de harina cruda seca correspondieron a las muestras de la variedad Ultra (grupo IV). Valores intermedios los presentaron los grupos I, III y V; los valores más bajos correspondieron al grupo II.

Dentro de las características físicas del grano en las muestras analizadas, las variedades nativas mostraron menor dureza de grano que los materiales mejorados. En su composición química, estos maíces fueron sobresalientes por su elevado contenido de aceite.

El contenido de carotenoides de los maíces criollos fue menor que el de las variedades mejoradas. Los maíces de importación presentaron un contenido similar al de las variedades.

El contenido de carotenoides presentó una correlación positiva de 0.83 con el color de la harina cruda expresado en términos de b^* y con el índice de saturación de color, lo que significa que cualquier de estas dos últimas variables puede emplearse para estimar con alta aproximación el contenido de carotenoides en maíces amarillos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Fundación Produce Estado de México para la realización de la presente investigación. Asimismo, agradecemos al Dr. Alejandro Espinosa Calderón por facilitar muestras de materiales usados en este estudio.

LITERATURA CITADA

- Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists. (AOAC). 1975. 12th Ed. Washington, D.C.
- American Association of Cereal Chemists. (AACC). 1976. Approved methods of the AACC, St. Paul MN.
- Anónimo. 2006. Estimación de rendimientos de maíz, trigo, cebada y avena forrajera. Ciclo P-V 2005. Gobierno del Estado de México. SEDAGRO, Dirección General de Agricultura. 63 p.
- Cámara Nacional de Maíz Industrializado (CANAMI). 2007. (consultado en <http://www.planetaazul.com.mx/www/2007/01/08/anticipan-para-maiz-produccion-record/>. fecha: 25-nov. 2007).
- Dallas, E. J. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Ed. Internacional Thomson Editores, S. A de C. V. México, D. F. 566 p.
- De La Parra, C.; Serna, S. S. O. and Hai, L. R. 2007. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *J. Agric. Food Chem.* 55:4177-4183.
- Fratiani, A.; Irano, M.; Panfili, G. and Acquistucci, R. 2005. Estimation of color of durum wheat. Comparison of WSB, HPLC, and reflectance colorimeter measurements. *J. Agric. Food Chem.* 53:2373-2378.
- Grotewold, E. 2006. The genetics and biochemistry of floral pigments. *Annual Review of Plant Biology* 57:61-80.
- Harris, L. 1970. Métodos para el análisis químico y la evaluación biológica de alimentos para animales. Trad. de la 2^a Ed. por Salazar, J. J. Gainesville, Florida, Center of Tropical Agriculture. 200 p.
- Kulirich, A. C. and Juvik, J. A. 1999. Quantification of carotenoids and tocopherol antioxidants in *Zea mays*. *J. Agric. Food Chem.* 47(5):1948-1955.
- Liu, R. H. 2007. Whole grain phytochemicals and health. *J. Cereal Sci.* 46:207-219.

- Lozano, A. N.; Vázquez, C. G.; Pixley, K. and Palacios, R. N. 2007. Physical properties and carotenoid content of maize kernels and its nixtamalized snacks. *Innov. Food Sci. and Emer. Techn.* 8:385-389.
- Meléndez-Martínez, A. J.; Vicario, I. M. y Heredia, F. J. 2004. Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 57(2):209-215.
- Moros, E. E.; Darnoko, D.; Cheryan, M.; Perkins, E. G. and Jerrell, J. 2002. Analysis of xanthophylls in corn. *J. Agric. Food Chem.* 50:5787-5790.
- Salinas, M. Y.; Martínez, B. F. y Gomes, H. J. 1992. Comparación de métodos para medir dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Arch. Latinoamer. Nutr.* 42:59-63.
- Seddon, J.; Ajani, V. A.; Sperduto, R. D.; Hiller, R.; Blair, N.; Burton, T. C.; Farber, M. D.; Gragoudas, E. S.; Halter, J.; Miller, D. T.; Yannuzzi, L. A. and Willet, W. 1994. Dietary carotenoids, vitamins A, C, and E and advanced age-related macular degeneration. *J. Am. Med. Assoc.* 272, 1413. (USA).
- Secretaría de Economía (SE), 2007. Página electrónica. http://www.cmdrs.gob.mx/sesiones/2007/Prim_ord_07/Cons_maiz.pdf (fecha: 10 de Noviembre de 2008).
- Serna, S. S. R. O. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. Departamento tecnología de alimentos. ITESM-Campus Monterrey. AGT Editor S. A. México, D. F. 521 p.
- Watson, S. A. 2003. Structure and composition. Chapter 3, *In: Corn Chemistry and Technology*. White, P. J. and Johnson, L. A. (eds) American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul Minnesota.
- Weber, E. J. 1987. Carotenoids and tocoferols of corn grain determined by HPLC. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 64:1129-1134.