

# Análisis de los atributos químicos de poblaciones de maíz criollo

## Analysis of Chemical Attributes in Maize Landrace Populations

Ezequiel Oviedo-Campos<sup>1\*</sup>, Norma Angélica Ruiz-Torres<sup>1</sup>,  
Juan José López-González<sup>2</sup>, Hilda Cecilia Burciaga-Dávila<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Granos y Semillas, <sup>2</sup>Departamento de Recursos Naturales Renovables. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México. E-mail: juniors\_82@hotmail.com [\*Autor responsable].

### RESUMEN

El manejo agronómico y condiciones ambientales específicas donde se producen los granos interfieren con el contenido de nutrientes. En este estudio se evaluó la calidad química de 90 poblaciones de maíz criollo, colectadas en 23 municipios en el estado de Coahuila en 2008. Se determinó contenido de proteína, almidón, aceite y fenoles libres. El contenido de fenoles libres presentó un rango de 4.46 en las colectas de Sacramento a 9.48% en las de Candela. El contenido de proteína varió de 9.12 a 12.66% en las colectas de Ocampo y Juárez, respectivamente, con un valor medio de 10.04%. Las colectas de Zaragoza mostraron el más alto contenido de aceite (5.46%), la media de las colectas fue de 4.83%. Las colectas de Juárez presentaron 80.66% de almidón, que es el componente que se encuentra en mayor proporción, mientras que las colectas de Candela sólo alcanzaron 62.50. Los resultados indican que las colectas del municipio de Juárez presentan mayor calidad química en contenido de proteína y almidón, del mismo modo un alto contenido de aceites (5.28%). Las colectas del municipio de Ocampo fueron las más pobres en contenido de proteína (9.12%) y de aceite con 4.31%, que apenas supera a las colectas de Frontera, que obtuvieron el contenido más bajo de todas las colectas con 4.12%. La calidad química de la semilla está determinada por la composición genética de cada material, los ambientes de colecta y por las condiciones de manejo agronómico.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., poblaciones criollas, proteína, almidón, aceites, fenoles libres.

### ABSTRACT

The agronomic and environmental conditions which produce grains interfere with nutrient content. In this study we evaluated the chemical quality of 90 landrace populations collected in 23 municipalities in the state of Coahuila, México in 2008. Protein content, starch, oil and free phenols were determined. The free phenol content presented a range of 4.46 in the collections from Sacramento to 9.48% in Candela. The protein content ranged from 9.12 to 12.66% in the collections of Ocampo and Juarez, respectively, with a mean value of 10.04%. The collections of Zaragoza showed the highest oil content (5.46%) the average of collections was 4.83%. The collections of Juarez presented an 80.66% starch, which is the component found in greater proportion, while Candela's collections reached only 62.50. The results indicate that the collections of the municipality of Juarez have higher chemical quality of protein and starch content in the same way a high oil content (5.28%). The collections of the municipality of Ocampo were the poorest in protein content (9.12%) and oil content of 4.31%, which is just over the collections of Frontera that obtained the lowest content of all collections with 4.12%. The chemical quality of the seed is determined by the genetic composition of each material, the collection environments and the agronomic conditions.

**Key words:** *Zea mays* L., landrace populations, protein, starch, oil, free phenols.

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal que más se produce y consume a nivel mundial; Estados Unidos de Norteamérica es el principal productor, seguido por China y Brasil; México ocupa la cuarta posición (FAO, 2008).

Es el cultivo más importante en la agricultura de México, al servir como materia prima proveedora de alimentos para la población, gracias a la gran versatilidad de subproductos que de él se obtienen.

Según cifras del SIAP (2010), en México se sembraron 7'726,109.60 ha de maíz al cierre del ciclo agrícola 2009, y se obtuvo una producción de 20'142,815.76 toneladas. Destacando los estados de Sinaloa, con 26%; Jalisco, 12.6%; Estado de México, 6.5%; Chiapas, 6.0%, y Michoacán, con 5.9% de la producción. Del total de la superficie sembrada, 81.7% es de temporal, y se utilizan variedades criollas como fuente de semilla.

La semilla de maíz consta de endospermo, embrión y pericarpio, ellos ocupan, respectivamente, 82, 12 y 6% de la semilla entera. Los componentes nutricionales del grano, en materia seca, se encuentran distribuidos de la siguiente forma: almidón, 72.4%; aceite o lípidos, 4.7%; proteína, 9.6%; fibra, 9.9%; azúcares, 1.9%, y cenizas, 1.4% (Reyes, 1990).

Para Copeland y McDonald (2001) es esencial conocer la composición química de la semilla por varias razones: son fuente de alimento para humanos y animales, ingrediente en la formulación de medicinas y drogas, contiene metabolitos anti nutricionales, son materia prima de productos industriales y, por último, contiene reservas y sustancias de crecimiento que influyen en la germinación y vigor de plántulas, almacenamiento y longevidad. Los mismos autores afirman que la composición química está determinada sobre todo por factores genéticos, y varía entre especies y partes de la semilla; sin embargo, se ve influida por prácticas culturales y por el ambiente.

Las proteínas son compuestos orgánicos formados por cadenas de hasta 20 aminoácidos, y aquellos que nuestro organismo no puede sintetizar y son requeridos forzosamente a tomar de los alimentos que se conocen como aminoácidos esenciales; en nuestro país, la principal fuente de proteínas es el maíz (Baduí, 2006).

La proteína de los cereales es de bajo valor nutricional al ser comparada con la proteína de origen animal. Esta deficiencia es el resultado de un desba-

lance de aminoácidos y de un bajo contenido proteico (Azevedo *et al.*, 2006). Las prolaminas (zeínas) son las principales proteínas de reserva del grano de maíz, que se localizan principalmente en el endospermo (Sánchez *et al.*, 2007).

El maíz tiene un alto valor nutritivo como fuente de energía por su gran contenido de carbohidratos presentes en forma de almidón, en la mayoría de los cereales es el principal componente químico; en el grano entero de maíz, el almidón representa 72.4%, y es utilizado en la industria como materia prima de diversos productos alimenticios para mejorar funcionalidades específicas (Bello y Paredes, 2009). Según Baduí (2006) en el almidón, del 17 al 27% es amilosa, el resto es amilopectina. Los granos de los cereales tienen muy pocos azúcares libres, del 1 al 3% del peso aproximadamente, se encuentran en el germen y en las capas de salvado principalmente.

Los aceites o lípidos son nutrientes importantes en la dieta humana, fuente de energía concentrada, que aportan alrededor de 9 kcal g<sup>-1</sup>, contra las 4 kcal g<sup>-1</sup> que aportan las proteínas y los carbohidratos (Lawson, 1994). Del total de aceites contenidos en el grano de maíz, 14% son ácidos grasos omega-3, 60% omega-6, 1% son ácidos grasos saturados y el restante 25% ácidos grasos monoinsaturados, los omega-3 y 6 ayudan a mantener bajos los niveles de colesterol LDL, llamado comúnmente como colesterol malo en la sangre, y son de importancia en el crecimiento infantil y desarrollo neurológico (Ronayne, 2000).

El grano entero de maíz contiene de 3 a 5% de aceite, del cual 25 al 30% se localiza en el germen (Duffus y Slaughter, 1985), este hecho lo confirman Vázquez *et al.* (2010), quienes al evaluar 26 maíces criollos del Valle del Mezquital, Hidalgo, encontraron que el mayor porcentaje de germen se relaciona con el mayor contenido de aceite.

La calidad del aceite y el contenido están determinados por factores como manejo agronómico, climático y almacén (Hernández *et al.*, 2009). En un análisis del contenido de aceites en 45 colectas de maíz criollo del estado de Nayarit, México, Vidal *et al.* (2008) encontraron valores desde 2.3 hasta 6% de aceite en grano entero.

Los fenoles libres son compuestos químicos, resultado del metabolismo secundario de las plantas; Cabrera *et al.* (2009) mencionan que la función de éstos es la defensa ante el ataque de insectos en las plantas, además poseen propiedades antioxidantes, antimutagénicos y anticancerígenos, que se concentran en mayor proporción en el germen y que entre

más cremoso es el pericarpio del grano existe mayor contenido de fenoles libres.

Ortega *et al.* (2001) mencionan que el manejo agronómico y condiciones ambientales específicas donde se producen los granos interfieren con el contenido de nutrientes. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad química, expresada en contenido de proteína, almidón, aceite y fenoles libres, de 90 poblaciones de maíz criollo, colectadas en 23 municipios en el estado de Coahuila, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 90 poblaciones criollas de maíz colectadas en 23 municipios del estado de Coahuila, en el año 2008, por investigadores del Programa de Recursos Fitogenéticos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El estudio fue realizado en el Laboratorio de Tejido Vegetal y Suelo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en El Batán, Estado de México. Se determinaron los componentes químicos en grano de acuerdo con los protocolos de Laboratorio del CIMMYT en 2008.

### Determinación de nitrógeno

Se utilizó el Método Industrial #334-74, 1977 desarrollado para el Autoanalizador Technicon II (Technicon Autoanalyzer II). La determinación de nitrógeno se basa en un método colorimétrico en el que el color verde esmeralda está formado por la reacción de salicilato e hipoclorito con amoníaco.

### Digestión

Se pesaron 40 mg de cada muestra (previamente molida y desengrasada) y se transfirieron a tubos de digestión, se incluyeron dos tubos sin muestra, se añadió a cada tubo 2 g de la mezcla de catalizadores y 2.5 mL de concentrado de ácido sulfúrico. Se dejó reposar y posteriormente se llevó a cabo la digestión en un bloque digestor previamente calentado a 380 °C durante 90 min.

### Análisis de la muestra

Se retiró la rejilla de tubos del digestor para que se enfriaran a temperatura ambiente y se añadieron 75 mL de agua destilada. Después de verificar que la solución estuvo totalmente clara se cerraron los tubos herméticamente y se mezclaron. Se pasaron 2 mL de la solución a viales Technicon y se colocaron las muestras en el autoanalizador.

Se estableció la línea de bombeo para cada uno de los cuatro reactivos. Se fijó a 0% en la gráfica usando la solución de digestión blanco, se leyeron cuatro viales de solución de digestión blanco y se revisó que estuvieran a 0% de la línea base. Posteriormente, se leyeron cuatro viales de 20 mg N mL<sup>-1</sup> y se ajustó al nivel pico en 70% en la gráfica.

### Cálculo del porcentaje de nitrógeno

20 µg N mL<sup>-1</sup> es el 70% en la gráfica.

Donde:

- 1% en la gráfica = 0.2857 µg N mL<sup>-1</sup> en digestión  
µg N mL<sup>-1</sup> en digestión = por ciento de lectura x 0.2857 µg N mL<sup>-1</sup>
- 0 µg N en 75 mL en digestión = por ciento de lectura x 0.2857 µ x 75

$$\text{Cálculo del factor} = \frac{20 \mu\text{g N /mL}}{\text{Divisiones de la gráfica} \times 100}$$

x volumen de digestion x 100%

$$\text{N \%} = \frac{2.1427 \times \text{lectura}}{\text{Peso de la muestra (mg)}}$$

### Determinación de proteína

Por lo tanto, la proteína se estimó a partir de nitrógeno, y el cálculo del valor en el caso del maíz es: por ciento de proteína = por ciento de nitrógeno x 6.25 (factor de conversión para el maíz).

### Determinación de almidón total

La determinación de almidón por el método Megazyme se llevó a cabo mediante una digestión enzimática para extraer el polímero. En el ensayo, la hidrólisis de almidón se realizó en dos fases. En la primera fase, el almidón fue parcialmente hidrolizado y solubilizado; en la segunda, las dextrinas del almidón fueron hidrolizadas a glucosa por la acción enzimática con amiloglucosidasa. La glucosa se cuantificó colorimétricamente usando reactivo de Antrona.

Para cada genotipo se pesaron 20 mg (muestra molida y desengrasada), se colocó en tubo de vidrio (20 x 15 mm). Se incluyeron dos tubos con el estándar de almidón y se humedeció con 40 µL de etanol líquido (80% v:v) para mejorar la dispersión, se reposó durante 5 min y se mezcló en un vórtex. Inmediatamente se agregaron 600 µL de α-amilasa en amortiguador MOPS (50 µM, pH 7.0) y se agitó

vigorosamente el tubo en un vórtex. Se incubó a baño maría durante 6 min (se agitaron vigorosamente en forma alterna 2 y 4 min).

Nuevamente se colocaron en baño maría a 50 °C (se dejó enfriar durante 5 min); se agregó el amortiguador de acetato de sodio (800 µL, 200 mM, pH 4.5), seguido de amilogucosidasa (20 µL, con una pipeta digital). Se agitó el tubo con un vórtex y se incubó a 50 °C por 30 min. Se transfirió el contenido a un tubo Corning plástico de 50 mL para centrifugar a 3000 rpm durante 10 min. Se tomó 1 mL de sobrenadante y cuidadosamente se transfirió a un tubo de vidrio (20\*150 mm). Finalmente se agregaron 9 mL de agua desionizada, se cubrieron y se agitaron en vórtex.

### Reacción calorimétrica

Con una pipeta digital se tomaron 50 µL de dilución y se transfirieron a una placa con 96 pocillos que se mantuvo sobre hielo. Se agregaron 100 µL de la solución de Antrona usando una pipeta multicanal digital, se cubrió la microplaca con papel aluminio para evitar derramar las muestras y se agitó suavemente en vórtex hasta que se observó una solución homogénea en cada pozo. La microplaca se incubó a 100 °C durante 10 min. Por último, las microplacas se enfriaron en un refrigerador por 10 min y después se agitó en vórtex antes de leer la absorbancia a 630 nanómetros (nm) en un espectrofotómetro.

Se determinó la ecuación de regresión, relacionando la concentración de glucosa en la solución estándar a la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro.

La fórmula de regresión es:  $Y_g = b(x)$

Donde:

$Y_g$  son las unidades de absorbancia 630 nm,

$b$  es la pendiente,

$x$  es la concentración de glucosa.

Se calculó la cantidad de glucosa en la muestra, primero restando el valor del blanco a la lectura de absorbancia de la muestra, y segundo dividiendo la absorbancia corregida por la pendiente. La ecuación general para calcular la cantidad del por ciento de glucosa es:

$$\text{Almidón (mg/100 mg) de harina} \\ = x d_f v h_f^* 100 / d_w$$

Donde:

$x$  es la concentración de glucosa (mg mL<sup>-1</sup>);

$d$  es el factor de dilución (ej. 10 para una dilución 1:9);

$v$  es el volumen original del extracto de almidón (20 mL);

$d_w$  es el peso original de la harina (20 mg), y

$h$  es el factor de hidrólisis del almidón.

Para expresar los resultados como por ciento del peso seco, el contenido de humedad tiene que ser considerado usando la siguiente fórmula:

$$\text{Almidón (\%)} = (\text{valor}) \times (100) / (100 - \text{contenido de humedad (\% w:w)})$$

### Estimación de contenidos fenólicos libres en maíz utilizando reactivo Folin-Ciocalteu

El ensayo se basa en la transferencia de electrones en el medio alcalino de compuestos fenólicos a complejos ácidos fosfomolibdico-fosfotungstico, que son determinados espectroscópicamente a 765 nm. Este ensayo se realizó en tubos de microcentrifuga y la determinación se realizó en un lector de placa de 96 pocillos.

### Extracción de fenoles libres solubles

Para cada muestra se pesaron 20 mg de polvo en un tubo Eppendorf. Se añadió 1.3 mL de metanol al 50% y el tubo se cerró para evitar la evaporación, que tendrá lugar durante la extracción. Se agitó en un termo mezclador para microtubos a 65 °C y 900 rpm durante 30 min, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente para centrifugar a 14,000 rpm durante 5 min.

Finalmente se hizo la reacción colorimétrica tomando 50 µL de sobrenadante y se transfirió a una microplaca, se añadieron 40 µL de reactivo Folin-Ciocalteu, después 110 µL de carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y se cubrió con cinta adhesiva de aluminio para evitar derramar muestras. Se agitó en vórtex a 800 rpm durante 10 s y se incubó a 42 °C por 9 min para el desarrollo del color.

Se tomó la microplaca de la estufa y se dejó enfriar al ambiente, protegiéndola de la luz. Se obtuvieron lecturas de absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro.

La cantidad de ácido gálico (AG) para cada muestra se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{AG (\%)} = \frac{\text{OD}_{765\text{nm}} \times \text{Volumen de hidrólisis}}{\text{Pendiente} \times \text{Peso de la muestra}} \times 100\%$$

$$\text{AG (\mu g/mL)} = \frac{0.345}{0.0155\text{OD}/\mu\text{g/mL}} \times \frac{1.3 \text{ mL}}{20000} \times 100\%$$

Sin embargo, esta cantidad incluye la absorbancia de la placa y el metanol. Para calcular el contenido de ácido gálico del material biológico (polvo de grano) debe restarse el valor de la absorbancia de la placa y el metanol.

Por ciento de ácido gálico =  $\frac{OD_{765nm \text{ corregido}}}{\text{Factor}}$

Donde:

$OD = 765nm \text{ corregido} = OD_{765nm \text{ muestra}} - OD_{765nm \text{ promedio del metanol blanco}}$

OD= Observancia directa.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestran diferencias estadísticas entre colectas únicamente para fenoles libres ( $p \leq 0.01$ ), atribuibles a la gran diversidad y variabilidad genética. Cabrera *et al.* (2009) mencionan que existe una relación con el color del grano por la presencia de antocianinas asociadas con el contenido de fenoles, y que cuando se analizan muestras contrastantes en color de grano y zonas de producción la variabilidad en el contenido de compuestos fenólicos es elevada. Esto se vio reflejado en este estudio, ya que la variabilidad genética es alta y los ambientes de producción son muy diversos y contrastantes.

En las medias para proteína (Cuadro 2), las colectas del municipio de Juárez tienen un contenido en promedio de 12.66%, valor mayor al reportado por Vidal *et al.* (2008) para 45 colectas de maíces criollos de la sierra de Nayarit, donde el valor más alto fue de 12.0%. Por su parte, Vázquez *et al.* (2010) encontraron como valor máximo 12.5% de proteína en un estudio de 26 maíces criollos del Valle del Mezquital, Hidalgo. Pérez (2006), al analizar maíces criollos cultivados en diferentes ambientes, reportó

valores de 9.92% para poblaciones originales y de 12.53% en poblaciones incrementadas, a las cuales se les aplicó fertilizante, y estuvieron bajo mejores condiciones de manejo agronómico. Zepeda *et al.* (2010) al aplicar diferentes dosis de fertirrigación a 10 híbridos simples adaptados a Valles Altos centrales de México, obtuvieron un valor de 11.5% de proteína en grano, por último resaltar que 43% de los materiales de este estudio superaron el valor de 10.5% de proteína reportado por Vázquez *et al.* (2003) para 40 maíces criollos originales y 70 retrocruzas.

Esto nos indica que en el estado de Coahuila, el maíz aporta buena cantidad de proteína, lo anterior considerando que la mayoría de los agricultores no fertilizan sus parcelas. El contenido alto en proteína es derivado por lo general de la fertilización nitrogenada del cultivo (Coutiño *et al.*, 2008).

Para contenido de aceite en grano los valores difieren en fracciones porcentuales. En el Cuadro 2 se indica el rango numérico para contenido de aceite por municipio de colecta, con valores que van de 4.12 a 5.46%. Coutiño *et al.* (2008) reportan un valor promedio de 4.9% para variedades de maíz Comiteco, por el contrario Vidal *et al.* (2008) citan contenidos de 5.3% para la misma raza; sin embargo, reporta 7.6 para el maíz criollo Dulce 9 de Jalisco.

En otro estudio, Méndez *et al.* (2005) encontraron 7.0% de aceite en el maíz criollo Acatlán, y sugiere su uso para la elaboración de tortillas por la interacción con el almidón; al respecto, Narváez *et al.* (2007) mencionan que razas con gránulos pequeños de almidón en la porción suave de endospermo tienen alto contenido de lípidos totales.

El contenido de aceite está directamente relacionado con el tamaño del germen del grano (Vázquez *et al.*, 2010). En este contexto, Dudley *et al.* (2004) concluyen que la selección para incrementar el contenido de aceite en el grano de maíz, tiende a

**Cuadro 1.** Cuadrados medios del análisis de varianza para los componentes químicos.

FV	GL	Proteína (%)	Aceite (%)	Almidón (%)	Fenoles libres (%)
Colectas	22	2.44 ns	0.23 ns	33.79 ns	1.89 *
Error	67	1.82	0.21	26.82	0.85
CV (%)		13.46	9.54	7.17	16.01

ns = no significativo; \*, \*\* = Significativo a una  $p < 0.05$  o  $0.01$ , respectivamente.

**Cuadro 2.** Comparación de medias por colecta para componentes químicos.

	<b>Proteína [%]</b>	<b>Aceite [%]</b>	<b>Almidón [%]</b>	<b>Fenoles libres [%]</b>
Juárez	12.66	5.28	80.66	5.32 b
Frontera	12.48	4.12	76.30	6.21 ab
Jiménez	11.64	4.60	71.08	6.15 ab
San Pedro	11.60	5.15	73.69	5.76 b
Monclova	11.02	5.23	73.59	4.98 b
Lamadrid	10.89	5.25	64.96	4.81 b
Torreón	10.88	5.04	67.62	4.78 b
Viesca	10.84	4.80	80.08	5.02 b
Abasolo	10.83	4.60	78.19	4.86 b
Sacramento	10.52	4.88	70.94	4.46 b
Zaragoza	10.39	5.46	69.48	5.34 b
Ramos Arizpe	10.12	4.83	73.53	5.63 b
Cuatro Ciénagas	10.11	5.19	74.18	5.51 b
Castaños	10.03	4.62	69.43	5.90 ab
General Cepeda	9.81	4.73	72.29	5.54 c
Villa Unión	9.74	4.69	70.08	6.60 ab
San Buenaventura	9.61	4.44	76.67	5.36 b
Arteaga	9.60	4.91	71.03	5.73 b
Nadadores	9.60	4.42	70.83	5.36 b
Saltillo	9.42	4.66	72.04	5.87 b
Parras	9.36	4.86	72.55	6.11 ab
Candela	9.29	4.74	62.50	9.48 a
Ocampo	9.12	4.31	72.13	6.60 ab
Media General	10.04	4.83	72.14	5.76

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales.

reducir el contenido de almidón, y esto a su vez provoca un ligero incremento en la cantidad de proteína.

Por último, las variaciones en contenido de aceite son debidas a la diversidad de genotipos particulares, manejo agronómico y condiciones ambientales diversas (Ortega *et al.*, 2001).

En relación con el contenido de almidón, el promedio fue de 72.14% siendo las colectas del municipio de Juárez las que presentaron el mayor porcentaje con 80.66, valor aproximado al encontrado por Méndez *et al.* (2005), quienes reportan valores de 69 a 86%, siendo un híbrido el que registró el valor más alto. Sánchez *et al.* (2007) documentan contenidos de 73 a 77% de almidón, y reconocen que la cantidad

y tipo de almidón ejerce una influencia importante en la textura de la tortilla, de aquí la importancia de su caracterización.

Por otra parte, Narváez *et al.* (2007) profundizan estudiando el tamaño del gránulo de almidón relacionado con la dureza del grano, y concluyen en forma general que los granos duros tienen gránulos de almidón pequeños, y los suaves presentan gránulos de almidón grandes.

Tester *et al.* (2004) justifican esta declaración sosteniendo que los gránulos de almidón están suspendidos en una matriz proteica que da soporte y rigidez a las estructuras del almidón, por lo tanto entre más grandes sean los gránulos menor la cantidad matriz proteica. Raeker *et al.* (1998) y Bertolini *et al.* (2003)

coinciden en que la biosíntesis de almidón y proteína están directamente relacionadas. No obstante, el factor ambiente es el que afecta la distribución del tamaño del almidón en el endospermo (Raeker *et al.*, 1998).

En el presente trabajo, el maíz criollo del municipio de Juárez tiene el mayor porcentaje de proteína y de almidón, así como contenido de aceite alto, lo que indica que este material en su endospermo duro posee gránulos de almidón pequeños, y se confirma la relación directa entre la biosíntesis de almidón y de aceites en el grano de maíz.

Para el contenido de fenoles libres, se observó un rango que va de 4.46 a 9.48%. Estos datos reflejan la gran variabilidad genética que existe entre las colectas y la gran diversidad de ambientes de producción, manejo de cultivo y prácticas agronómicas.

Para la comparación de medias (Cuadro 2), el municipio de Candela reporta el valor más alto de compuestos fenólicos, con 9.48%. Salinas *et al.* (2010) concluyen que los compuestos fenólicos son los responsables del oscurecimiento de la masa y la tortilla, factor que hace que estos maíces sean poco aceptados por la industria; sin embargo, estos compuestos antioxidantes reducen la acumulación de grasa en las arterias y ayudan al desarrollo neurológico y al crecimiento infantil (Ronayne, 2000).

## CONCLUSIONES

La calidad química de la semilla está determinada por la composición genética de cada material, los ambientes de colecta y las condiciones de manejo agronómico. Las colectas con mayor porcentaje de proteína y almidón en grano entero fueron las del municipio de Juárez; las de mayor contenido de aceite, las del municipio de Zaragoza, y por último con más fenoles libres, fueron las del municipio de Candela. Las colectas del municipio de Ocampo fueron las más pobres en contenido nutricional.

## LITERATURA CITADA

- AZEVEDO, R. A., M. Lancien M., and J. P. Lea. 2006. The aspartic acid metabolic pathway, an exciting and essential pathway in plants. *Amino Acids* 30: 143-162.
- BADUI D., S. 2006. Química de los alimentos. Cuarta edición. Pearson Educación. Facultad de Química de la UNAM. México, 640 p.
- BELLO P., L. A. y L.O Paredes. 2009. Starches of some food crops, changes during processing and their nutraceutical potential. *Food Engine. Rev.* 1(1): 50-65.
- BERTOLINI, A. C., E. Souza, J. E. Nelson, and K.C. Huber. 2003. Composition and reactivity of A- and B-type starch granules of normal, partial waxy and waxy wheat. *Cereal Chemistry* 80(5): 544-549.
- CABRERA S., M. L., Y. Salinas M., G. A. Velázquez C. y E. Espinoza T. 2009. Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia* 43: 827-839.
- COPELAND, L. O. and M. B. McDonald. 2001. Principles of seed science and technology. Fourth edition. Kluwer academic. Publishers. Boston. 467 p.
- COUTIÑO, E. B., G. Vázquez C., B. Torres M. y Y. Salinas M. 2008. Calidad de grano, tortillas y botanas de dos variedades de maíz de la raza comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(3): 9-14.
- DUDLEY, J. W., A. Dijkhuizen, C. Paul, S. T. Coates y T. R. Rocheford. 2004. Effects of random mating on marker-QTL associations in the cross of the Illinois high protein x Illinois low protein maize strains. *Crop Science* 44: 1419-1428.
- DUFFUS, C. y C. Slaughter. 1985. Las semillas y sus usos. AGT Editor S.A. México, D.F. 188 p.
- HERNÁNDEZ, C., Y. Rodríguez, Z. Niño y S. Pérez. 2009. Efecto del almacenamiento de granos de maíz (*Zea Mays* L.) sobre la calidad del aceite extraído. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Valencia, Venezuela. *Información Tecnológica* 20(4): 21-30.
- LAWSON, H. 1994. Aceites y grasas alimentarios, tecnología, utilización y nutrición. Acribia S.A. Zaragoza, España. 333 p.
- MÉNDEZ, M. G., J. Solorza F., M. Velázquez V., N. Gómez M., O. Paredes L. y L. A. Bello P. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivados en México. *Agrociencia* 39: 267-274.
- NARVÁEZ G., E. D., J. D. Figueroa C., S. Taba., E. Castaño T. y R. A. Martínez P. 2007. Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(3): 269-277.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2008. Principales productores de alimentos y productos agrícolas. Disponible en línea <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=es>. (19 de enero de 2010).
- ORTEGA C., A., O. Cota, S. Vasal K., E. Villegas M., H. Córdova O., M. A. Barreras S., J. J. Wong P., C. A. Reyes M., R. E. Preciado O., A. Terrón I. y A. Espinoza

- C. 2001. H-441C, H-442C y H-469C. Híbridos de maíz de calidad proteínica mejorada para el Noroeste y Subtrópico de México. Folleto Técnico Número 41. INIFAP. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Campo Experimental Valle del Yaqui. Cd. Obregón, Sonora. 44 p.
- PÉREZ, M. C., A. Hernández L., F. V. González., G. García D. S., A. Carballo C., T. R. Velásquez R. y M. R. Tovar G. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agric. Téc. Méx.* 32 (3): 341-352.
- RAEKER M., O., C. S. Gaines, P. L. Finney, and T. Donelson. 1998. Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chem.* 75 (5): 721-728.
- REYES C., P. 1990. El maíz y su cultivo. Primera edición. AGT Editores. México. 280 p.
- RONAYNE D. F. y P. A. 2000. Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación del lactante. *Arch. Argent. Pediatr.* 98(4): 231.
- SALINAS M., Y., N. O. Gómez M., J. E. Cervantes M., M. Sierra M., A. Palafox C., E. Betanzos M., y B. Coutiño E. 2010. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del Trópico Húmedo y Sub-húmedo de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(4): 509-523.
- SÁNCHEZ C., F., Y. Moreno S., M. G. Vázquez C., G.A. Velásquez C. y N. Aguilar G. 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *Arch. Latinoam. Nutr.* 57 (3): 295-301.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Cierre de producción agrícola por estado. Disponible en la página [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). SAGARPA. 2010.
- TESTER, R. F., J. Karkalas and X. Q. I. 2004. Starch-composition, fine structure and architecture. *Cereal Sci.* 39: 151-165.
- VÁZQUEZ C., M. G., B. L. Guzmán, J. L. Andrés G., F. Márquez S. y J. M. Castillo. 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:231-238.
- VÁZQUEZ C., M. G., J. P. Pérez C., J. M. Hernández C., M. L. Marrufo D. y E. Martínez R. 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33 (4): 49-56.
- VIDAL M., V.A., G. Vázquez C., B. Coutiño E., A. Ortega C., J. L. Ramírez D., R. Valdivia B., M. de J. Guerrero H., F. de J. Caro V., y O. Mota A. 2008. Calidad proteínica en colectas de maíces criollos de la Sierra de Nayarit, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31 (3): 15-21.
- ZEPEDA B. R., A. Carballo C., A. Muños O., J. A. Mejía C., B. Figueroa S. y F. V. González C. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad de nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 33 (1): 17-24.