

**ANÁLISIS DE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE POBLACIONES
DE MAÍZ CRIOLLO.**

EZEQUIEL OVIEDO CAMPOS

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Grado de:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA

DE GRANOS Y SEMILLAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

**ANÁLISIS DE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE POBLACIONES
DE MAÍZ CRIOLLO.**

TESIS

POR:

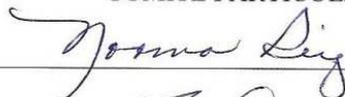
EZEQUIEL OVIEDO CAMPOS

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como
requisito parcial para optar al grado de:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal:



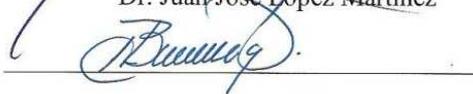
Ph. D. Norma Angélica Ruiz Torres

Asesor:



Dr. Juan José López Martínez

Asesor:



M. C. H. Cecilia Burciaga Dávila



Dr. Fernando Ruiz Zarate

Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 2011.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Maestría en Tecnología de Granos y Semillas

ANÁLISIS DE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE
POBLACIONES DE MAÍZ CRIOLLO.

TESIS

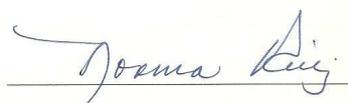
PRESENTADA POR

EZEQUIEL OVIEDO CAMPOS

Participación técnica de este proyecto de investigación



L.C.Q. MAGDALENA OLVERA ESQUIVEL



DRA. NORMA ANGÉLICA RUIZ TORRES

Responsable del laboratorio de fisiología y bioquímica de semillas.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Junio de 2011.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por la aportación económica con la que se hizo posible realizar estos estudios.

A la **Ph D. Norma A. Ruíz Torres**, que por su iniciativa, disposición, tiempo, conducción, trabajo y profesionalismo fue posible concluir satisfactoriamente esta investigación.

Al **Dr. Juan José López González** por el tiempo y participación en la revisión del presente trabajo.

A la **M. C. Hilda Cecilia Burciaga** por su participación en la revisión y conclusión de este trabajo.

Al **Ph D. Froylán Rincón Sánchez** por la participación y apoyo incondicional brindado desde el planteamiento hasta la elaboración de esta investigación, por proporcionar los materiales de estudio

A la **Dra. Natalia Palacios Rojas** y al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (**CIMMYT**), por la estancia brindada en los Laboratorios de Trigo y Maíz, que me permitieron obtener mas conocimiento y experiencia.

Al Personal Académico y Administrativo del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Granos y Semillas (**CCDTS**) por aportar las bases del conocimiento durante la formación.

DEDICATORIA

A mis padres, **Sr. Ezequiel Oviedo Hernández y Francisca Campos Francisco**, por darme la vida, ser la luz en mi andar, el motivo y la razón para mejorar, y la mayor bendición en la vida darme la oportunidad de estudiar.

A mis **hermanos Eduardo, Luis Manuel, Enrique**, en especial a **Francisco** con quien he compartido los mejores momentos, triunfos, fracasos y todo lo especial que ha pasado en mí vida, todos aquellos familiares que a través de mi formación me han dado muestras de apoyo y consejos.

A la compañera, amiga, y pareja que le dio un vuelco a mi vida: **Martha Patricia De La Fuente Estupiñan**, por su cariño y paciencia, pero sobre todo por su gran apoyo y darme la oportunidad de ser parte de su vida, brindarme la dicha de ser padre y regalarme dos preciosos angelitos.

A mis hijas **Patricia Itzel y Ximena Elizabeth** por que al despertar de cada día me motivan a superar las adversidades y son razón de mí existir.

Y a todas aquellas personas, **amigos y estudiantes** que en algún momento me han compartido de su compañía y su amistad. En especial al MP. Santiago Ruíz, MP. Leonardo Bautista, por su apoyo en este trabajo, al MC. Luis Nájera, MC. Guillermina Machi, Ing. Luis Pérez, Ing. Gamaliel Flores, Carlos Arguelles, Iván López, a la familia de León Espinoza, a los amigos de Álamo Veracruz.

COMPENDIO

ANÁLISIS DE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE POBLACIONES DE MAÍZ CRIOLLO

POR:

EZEQUIEL OVIEDO CAMPOS

MAESTRÍA

TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA. JUNIO DE 2011.

Dra. Norma A. Ruiz Torres - Asesor –

Palabras clave: *Zea mays* L. poblaciones criollas, calidad física, calidad química.

Se determinó la calidad física y química de 90 poblaciones de maíz criollo, colectadas en 23 municipios del estado de Coahuila en el año 2008. Estudio I. Se analizaron atributos de calidad física: color de semilla, peso de mil semillas, volumen, tamaño e índice de flotación como indicador de la dureza del grano y del tiempo de cocción. Para color de la semilla hubo diversidad entre y dentro de poblaciones, predominando el blanco con 71.1 %, el resto presentó blanco cremoso, amarillo medio, rojo y azul. Las colectas del

municipio de Ocampo obtuvieron el mayor peso de mil semillas con 331g, mayor tamaño, volumen, dureza y tiempo de cocción. Por el contrario, las colectas del municipio de Viesca presentaron las semillas más pequeñas, menor peso de mil semillas (134 g) y volumen. Estudio II. Atributos de calidad química, se determinó contenido de proteína, almidón, aceite y fenoles libres. Se encontraron diferencias significativas entre colectas únicamente para fenoles libres, presentado 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%. Para el contenido de aceite la media a través de colectas fue de 4.83%, con un valor máximo de 5.46 % para las de Zaragoza. El almidón que es el componente químico que se encuentra en mayor proporción, se obtuvo en un rango de 62.50 (colectas de Candela) a 80.66 % (colectas de Juárez). Los resultados indican que las colectas del municipio de Juárez presentan mejor calidad química en contenido de proteína y almidón, así como un alto contenido de aceites (5.28 %). Por el contrario las colectas del municipio de Ocampo resultaron ser más pobres en contenido de proteína (9.12 %) y en contenido de aceite con 4.31 %, que apenas supera a las colectas de Frontera que obtuvieron el contenido más bajo con 4.12 %. La calidad química de la semilla esta determinada por la composición genética de cada material, los ambientes de colecta y condiciones de manejo agronómico.

ABSTRACT

ANALYSIS OF PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES IN MAIZE

LANDRACE POPULATIONS

BY:

EZEQUIEL OVIEDO CAMPOS

MASTER

GRAIN AND SEED TECHNOLOGY

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA. JUNE 2011.

Dra. Norma A. Ruiz Torres - Asesor –

Palabras clave: *Zea mays* L. landrace populations, physical quality, chemical quality.

The physical and chemical quality of 90 maize landrace populations collected in 23 municipalities in Coahuila State in 2008 was evaluated. First study: the physical quality attributes analyzed were: seed color, one thousand seeds weight, volume, size and flotation index as hardness and cooking time indicator. For seed color there was diversity among and within populations, dominating the white with 71.1%, the others were creamy white, medium yellow, red and blue. The collections from Ocampo had the highest one thousand seeds weight with 331 g, highest size, volume, hardness

and cooking time. On the other hand, the collections from the Viesca municipality showed the smallest seeds, one thousand seeds weight (134 g) and volume. Second study: Protein, oil, starch and free phenols content were determined. Significant differences among collections only for free phenols were found, showing a range of 4.46 % in the Sacramento collections to 9.48 % in Candela's. The protein content varied from 9.12 % to 12.66 % in Ocampo and Juarez collections respectively, with a media of 10.04 %. For the oil content the media through collections was 4.83 %, with a maximum value of 5.46 % for Zaragoza. The starch is the chemical component found in higher proportion; it had a range of 62.50% (Candela collections) to 80.66 % (Juarez collections). The results showed that the Juarez collections had the best chemical quality in starch, protein and oil content (5.28 %). In contrast, the Ocampo collections were poorest in protein (9.12 %) and oil content (4.31 %) and hardly exceeded the Frontera collections that obtained the lowest content (4.12 %). The chemical quality of seed is determined by the genetic composition of each material, collections sites and agronomic management conditions.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
Composición química	4
Proteínas	5
Almidón	7
Lípidos	7
Fenoles libres.....	8
Otros atributos de calidad de la semilla.....	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS	12
Material genético	12
Estudio I. Determinación de atributos físicos	13
a) Color, Peso de mil semillas, Volumen	13

Tamaño e Índice de flotación.....	14
Estudio II. Determinación de componentes químicos.....	15
Determinación de Nitrógeno	15
Proteína	16
Almidón de almidón total	16
Fenoles libres solubles	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
Estudio I. Caracterización para atributos físicos.....	20
Estudio II. Análisis de los atributos químicos	25
V. CONCLUSIONES	30
VI. LITERATURA CITADA	31

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1 Clasificación del maíz por su dureza y tiempo de nixtamalización	11
Cuadro 4.1 Cuadrados medios del análisis de varianza para atributos físicos.....	21
Cuadro 4.2 Comparación de medias por Municipio para atributos físicos	22
Cuadro 4.3 Clasificación de las colectas por Municipio para la dureza del grano de maíz y tiempo de cocción.....	23
Cuadro 4.4 Cuadrados medios del análisis de varianza para los atributos químicos.....	25
Cuadro 4.5 Comparación de medias por Municipio para componentes químicos.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 4.1 Color del grano de maíz de las 90 colectas evaluadas.....	20

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L) es el cultivo más importante en la agricultura de México, siendo la materia prima proveedora de alimentos para la población, gracias a la gran versatilidad de subproductos que de él se obtienen. Es el cereal que más se produce y consume a nivel mundial, le siguen el arroz y el trigo. Estados Unidos de Norte América es el principal productor de maíz, seguido por China, tercer lugar Brasil, México ocupa la cuarta posición (FAO, 2008).

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

En México el consumo per cápita es de 336 g diarios, según FAO (2007). En zonas rurales proporciona del 50 al 70% de la ingesta de calorías (Serna *et al.*, 2008). No obstante la calidad de la proteína es pobre, debido a la deficiencia en lisina y triptófano aminoácidos esenciales (Milán *et al.*, 2004).

Los programas de mejoramiento genético se enfocan más a rendimiento, resistencia a plagas, estrés hídrico (Poehlman and Allen, 2005). La mala nutrición

humana y las necesidades de la industria han propiciado programas que incluyan aspectos de calidad nutricional (Ortiz *et al.*, 2007) o industrial (Serna *et al.*, 2008).

Debido a su gran diversidad genética los maíces no tienen la misma composición química o nutricional, presentando diferencias en sus propiedades y en su utilización final. Por su amplia capacidad de adaptación, su rendimiento, así como las posibilidades futuras de mejora, hacen de éste uno de los cultivos más prometedores para afrontar la amenaza del hambre en el mundo.

La calidad del grano de maíz está asociada tanto con su constitución física, que determina la textura y dureza, como con su composición química, que define el valor nutricional y las propiedades tecnológicas.

Por lo tanto, definir la composición química del grano nos proporciona información para mejorar la calidad en la nutrición humana; el análisis físico, darán las pautas para estabilizar y uniformizar genotipos, preservando materiales nativos con el propósito de impulsar el mejoramiento participativo.

Objetivo

Evaluar y analizar atributos de calidad física y química de 90 poblaciones de maíz criollo colectas en 23 municipios del estado de Coahuila en el año de 2008.

Hipótesis

Por lo menos una población resultara de interés para el fitomejorador, la diversidad genética se expresara en los contenidos nutrimentales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El grano de maíz representa la fuente más importante de alimento del hombre, además de jugar un papel preponderante en el desarrollo económico de un país. Evidencias indican que el maíz se originó en México a partir del Teozintle 3000 o 4000 años a.c., y que para 1800 a.c. ya se había extendido a toda Mesoamérica y posteriormente a todo el continente americano (Rodríguez y De león, 2008).

López (1991) menciona que se estiman de 250 a 300 razas distintas. Reyes (1990) señala que los miles de variedades existentes, se han agrupado en 30 razas y seis sub-razas, 25 bien definidas y 5 en estudio. Sánchez *et al.* (2000) por su parte al analizar la diversidad morfológica con isoenzimas reconoció 59 distintas razas de maíz.

Importancia de los maíces criollos

Serratos *et al.* (2000) al respecto mencionan lo siguiente: la mayor diversidad biológica del género *Zea Mays* se encuentra en México, el 70% de la superficie nacional esta sembrada con maíces nativos y que la alimentación del pueblo mexicano depende del maíz, donde el 50% de la producción es para consumo en forma de tortilla; por último sugieren que la conservación de la riqueza racial de este cereal es indispensable ya que están expuestas a desaparecer por el uso y sustitución con variedades mejoradas.

En el mismo sentido Bergvinson *et al.* (2007), sugieren que para los agricultores mexicanos es indispensable el mejoramiento de materiales criollos, debido a que las variedades mejoradas exigen tecnologías costosas a la cual la mayoría de los agricultores

no tienen acceso, presentan problemas de adaptación y características de consumo poco aceptadas.

La producción de maíz criollo por lo general se lleva a cabo sobre suelos de baja calidad agronómica, por productores de escasos recursos económicos y nula asesoría técnica, esto repercute en bajos rendimientos por hectárea, aun cuando la intensa interacción genética ambiental que exhibe el maíz le permite adaptarse a ambientes sumamente diferentes. Sin embargo Rincón *et al.* (2009), plantea que mediante esquemas sencillos y baratos, con manejo adecuado de germoplasma que puedan ser fácilmente adoptados por los agricultores, se puede mejorar poblaciones y la calidad de las semillas.

Composición química

Las estructuras endospermo, embrión y pericarpio ocupan en forma porcentual el 82, 12 y 6 respectivamente del grano entero, en materia seca los componentes nutricionales de este se encuentran distribuidos porcentualmente de la siguiente forma, almidón 72.4, lípidos 4.7, proteína 9.6, fibra 9.93, azúcares 1.94, y cenizas 1.43 (Reyes, 1990).

Calidad de los componentes químicos o nutricionales.

Para Copeland y McDonald (2001), conocer la composición química de la semilla es esencial por varias razones, son fuente de alimento de 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 básicamente por factores genéticos y varía entre especies y partes de la semilla, sin embargo se ve influido por prácticas culturales y por el ambiente.

Proteínas

Las proteínas son compuestos orgánicos formadas por cadenas de hasta 20 aminoácidos, y aquellos que nuestro organismo no puede sintetizar y son requeridos forzosamente tomar de los alimentos 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 desbalance 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 se localizan principalmente en el endospermo, al estudiar el efecto de las prolaminas del grano de maíz sobre la textura de la tortilla (Sánchez *et al.*, 2007) concluye que estas son las responsables de la capacidad de elongación de las tortillas pero que no se relacionan con la dureza de las mismas y coincide con Salinas *et al.* (1992) en que los granos de maíz de endospermo suave tienen menor cantidad de proteína que los de endospermo duro. Robutti *et al.* (1997) sustentan la hipótesis de que el contenido de zeínas puede ayudar a determinar la dureza del endospermo. Por el contrario Zepeda *et al.* (2009a), al evaluar el efecto de las prácticas agronómicas en la composición del grano, menciona que el tipo de endospermo no es indicativo del contenido de proteína del grano, al encontrar para algunos casos correlación negativa entre el porcentaje de proteína y endospermo harinoso.

Elevar la proteína total del maíz por métodos genotécnicos, no eleva el valor nutritivo, por que el incremento se da en la proporción de zeína, en general el rendimiento del grano disminuye conforme aumenta el contenido de proteína (Poehlman and Allen, 2005). Coutiño *et al.* (2008) al respecto mencionan la relación que existe entre el tipo de fertilización aplicada al cultivo con el total de proteína en grano, a mayor dosis de fertilización nitrogenada se incrementa la síntesis de zeína y la concentración de proteína en el grano; a lo que Zepeda *et al.* (2007), agregan que se debe a modificaciones en estructuras del grano en diferente proporción en endospermo harinoso y corneo.

Al estudiar la interacción genotipo ambiente en la estructura y calidad nixtamal-tortilla del grano en híbridos de maíz, Zepeda *et al.* (2009b), complementan que las condiciones agroclimáticas de cada ciclo agrícola modifican los componentes estructurales del grano y consecuentemente la calidad de nixtamal-tortilla en diferente proporción.

Por su parte Monjardino *et al.* (2006), añaden que el estrés por calor altera la acumulación de proteína en los granos de maíz reduciendo los niveles de zeína por un retraso en el desarrollo del endospermo durante la división celular o durante el periodo de polinización.

Almidón

El maíz es considerado por tener 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 representa el 72.4%, y es utilizado en la industria como materia prima de diversos productos alimenticios para mejorar funcionalidades específicas (Bello y Paredes, 2009).

Baduí (2006) comenta que el almidón es la mezcla de amilosa y amilopectina, 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.

El almidón en el grano de maíz tiene formas y tamaños diferentes que influyen en características como textura, volumen, consistencia, Narváez *et al.* (2007) al observar la influencia del tamaño del gránulo de almidón en propiedades térmicas y de pastificado de harinas de maíz encontró que granos duros tienen gránulos de almidón pequeños y que granos suaves están compuestos por gránulos de almidón grandes.

Lípidos

Son nutrientes importantes en la dieta humana, fuente de energía concentrada, aportan alrededor de 9 kcal/g, contra las 4 kcal/g que aportan las proteínas y los carbohidratos (Lawson, 1994). En el grano de maíz del total de los lípidos y grasas contenidos en él 14% son ácidos grasos omega-3, 60% omega-6, el 1% son ácidos grasos saturados y el restante 25% ácidos grasos mono insaturados, los omega-3 y 6 ayudan a mantener bajos los niveles de colesterol malo en la sangre y son de importancia en el crecimiento infantil y desarrollo neurológico (Ronayne, 2000).

El grano entero contiene del 3 al 5% de aceite, del cual 25 al 30% se localizan en el germen (Duffus y Slaughter, 1985), este hecho lo confirma Vázquez *et al.* (2010), 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.

Torres *et al.* (2010) encuentran un aumento en el contenido de aceite al realizar selección recurrente y concluye que el factor ambiental es determinante en la expresión de cualquier variable. Aramendiz y Tosello (1993), compararon dos poblaciones de maíz con alto contenido de aceite y diferente tipo de grano, indican que al incrementar el contenido de aceite en el grano, puede bajar el rendimiento de grano y otros atributos de la mazorca, debido a las limitaciones bioenergéticas para aumentar el contenido de aceite que afecta la síntesis de carbohidratos en la semilla. La calidad del aceite y el contenido esta determinado 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) encontró valores desde 2.3 hasta 6% de aceite en grano entero.

Fenoles libres

Compuestos químicos, resultado del metabolismo secundario de las plantas, Cabrera *et al.* (2009) mencionan que la función de estos 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. Salinas *et al.* (1992) indican que el peso hectolítrico representa la densidad aparente del grano y esta directamente relacionado con su dureza, por lo que afirma que hay una correlación entre los fenoles y la dureza del grano, es decir a mayor dureza mayor contenido de fenoles. En forma general Ortega *et al.* (2001), mencionan que el manejo agronómico y

condiciones ambientales específicas donde se producen los granos interfieren con el contenido de nutrientes. Para fines industriales el contenido de compuestos fenólicos es de suma importancia ya que influye en la calidad, Salinas *et al.* (2007), al buscar la relación que existe entre el contenido de compuestos fenólicos en el grano de maíz y el oscurecimiento de la masa y la tortilla, reportan que algunos maíces criollos presentan colores grises, atribuible a la presencia de estos compuestos que se encuentran en mayor proporción en el pericarpio, sin embargo cuando se encuentran en mayor proporción en el endospermo es mayor el grado de oscurecimiento.

Otros atributos de calidad de la semilla

La calidad de la semilla depende también de la sumatoria de los atributos genéticos, fisiológicos, sanitarios y físicos de la misma. Se puede enfatizar que una semilla de alta calidad es un organismo vivo que favorece un rápido y uniforme establecimiento en el campo (vigor), permite una población adecuada de plantas (germinación), está libre de organismos patógenos (sanidad), no tiene contaminantes varietales (pureza varietal), está exenta de semillas de malezas (pureza física), expresa el potencial genético propio de la variedad (Flores, 2004). Dentro de los parámetros físicos se encuentran, peso de mil semillas, tamaño (ancho, largo, espesor), volumen, densidad (índice de flotación), color y forma, todos estos son indicadores de calidad. El tamaño del grano tiene importancia relevante en la industria de la tortilla principalmente en el proceso alcalino, por el grado de cocimiento y absorción de agua durante la nixtamalización; así granos con la misma dureza aunque de tamaño grande alcanzan menor cocimiento que los granos pequeños en el mismo tiempo (Salinas *et al.*, 2010).

De acuerdo con Salinas y Vázquez (2006), cien granos grandes tienen un peso mayor a 38 g, los medianos entre 33 y 38 g, en tanto que los pequeños presentan valores menores a 33g.

Bustamante (1983) menciona que el tamaño y el peso de la semilla refleja la falta de nutrientes, presencia de lluvias y heladas a las que estuvo expuesto el cultivo. Salinas *et al.* (1992) al comparar métodos para medir la dureza del grano de maíz definieron al índice de flotación como la técnica mas adecuada y mencionan que el peso hectolitrico e índice de flotación tiene una amplia relación con la dureza del grano, correlacionan de manera inversa, mientras mayor sea el peso hectolitrico, mayor dureza del grano y menor índice de flotación.

La dureza se ve afectada también por factores ambientales principalmente durante la etapa de llenado del grano, factores como temperatura, radicación, nutrición del suelo, determinan modificaciones en el nivel y tipo de proteínas y en el contenido y composición del almidón que se deposita en el grano (Cirilo *et al.*, 2003). Conociendo el índice de flotación podemos clasificar al maíz por su dureza e indicar el tiempo de nixtamalización de acuerdo a la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 15/18 (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1 Clasificación del maíz por su dureza y tiempo de nixtamalización.

Índice de flotación (%)	Clasificación	Tiempo de nixtamalización (minutos)
0-12	Maíces muy duros	50-46
13-37	Maíces duros	45-40
38-62	Maíces intermedios	39-35
63-87	Maíces suaves	34-30
88-100	Maíces muy suaves	29-25

Fuente: NMX-FF-034/1-SCFI-2002 15/18.

Los términos duro y suave se emplean para designar la relación de áreas harinosa/cristalina presentes en el endospermo del grano, características que influyen en la dureza del grano (Antuna *et al.*, 2008).

Resultados en un estudio realizado por Salinas *et al.* (2010), indican que la dureza del grano esta relacionada con el tiempo de nixtamalización que requiere el grano de maíz, mientras mas dureza presente el grano mayor será el tiempo de cocción para obtener una masa de calidad.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en dos estudios: I. Determinación de los componentes físicos del grano de maíz (color, tamaño, peso de mil semillas, volumen, densidad). II. Componentes químicos o nutricionales del grano (proteína, almidón, aceites y fenoles libres).

El estudio I fue realizado en el laboratorio del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” de Saltillo y el estudio II. Análisis de los componentes químicos, en el Laboratorio de Tejido Vegetal y Suelo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en El Batán, Edo. De México.

Material genético

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.

Metodología

Cada uno de los materiales genéticos fue analizado en forma individual, en sus componentes físicos (color, volumen, densidad, peso, tamaño), y químicos (proteína, aceite, fenoles libres, almidón).

Estudio I. Caracterización para los atributos físicos.

Color del grano

Se tomó una muestra de 100 granos al azar de cada población, clasificándolos por color con la ayuda del manual gráfico para la descripción varietal del Maíz (*Zea Mays L*) del SNICS y el Colegio de Posgraduados, la prueba se realizó por duplicado para cada población, se reportan los colores presentes en porcentaje para cada población.

Peso de mil granos

Se tomaron 4 repeticiones de 50 granos de cada material, se pesaron en una balanza analítica de 0.001 gramos de precisión marca Ohaus modelo Adventure Pro Av53, el peso registrado se multiplicó por 20 para obtener el peso de mil granos, reportando el peso en gramos.

Volumen

Se determinó en 2 repeticiones de 100 granos cada una, los cuales se depositaron en una probeta graduada de 500 ml, con un volumen de agua conocido, la graduación desplazada se tomó como el volumen de la muestra, se reportaron los datos en cm³.

Tamaño

De cada material se tomaron 10 semillas, las cuales se colocaron en una regla graduada en mm para tomar las dimensiones largo, ancho y espesor, el valor obtenido se

dividió entre 10 para tener promedio por unidad, de cada uno de los materiales, los datos se reportaron en milímetros.

Determinación del índice de flotación

La dureza del grano es la resistencia que posee a la acción mecánica o al quebrado durante la cosecha y la poscosecha. La dureza se determinó de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 15/18, en base al índice de flotación.

En un vaso de precipitados de 600 ml, se preparó 300 ml de solución de nitrato de sodio, con un picnómetro se ajustó la densidad a 1.25 g/ml, se depositaron 100 granos agitándolos durante un minuto con un agitador de vidrio, se dejó reposar y se contaron los granos que flotaron. La prueba se realizó por duplicado para cada genotipo, la densidad de la solución se ajustó cada 3 muestras, los resultados se expresaron en porcentaje. Para el cálculo del por ciento de granos flotantes se utilizó la siguiente fórmula:

$$IF = \left[\frac{\text{Granos flotantes}}{\text{Granos totales}} \right] \times 100$$

Estudio II. Determinación de componentes químicos en grano de acuerdo al Manual de Laboratorio, CIMMYT 2009.

Determinación de nitrógeno

Método Autoanalizador Technicón II. Método industrial *334-74, 1977. 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 acabo la digestión en un bloque digestor previamente calentado a 380 ° C durante 90 minutos.

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 al 0% de la línea base. Posteriormente, se leyeron cuatro viales de 20 mg N/ml y se ajustó al nivel pico en 70% en la gráfica.

Cálculo del porcentaje de nitrógeno

20 µg N/ml es el 70% en la gráfica.

Donde: 1% en la gráfica = 0.2857 µg N/ml en digestión

µg N/ml en digestion = % de lectura x 0.2857 µg N/ml

ó µg N en 75 ml en digestión = % de lectura x 0.2857 µ x 75

$$\text{Cálculo del factor} = \frac{20 \mu\text{g N/ml}}{\text{Divisiones de la gráfica} \times 1000} \times \text{volumen de digestion} \times 100 \%$$

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

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: % Proteína = % 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 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 fase, 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 desgrasada), se colocó en tubo de vidrio (20*15 mm). Se incluyeron dos tubos con el estándar de almidón y se humedeció con 40 μ L de etanol líquido (80% V/V) para mejorar la dispersión, se reposó durante 5 minutos y se mezcló en un vortex. Inmediatamente se agregaron 600 μ L de α -amilasa en amortiguador MOPS (50 μ M, pH 7.0) y se agitó vigorosamente el tubo en un vortex. Se incubó a baño María durante 6 minutos (se agitaron vigorosamente en forma alterna 2 y 4 minutos). Nuevamente se colocaron en baño María a 50°C (se dejó enfriar durante 5 minutos); se agregó el amortiguador de acetato de sodio (800 μ L, 200 mM, pH 4.5), seguido de amiloglucosidasa (20 μ L, con una pipeta digital). Se agitó el tubo con un vortex y se incubó a 50°C por 30 minutos. Se transfirió el contenido a un tubo Corning plástico de capacidad de 50 ml para centrifugar a 3000 rpm durante 10 minutos. Se tomó 1 ml de hidrolizado (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 vórtizaron.

Reacción calorimétrica

Con una pipeta digital se tomaron 50 μ L de dilución y se transfirieron a una placa con 96 pocillos que se mantuvo sobre hielo. Se agregaron 100 μ L de la solución de Antrona usando una pipeta multicanal digital, se cubrió la micro placa con papel aluminio para evitar el derramar las muestras y se vortizó suavemente hasta que se observó una solución homogénea en cada pozo. La microplaca se incubó a 100 ° C

durante 10 minutos. Por último las micro placas se enfriaron en un refrigerador por 10 minutos y después se vórtizaron 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), “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 considerada 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 microcentrífuga y evaluados 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 añadieron 1.3 ml de metanol al 50% y se cerraron para evitar la evaporación que tendrá lugar durante la extracción. Se vortizó en un termo mezclador para micro tubos a 65 ° C y 900 rpm durante 30 minutos, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente para centrifugar a 14,000 rpm durante 5 minutos. 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_2CO_3) y se cubrió con cinta adhesiva de aluminio para evitar derramar muestras. Se vortizó a 800 rpm durante 10 segundos y se incubó a 42 ° C por 9 minutos 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 para cada muestra se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

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

Sin embargo, esta cantidad incluye el 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. $\% \text{ Ácido Gálico} = \text{OD}_{765\text{nm}} \text{ corregido} \times \text{Factor}$

Dónde: $\text{OD}_{765 \text{ nm}} \text{ corregido} = \text{OD}_{765\text{nm}} \text{ muestra} - \text{OD}_{765\text{nm}} \text{ promedio del metanol blanco}$.

OD= Observancia directa.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para analizar los parámetros de ambos estudios se utilizó un diseño completamente al azar, cuyo modelo lineal es el siguiente. $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$

Donde:

Y_{ij} = Valor de la observación para la colecta i-ésima en la j-ésima repetición; μ = Media general; T_i = Efecto de la i-ésima colecta; E_{ij} = Error experimental al efectuar la j-ésima observación del i-ésimo municipio.

Se realizó una prueba de medias Tuckey ($\alpha \leq 0.05$) y se procesaron los datos en el paquete estadístico SAS (2004).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio I. Caracterización para los Atributos Físicos

Color de grano

Para la variable color de grano de las poblaciones evaluadas (Figura 4.1) se presentan los resultados obtenidos donde se observa que el 71.1% obtuvo color blanco, el 18.8% blanco cremoso, el 4.4% amarillo medio, el 4.4% rojo y el restante 1.1% azul.

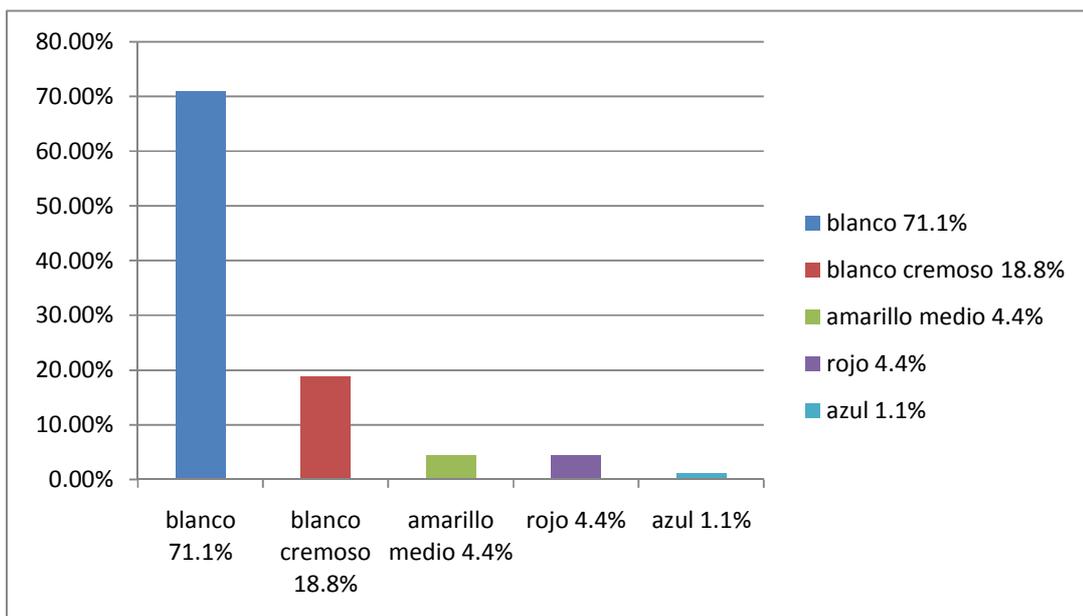


Figura 4.1. Color del grano de maíz de los 90 materiales evaluados.

Lo anterior indica la diversidad de colores que presentan las colectas del estado de Coahuila.

El análisis de los atributos físicos evaluados, muestra en el Cuadro 4.1 Diferencias altamente significativas para colectas en las variables peso de mil semillas (PMS), índice de flotación (IF) y volumen, reflejando la gran variabilidad genética y la diversidad de ambientes de procedencia de las colectas.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza para los atributos físicos.

F.V	GL	PMS		IF		Volumen	
		(mg)	GL	(%)	GL	(cm ³)	
Repetición	3	622.17 NS	2	699.82 NS	1	0.52 NS	
Colectas	22	16432.14 **	22	2116.08 **	22	49.01 **	
Error	333	2157.15	171	446.20	155	13.93	
C.V (%)		18.07		54.96		17.17	

*,** = Niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente; NS=No significativo; PMS= Peso de mil granos; IF=Índice de flotación.

Para la variable peso de mil semillas (PMS) en la comparación de medias (Cuadro 4.2), los valores encontrados van desde 134.67 g para las colectas de Viesca hasta 331.37 g para las de Ocampo, la diferencia estadística entre colectas se debe al tamaño del grano. Los materiales de Ocampo presentaron el menor índice de flotación y el mayor volumen; Además de tener semilla de mayor dimensión en su longitud. Las características genéticas de cada material, la disposición de nutrientes y la disponibilidad de agua durante el llenado de la semilla influye en gran medida en los atributos de calidad física (Zepeda *et al.* 2009). Datos que coinciden con lo propuesto por Salinas *et al.* (1992) quienes indican que a mayor peso de mil semillas, mayor dureza y menor el índice de flotación.

En cuanto a tamaño de semilla se encontraron valores de .9 a 1.3 cm de largo, para colectas de Ocampo y Viesca respectivamente. Y se justifica la hipótesis de que las características genéticas, el ambiente y el manejo agronómico determinan la calidad física de la semilla de maíz (Antuna *et al.*, 2008, Bustamante, 1983; y Cirilo *et al.*, 2003).

Cuadro 4.2. Comparación de medias por colectas para atributos físicos.

Colectas	PMS (g)	IF (%)	Vol (cm ³)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
Ocampo	331.37 a	2.00 e	27.00 a	13.10	8.70	3.90
Castaños	302.97 ab	21.92 cde	24.70 a	11.40	8.92	4.06
Frontera	293.62 abc	10.00 cde	24.00 ab	11.90	9.10	3.80
Jiménez	290.59 abc	17.80 cde	24.25 ab	11.25	9.15	3.95
San buenaventura	286.10 abc	51.17 abcde	24.00 ab	12.73	8.50	3.86
Arteaga	283.35 abc	46.41 abcde	24.04 ab	12.37	7.29	4.75
Sacramento	279.60 abc	8.50 de	24.00 ab	11.70	9.10	3.90
Lamadrid	277.69 abc	61.00abcd	25.00 a	12.20	8.50	4.10
Candela	275.12 abc	37.50 bcde	24.00 ab	11.45	8.65	3.75
Villa Unión	264.07 abc	25.17 cde	22.25 abc	10.20	8.10	3.90
Juárez	263.30 abc	32.00 cde	22.50 abc	11.20	9.30	3.90
Parras	260.86 abc	28.94 cde	21.81 abc	11.86	8.02	3.80
Saltillo	258.32 abc	34.53 cde	21.89 abc	11.87	7.30	4.18
San Pedro	253.79 abc	27.85 cde	21.08 abc	11.33	8.35	3.86
Ramos Arizpe	248.89 abc	24.23 cde	20.58 abc	10.81	8.58	3.80
Nadadores	244.66 abc	89.50 ab	22.00 abc	12.00	7.80	3.90
General Cepeda	241.06 bc	58.38 abcde	20.70 abc	11.59	7.87	3.91
Zaragoza	240.17 bcd	54.67 abcde	21.33 abc	11.20	8.60	3.80
Abasolo	228.53 bcd	24.00 cde	19.00 abc	11.00	8.60	3.50
Cuatro Ciénegas	219.13 bcde	50.45 abcde	18.60 abc	10.98	8.28	3.68
Torreón	213.68 cde	38.33 bcde	18.00 abc	10.83	7.90	3.66
Monclova	153.30 de	93.50 a	14.50 bc	9.70	8.10	3.30
Viesca	134.67 e	71.00 abc	12.50 c	9.20	7.10	3.40
Media	256.95	38.42	21.73	11.56	8.01	4.00
Tukey	87.75	54.68	10.11	4.64	2.78	1.53

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tuckey α 0.05 %); PMS=Peso de mil semillas; IF= Índice de flotación; Vol= Volumen.

En el beneficio de semillas de maíz, la dimensión de la misma es un parámetro de importancia, determina la clasificación por tamaño, anchura y espesor para uniformizar lotes (Vaughan *et al.* 1997). Este valor influye en el tipo de criba utilizada en el momento de la selección y es determinante al momento de la siembra mecánica que le permite al operador decidir el tipo de plato a utilizar en la sembradora.

FAO (1985) menciona que semillas grandes y pesadas producen plántulas fuertes, con satisfactorio desarrollo de raíces y tallos, debido a la mayor reserva de nutrientes, ya que en las etapas iniciales la planta vive de las sustancias nutritivas contenidas en la semilla.

Cuadro 4.3. Clasificación de los materiales por colecta para la dureza del grano de maíz y tiempo de cocción de acuerdo a la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 15/18.

Colecta	Dureza del maíz	Tempo de cocción en minutos
Ocampo	Muy duro	50-46
Sacramento	Muy duro	50-46
Frontera	Muy duro	50-46
Jiménez	Duros	45-40
Castaños	Duros	45-40
Abasolo	Duros	45-40
Ramos Arizpe	Duros	45-40
Villa Unión	Duros	45-40
San Pedro	Duros	45-40
Parras	Duros	45-40
Juárez	Duros	45-40
Saltillo	Duros	45-40
Candela	Duros	45-40
Torreón	Intermedio	39-35
Arteaga	Intermedio	39-35
Cuatro Ciénegas	Intermedio	39-35
San Buenaventura	Intermedio	39-35
Zaragoza	Intermedio	39-35
General Cepeda	Intermedio	39-35
Lamadrid	Intermedio	39-35
Viesca	Suave	34-30
Nadadores	Muy suave	29-25
Monclova	Muy suave	29-25

El índice de flotación está relacionado con la dureza del endospermo que corresponde a su vez al tipo y cantidad de almidón, y nivel proteína depositada en el grano (Salinas *et al.*, 2010; Cirilo *et al.*, 2003), esta característica determina la calidad del maíz para su industrialización en masa y tortilla, de la dureza del endospermo depende el tiempo de cocción durante el nixtamalizado además de participar en la textura, volumen y consistencia Narváez *et al.* (2007).

Robuti (2004) menciona que la dureza del endospermo es un factor que le proporciona resistencia mecánica al grano permitiendo se mantenga integro y que además favorece la molienda seca logrando obtener fracciones uniformes.

En este estudio el 56% de las colectas se clasifican como maíces duros, haciéndolos idóneos para el proceso de molienda seca, para la obtención de grits para hojuelas, y aunque los tiempos de cocción son prolongados, gracias al proceso de nixtamalización de la mayoría de la industria de la masa y la tortilla es posible utilizarlos para estos fines, por otro lado las colectas del Municipio de Nadadores y Monclova que se clasifican como granos muy suaves no son recomendadas para el proceso de nixtamalización ya que son susceptibles al sobre cocimiento, la industria de la masa y la tortilla no las procesan Vásquez *et al.* (2010), sin embargo Mauricio *et al.* (2004) y Vásquez *et al.* (2003), sugieren su uso como esquites, elotes cocidos, pozole y tamales.

Estudio II. Análisis de los Atributos Químicos

Para atributos químicos (Cuadro 4.4) se encontraron diferencias estadísticas entre colectas únicamente para fenoles libres ($P \leq 0.01$), atribuible 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 ve reflejado en este estudio ya que la variabilidad genética es alta y los ambientes de producción son muy diversos y contrastantes.

Cuadro 4.4 Cuadrados medios del análisis de varianza para los componentes químicos.

F.V	GL	Proteína (%)	Aceite (%)	Almidón (%)	Fen Lib (%)
Colectas	22	2.44 NS	0.23 NS	33.79 NS	1.89 **
Error	67	1.82	0.21	26.82	0.85
C.V (%)		13.46	9.54	7.17	16.01

*,** = Niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente; NS=No significativo; Fen Lib=Fenoles libres.

Al revisar las medias para proteína (Cuadro 4.5), observamos que existe homogeneidad en las colectas, agrupando los valores en un solo conjunto estadístico; sin embargo las colectas del Municipio de Juárez tiene un contenido en promedio del 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 mas 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 el 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.

Determinación de aceite.

Para contenido de aceite en grano los valores difieren en fracciones porcentuales. En el Cuadro 4.5 se indica el rango numérico para contenido de aceite por Municipio de colecta, con valores que van del 4.12 al 5.46%. Coutiño *et al.* (2008) reportan para variedades de maíz Comiteco un valor promedio de 4.9%, por el contrario Vidal *et al.* (2008) citan contenidos del 6% para la raza Tabloncillo, y Vázquez *et al.* (2003) un valor de 5.3% para la misma raza, sin embargo reporta 7.6% para el maíz criollo Dulce 9 de Jalisco.

Cuadro 4.5. Comparación de medias por colecta para componentes químicos.

Colecta	Proteína (%)	Aceite (%)	Almidón (%)	Fen Lib (%)
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 Ciénegas	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 b
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; Fen Lib= Fenoles libres.

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; Narváez *et al.* (2007) al respecto menciona 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 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 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).

Almidón

Con relación al contenido de almidón, el promedio fue del 72.14% siendo las colectas del Municipio de Juárez las que presentan el mayor porcentaje con 80.66, valor aproximado al encontrado por Méndez *et al.* (2005) quienes reportan valores de 69 al 86% siendo un híbrido el que registró el valor más alto. Sánchez *et al.* (2007) documentan contenidos del 73 al 77% de almidón y sugiere 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 granos 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 mas 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 Municipio Juárez tiene el mayor porcentaje de proteína, de igual manera 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.

Fenoles libres

Para el último de los atributos químicos evaluados, contenido de fenoles libres, se observó un rango que va del 4.46 al 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 4.5), el Municipio de Candela reporta el valor más alto de compuestos fenólicos, con 9.48%. Salinas *et al.* (2007) 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).

V. CONCLUSIONES

La calidad de la semilla esta determinada por su potencial genético más que por su calidad física o el tamaño de la misma. La calidad física de las colectas en estudio esta relacionada, semillas de mayor dimensión posee mayor peso de mil semillas, mayor volumen, y menor índice de flotación, y provienen del municipio de Ocampo. Semillas pequeñas, tiene menor peso de mil semillas, menor volumen, y mayor índice de flotación y son colectas provenientes del municipio de Viesca.

En cuanto a calidad química las colectas con mayor porcentaje de proteína y almidón en grano entero pertenecen al municipio de Juárez, para contenido de aceite las colectas del municipio de Zaragoza y por ultimo para contenido de fenoles libres las colectas del municipio de Candela. Al comparar la calidad física respecto al contenido químico no se encuentra relación alguna al menos en este estudio, ya que colectas de mayor peso y dimensión no destacan por su alto contenido en algún atributo químico, asimismo las colectas con menor calidad física no son las más pobres en cuanto a componentes químicos, así las colectas del municipio de Viesca que presenta semillas de menor calidad física presenta un alto contenido de almidón. México posee gran diversidad genética de maíces criollos, por lo que su estudio contribuye a su mejor conocimiento, tanto para preservación de genes, como para la utilización en distintas formas de mejoramiento genético, su manejo agronómico y su aprovechamiento en la industria de alimentos.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Antuna G., O., S. A. Rodríguez H., G. Arámbula V., A. Palomo G., E. Gutiérrez A., A. Espinoza B., E. F. Navarro O., y E. Andrio E. 2008. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. Vol. 31(Núm. Especial 3): pp: 23-27.
- Aramendiz T. H y G.A. Tosello.1993. Correlación entre el contenido de aceite, rendimiento y otros caracteres agronómicos en maíz (*Zea Mays L.*). *Revista Colombiana*. 28:129-135.
- 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.
- Baduí D., S. 2006. Química de los alimentos. Cuarta edición. Ed. Pearson educación. Facultad de química de la. UNAM. México 640 p.
- Bergvinson, D., J. A. Ramírez, D. Flores Velázquez, y S. García- Lara. 2007. Mejoramiento de maíces criollos por integración de alelos. México, D.F. CIMMYT.
- Bello P., L. A. y L.O Paredes. 2009. Starches of some food crops, changes during processing and their nutraceutical potential. *Food Engineering Reviews*. Vol. 1. No.1. pp. 50-65.
- Bertolini, A. C., Souza, E., Nelson, J. E., Huber, K.C. 2003. Composition and reactivity of A- and B-type starch granules of normal, partial waxy, and waxy wheat. *Cereal Chemistry*. Vol. 80. No. 5. : 544-549.
- Bustamante G., L. A. 1983. Semillas: Control y evaluación de su calidad. Memorias del curso de actualización sobre tecnología de semillas. Del 22 al 24 de Septiembre de 1982. Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. UAAAN, AMSAC y CCDTS Buenavista, Saltillo, Coahuila. pp. 99-106.
- Cabrera S., M. L., Y. Salinas M., G. A. Velázquez C., 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.
- Cirilo, A. G., A. Masagué y W. Tanaka. 2003. Influencia del manejo del cultivo en la calidad del grano de maíz colorado duro. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. INTA. Pergamino. 7 (24): 6-9.

- Copeland, L. O and M. B. McDonald. 2001. Principles of seed science and technology. Fourth edition. Ed. Kluwer academic. Publishers. Boston. pp. 39 y 104.
- Coutiño E. B., G. Vázquez C., B. Torres M., Y. Salinas M. 2008. Calidad de grano, tortillas y botanas de dos variedades de maíz de la raza comiteco. Revista Fitotecnia Mexicana. 31.3:9-14.
- Dudley, J. W., A. Dijkhuizen, C. Paul, S. T. Coates, 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. Vol. 44: 1419-1428.
- Duffus, C. y C. Slaughter. 1985. Las semillas y sus usos. AGT Editor S.A . México, D.F. 188 p.
- Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAOSTAT. 2007. Estadísticas Sobre Seguridad Alimentaria. Disponible en línea: <http://faostat.fao.org/site/609/DesktopDefault.aspx?PageID=609>. Fecha de consulta 2 Mayo de 2010.
- Flores H., A. 2004. Introducción a la Tecnología de Semillas. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Primera edición en español. pp. 149-153.
- Galicia, L., E. Nurit, A. Rosales and N. Palacios-Rojas. 2009. Laboratory protocols. Maize Nutrition Quality and Plant Tissue Analysis Laboratory. CIMMYT.
- Hernández C., Y. Rodríguez, Z. Niño, y S. Pérez. 2009. Efecto del almacenamiento de granos de maíz (*Zea Mays*) sobre la calidad del aceite extraído. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Valencia, Venezuela. Información tecnológica. Vol. 20:4. pp. 21-30.
- Lawson, H. 1994. Aceites y grasas alimentarios, tecnología, utilización y nutrición. Ed. Acribia S.A. Zaragoza España. pp.1-43.
- López B., L. 1991. Cultivos herbáceos. Vol.1 Cereales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. pp. 84, 85, 350-360.
- Mauricio S., R. A., J.D. Figueroa C., S. Taba., M.L. Reyes V., M. R., F. Rincón S., A. Mendoza G. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 27. No. 003. 213-227.
- Méndez M. G., J. Solorza F., M. Velázquez V., N. Gómez M., O. Paredes L., L. A. Bello P. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivados en México. Agrociencia. 39: 267-274.

- Milán C. J., R. Gutiérrez D., E. O. Cuevas R., J.A. Garzón T. and C. Reyes M. 2004. Nixtamalized flour from quality protein maize (*Zea mays* L.) optimization of alkaline processing. *Plant Foods for Human Nutrition*. Vol. 59. No. 1. pp. 35-44.
- Monjardino, P., A. G. Smith, R. J. Jones. 2006. Zein transcription and endoreduplication in maize endosperm are differentially affected by heat stress. *Crop Science. Physiology, Production & Technology*. 46: 2581-2589.
- Narváez G., E. D., J. D. Figueroa C., S. Taba., E. Castaño T., R. A. Martínez P. 2007. Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 30 No. 3:269-277.
- Norma Mexicana (NMX-FF-034/1-SCFI-2002). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-especificaciones y métodos de prueba. En línea:http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Lists/Instrumentos%20Tecnicos%20Normalizacin%20y%20Marcas%20Colecti/Attachments/97/NMX_MAIZ_BLANC O. 22 p. Fecha de consulta: 24 de Noviembre de 2010. 22 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1985. Procesamiento de semillas de cereales y leguminosas de grano. Roma Italia. pp. 89-93.
- 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>. Fecha de consulta 19 de Enero de 2010.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2010. Centro de prensa. 925 Millones de personas padecen hambre en el mundo. Disponible en línea <http://www.fao.org/news/story/es/item/45291/icode/>. Fecha de consulta 2 de noviembre 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., 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.
- Ortiz M., J.I., N. Palacios R., E. Meny, K. Pixley, R. Trethowan and R. J. Peña. 2007. Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *Journal of cereal science*, vol. 46. pp. 293-307.

- 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. *Revista Agricultura Técnica Mexicana* Vol.32 Núm. 3.
- Poehlman., J. M. y D. Allen. S. 2005. Mejoramiento genético de las cosechas. Segunda edición. Limusa. Noriega editores. México. 499 p.
- Raeker M., O., C. S. Gaines, P. L. Finney, T. Donelson. 1998. Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chemistry*. Vol. 75. No. 5. :721-728.
- Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. Primera edición. AGT Editores S.A. México. 280p.
- Rincón S. F., N. A. Ruíz T., F. Castillo G., G. Macchi L. 2009. Selección y mantenimiento de poblaciones como alternativa para la conservación in situ de germoplasma de maíz. Memoria. IV Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Del 9 al 14 de Octubre de 2009. Saltillo, Coahuila. pp.185.
- Robutti., J. L., F. S. Borrás, G. H. Eyherabide. 1997. Zein compositions of mechanically separated coarse and fine portions of maize kernels. *Cereal Chem.*74(1):75-78.
- Robutti J., L. 2004. Calidad y uso del maíz. IDIA XXI. INTA. Pergamino, Buenos Aires. 100-104 p.
- Rodríguez M., R. y C. De León. 2008. El cultivo del maíz temas selectos. Primera edición Vol. 1. Colegio de Posgraduados. Ed. Mundi-Prensa. México. p. 5.
- Ronayne D. F., P. A. 2000. Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación del lactante. *Arch. Argent. Pediatr.* 98(4):231.
- Salinas M., Y., B. F. Martínez, y H. J. Gómez. 1992. Comparación de métodos para medir la dureza de maíz (*Zea Mays* L.). *Arch. Latin Nutr.* 42: 59-63.
- Salinas M., Y. y G. Vázquez Carrillo. 2006. Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Folleto Técnico Número 1. INIFAP. Campo Experimental Valle de México Laboratorio de Maíz. 98 p.
- Salinas M. Y., J. J. López R., B. G. González F., y G. Vázquez C. 2007. Compuestos fenólicos del grano de maíz y su relación con el oscurecimiento de la masa y la tortilla. *Agrociencia* 41: 295-305.
- 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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 1. Número. 4. pp. 509-523.

- Sánchez C. F., Y. Moreno S., M. G. Vázquez C., G.A. Velásquez C., 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.
- Sánchez G., J. J., Goodman and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of Mexico. *Economic Botany*. Vol.54:43-59
- Serna S., O. S., C. A. Amaya G., P. Herrera M., J. L. Melesio C., R. E. Preciado O., A. D. Terrón I., and G. Vázquez C. 2008. Evaluation of the lime-cooking and tortilla making properties of quality protein maize hybrids grown in México. *Plant Foods for Human Nutrition*. Vol. 63.3:119-125.
- Serratos, J.A., A. López H. y G. Carrillo C. eds. 2000. Taller de Maíz Transgénico. Memoria. NAPPO, DGSV, CNBA. Cd. de México 13-16 de octubre de 1997. 120 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Cierre de la producción por cultivo SAGARPA. 2009. Disponible en la pagina www.siap.gob.mx. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2010.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SAGARPA. 2010. Cierre de producción agrícola por estado. Disponible en la página www.siap.gob.mx. Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2010.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2010. Producción record de maíz. En línea: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/paginas/2010B478.aspx> Fecha de consulta: 5 Noviembre 2010.
- Statistical Applied System. SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.
- Tester., R. F., J. Karkalas., X. Qi. 2004. Starch-composition, fine structure and arquitectura. *Cereal Science*. 39: 151-165.
- Torres B., M., B. Coutiño. E., A. Santacruz V., A. Mejía. C., S. O. Serna. S., S. García. L., N. Palacios R. 2010. Selección para contenido de aceite en el grano de variedades de maíz de la raza Comiteco de Chiapas, México. *Agrociencia* 44:6.
- Vaughan E., C., B. R.Gregg., J. C. Delouche. 1970. Procesamiento mecánico y beneficio de semillas. Herrero hermanos, sucesores, S.A. México.
- 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 su retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:231-238.

- Vázquez C., M. G., J. P. Pérez C., J. M. Hernández C., M. L. Marrufo D., E. Martínez R. 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 33 (Número especial 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. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 31 (Número especial 3): 15-21.
- Zepeda B. R., A. Carballo C., A. Muñoz O., J. A. Mejía C., B. Figueroa S., F. V. González C. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad de nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agricultura técnica mexicana*. Vol. 33. No. 1: 17-24.
- Zepeda B. R., A. Carballo C., A. Muñoz O., A. Mejía C., B. Figueroa S., F. V. González C., C. Hernández A. 2008. Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertirrigación. *Agrociencia*. Vol. 43: 143-152.
- Zepeda B. R., A. Carballo C., A. Muñoz O., J. A. Mejía C., B. Figueroa S., F. V. González C., C. Hernández A. 2009a. Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea Mays* L.) producidos bajo fertirrigación. *Agrociencia*. Vol. 43. No. 2: 143-153.
- Zepeda B. R., A. Carballo C., C. Hernández A. 2009b. Interacción genotipo-ambiente en la estructura y calidad del nixtamal-tortilla del grano en híbridos de maíz. *Agrociencia* Vol. 43:697-706.