

MÉXICO
2010



GOBIERNO
FEDERAL

SAGARPA

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México

Yolanda SALINAS MORENO,
Jesús SORIA RUIZ y
Edgar ESPINOSA TRUJILLO

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias
Centro de Investigación Regional del Centro
Campo Experimental Valle de México
Coatlinchan, Texcoco, Estado de México, Diciembre de 2010
Folleto Técnico Núm. 42 ISBN: 978-607-425-514-0

25 Aniversario
Ciencia y Tecnología
para el Campo Mexicano



Vivir Mejor

www.gobiernofederal.gob.mx
www.sagarpa.gob.mx
www.inifap.gob.mx

Directorio Institucional

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural,
Pesca y Alimentación

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda
Secretario

M.C. Mariano Ruiz-Funes Macedo
Subsecretario de Agricultura

Ing. Ignacio Rivera Rodríguez
Subsecretario de Desarrollo Rural

Dr. Pedro Adalberto González Hernández
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

**Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias**

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

Dr. Enrique Astengo López
Coordinador de Planeación y Desarrollo

Lic. Marcial A. García Morteo
Coordinador de Administración y Sistemas

Lic. Ricardo Noverón Chávez
Director General Adjunto de la Unidad Jurídica

Centro de Investigación Regional del Centro

Dr. Eduardo Espitia Rangel
Director Regional

Dr. Alfredo Josué Gámez Vázquez
Director de Investigación

Dr. Jesús Manuel Arreola Tostado
Director de Planeación y Desarrollo

C.P. Manuel Ortega Vieyra
Director de Administración

M.C. Jorge Fajardo Guel
Director de Coordinación y Vinculación
en el Estado de México

Campo Experimental Valle de México

Dr. Fernando Carrillo Anzures
Jefe de Campo

Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México

Yolanda **SALINAS MORENO**

Jesús **SORIA RUÍZ**

Edgar **ESPINOSA TRUJILLO**

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centro de Investigación Regional del Centro

Campo Experimental Valle de México

Coatlinchan, Estado de México. Diciembre de 2010

Folleto Técnico Núm. 42. ISBN: 978-607-425-514-0

**Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias**

Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán, C. P. 04010 México D. F.
Teléfono [55] 3871-8700

**Aprovechamiento y distribución de maíz azul
en el Estado de México**

ISBN: 978-607-425-514-0
Primera Edición, 2010

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación,
ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio,
ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos,
sin el permiso previo y por escrito de la Institución.

Contenido

I. Introducción	5
II. Producción de maíz en México	6
2.1. Producción de maíz en el Estado de México	6
III. Superficies cultivadas de maíz en el Estado de México	9
IV. Zonas de producción de maíces azules en el Estado de México	12
V. Características agronómicas de los maíces azules	13
5.1. Variedades	13
5.2. Híbridos	14
5.3. Generalidades sobre el maíz azul	16
5.4. Rendimientos de grano de maíz azul	16
5.5. Características del grano del maíz azul	17
5.6. Características de la planta	18
VI. Propiedades físico-químicas de los pigmentos de los maíces azules cultivados en el Estado de México	20
6.1. Pigmentos presentes en el grano de maíz azul	20
6.2. Antocianinas en maíz	23
6.3. Contenido de antocianinas en maíz azul	25
6.4. Tipo de antocianinas en el grano de maíz azul	27
6.5. Diversidad de grano en los maíces azules	30

VII. Características físicas del grano y de nixtamalización en maíces azules del Estado de México	31
7.1 Resultados en maíces azules	31
7.2. Pérdida de antocianinas durante el proceso de nixtamalización y elaboración de tortillas	36
7.3. Variabilidad fenotípica y de variables tecnológicas entre muestras	37
7.4. Variabilidad en color de grano	38
VIII. Usos actuales y potenciales del maíz azul	40
8.1 Tradicionales	40
8.2. Potenciales	41
IX. Literatura citada	43
X. Anexos	49

Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México

Yolanda Salinas Moreno ¹ Jesús Soria Ruiz ² y Edgar Espinosa Trujillo³

I. Introducción

El Estado de México cuenta con una gran diversidad de maíces que pueden ser agrupados en blancos, pigmentados y amarillos. En esta pluralidad de maíces pigmentados se encuentran el rojo y azul. Los de grano rojo pueden presentar el pigmento en el pericarpio, en la capa de aleurona; o en ambas estructuras; los de grano azul sólo presentan color en la capa de aleurona.

Los maíces azules cultivados en el Estado de México provienen de las razas Chalqueño y Cónico. Son de grano grande a mediano y de textura harinosa. Como la mayoría de los maíces nativos que se cultivan en la Mesa Central de México, este tipo de maíces presentan problemas de acame y presencia de hijuelos, lo que limita su rendimiento agronómico. Además, de presentar textura harinosa, su conservación se dificulta, pues son muy atacados por los insectos.

Con el apoyo del Gobierno del Estado de México, a través de la Fundación Produce, se han desarrollado proyectos orientados al estudio de este tipo particular de maíces. Básicamente se tiene información sobre las zonas de producción, la diversidad en cuanto a características físicas del grano y su desempeño en el proceso de nixtamalización. El contenido y tipo de antocianinas es

¹ Laboratorio de Calidad de Maíz. Campo Experimental Valle de México. Carretera Texcoco-Lechería, km 7.5. Texcoco, Estado de México. C. P. 5230. (salinas.yolanda@inifap.gob.mx).

² Laboratorio de Geomatica - INIFAP. Vial Adolfo López Mateos, km 4.5. Carretera Toluca-Zitacuaro. Zinacantepec, Estado de México. C. P. 52107. (soria.jesus@inifap.gob.mx).

³ Campo Experimental Bajío. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km 6.5, Celaya, Guanajuato. (espinosa.edgar@inifap.gob.mx)

también un aspecto que se ha estudiado. Asimismo, se han logrado avances para resolver su problemática agronómica e incrementar su rendimiento.

II. Producción de maíz en México

En la economía mexicana, el maíz es el cultivo más importante; ya que, la superficie cultivada con él representa 38.6% del territorio mexicano (González *et al.*, 2007). Los esfuerzos de la producción nacional se enfocan en la obtención de maíz blanco, que es utilizado en la dieta de los mexicanos. La importancia que tiene el maíz como parte de la dieta alimenticia ha llevado a que este grano se cultive a lo largo y ancho del territorio mexicano.

El 50% de la producción de maíz en México se obtiene de cinco principales estados productores, los cuales son: Jalisco, Estado de México, Sinaloa, Chiapas y Michoacán.

El maíz es uno de los granos que mayor demanda tiene a nivel mundial. Es utilizado tanto en la dieta humana, como alimento forrajero o como insumo en la agroindustria. En México, 69% del maíz producido es destinado al consumo humano; 20% sector pecuario; industrialización 10%, y a la producción de semillas 1% (Ortega y Ochoa, 2003).

2.1. Producción de maíz en el Estado de México

El maíz tiene una marcada influencia sobre el desarrollo social y económico de la población del Estado de México. La superficie territorial de la entidad comprende 22 499.95 km², de los cuales 18% se siembra el maíz. El Estado de México se ubica como tercer lugar como productor de maíz a nivel nacional (Ortega y Ochoa, 2003). Por la superficie que ocupa, el maíz es el cultivo

anual más importante de la entidad. En 2007 se reportaron 609 838.8 ha, dedicadas al uso agrícola (INEGI, 2007). De acuerdo a la altitud, las zonas cultivadas con maíz se dividen en tres regiones: Valles Altos (entre 2 200 y 2 500 m), transición y subtrópico. La región Valles Altos, comprende el Valle de Toluca-Atlacomulco, Jilotepec y el Valle de México (300 000 ha). En los valles de gran altura, como el de Toluca-Atlacomulco, el cultivo se establece en punta de riego o temporal benigno. En los ambientes del Valle de México, de transición y subtrópico seco, la siembra se realiza bajo temporal limitado, no obstante, en algunas zonas cercanas a Zumpango y Texcoco, también se reportan áreas con punta de riego. En estos ambientes aun se utiliza un alto porcentaje de maíces criollos y la tecnología de producción es deficiente (Soto y Mijares, 2007).

En el Estado de México se genera 10% de la producción nacional, pero las variedades mejoradas ocupan un poco menos de una décima parte de la superficie dedicada al maíz. Casi todo el maíz que se produce es de grano blanco, ideal para elaborar platillos de la región, pero no alcanza los estándares del mercado a gran escala, particularmente, los industriales de la masa y la tortilla, así como los de la harina nixtamalizada califican el maíz blanco o cremoso de los Valles Altos del Estado de México, como de mala calidad para sus procesos. Por esta situación, cuando el productor destina sus excedentes al mercado, el precio que logra es inferior al que se paga el maíz tipo Sinaloa, por ejemplo, que se ha catalogado como el de mejor calidad para el procesamiento alcalino.

Un promedio histórico de la superficie cultivada con maíz en la entidad indica que se cultivan anualmente alrededor de 554 915 ha. Sin embargo, como se aprecia en la Figura 1, en el periodo 1980 a 2007 la superficie ha venido decreciendo paulatinamente (SEDAGRO, 2007).

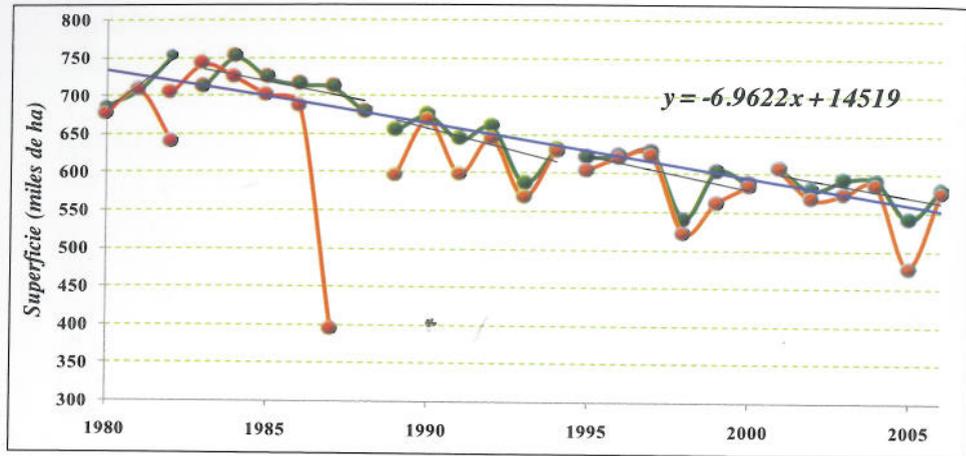


Figura 1. Superficie sembrada y cosechada de maíz en el estado de México por periodos (SEDAGRO 2007).

El cultivo de maíz en la entidad se realiza principalmente en el ciclo primavera-verano, con 98.5% de la superficie dedicada a este producto, el 1.5% restante se efectúa en el ciclo otoño-invierno. Lo anterior significa que el mayor volumen de producción de maíz en la entidad se obtiene en el ciclo primavera-verano. En los recientes ciclos agrícolas primavera-verano 2004 a 2006 el rendimiento medio de grano es 3.14 t ha⁻¹, por lo que se considera una producción insuficiente (Soto y Mijares, 2007).

Respecto a la distribución porcentual de la superficie sembrada por Distrito de Desarrollo Rural (DDR), en el ciclo primavera-verano, el porcentaje más alto lo tiene Atlacomulco 24.9%; 6% menos se encuentra el DDR Toluca y muy por debajo está el DDR Coatepec Harinas 18% menos que el DDR Atlacomulco. Por otra parte, en el ciclo otoño-invierno el mayor porcentaje es para el DDR Coatepec Harinas 24.5%, enseguida están los DDR Zumpango 21.9%, Tejupilco 14.8 y Toluca 12.4 (Soria, 2009).

Para determinar que variedades se pueden cultivar en cada zona, se deben tomar en cuenta datos como: la altura en metros sobre el nivel del mar (m); condiciones climáticas, intensidad y frecuencia de heladas. En el Estado de México, los investigadores(as) que se relacionan con el sistema producto maíz, trabajan de manera coordinada para conseguir el aumento de la productividad y la rentabilidad del cultivo. Con esta labor se desea lograr la caracterización amplia de variedades de maíz, locales y mejoradas, para identificar caracteres de valor comercial. En esta labor es primordial la participación de los agricultores.

III. Superficies cultivadas de maíz en el Estado de México

En los años recientes, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ha desarrollado tecnología para disminuir el grado de incertidumbre en las decisiones que se toman en el sector, a través de la aplicación de tecnologías de vanguardia para la determinación de superficies cultivadas a partir de tecnologías satelitales con intensos recorridos de campo, basados en principios científicos (Soria, 2009).

A partir del ciclo primavera-verano 2004, el Laboratorio de Geomática del INIFAP ha venido utilizando tecnologías satelitales para determinar la superficie cultivada de maíz a nivel de DDR. A partir del ciclo primavera-verano 2008, la superficie cultivada de maíz se calcula a nivel municipal para los 125 municipios de la entidad, cuyos resultados están validados en campo (Soria, 2009).

En el DDR Toluca, la superficie cultivada en el ciclo primavera-verano 2008 fue de 135 243 ha; es decir, 44.9% de la superficie total del DDR está ocupado por maíz; mismo que representa 73.7% de la frontera agrícola del citado DDR (Figura 3).

En el Municipio de Calimaya en el ciclo primavera-verano 2008 se cultivaron 5 484.4 ha de maíz, que representa 54.5% de la superficie municipal.

IV. Zonas de producción de maíces azules en el Estado de México

El maíz azul se cultiva en toda la entidad, así lo observan los muestreos que se realizaron en el Estado de México desde el ciclo agrícola primavera-verano 2004. La mayor concentración de este tipo de maíces, se localizan en el Valle Toluca - Atlacomulco y Valle de Chalco. Por ello, se ha determinado que la superficie cultivada de maíces azules representa 4.8% de la superficie total cultivada de maíz en el estado (Figura 5).

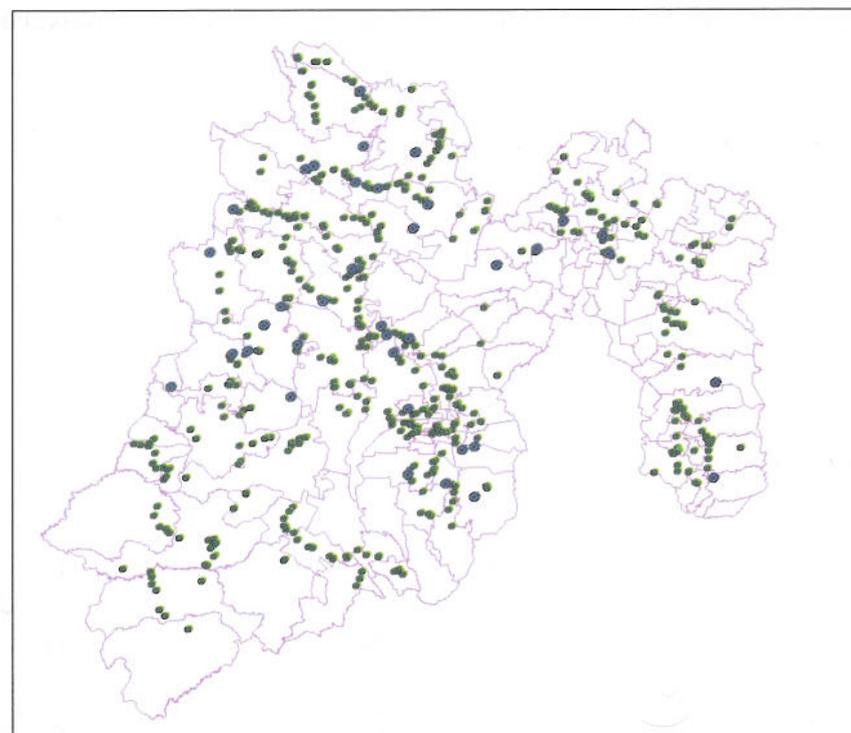


Figura 5. Parcelas de muestreo de maíces en general (puntos verdes) y de maíces azules (puntos azules) en el Estado de México (Soria, 2009).

V. Características agronómicas de los maíces azules

5.1. Variedades

Es difícil citar a todas las variedades existentes de maíz (criollo, mejorado e híbrido), ya que los nombres cambian según la región del país donde se cultive. Con la introducción de los maíces híbridos y el mejoramiento del cultivo se han aumentado

sensiblemente los rendimientos por unidad de producción, además de disminuir las pérdidas por enfermedades.

En el mercado existe una amplia gama de variedades mejoradas; sin embargo, esta tecnología no está al alcance de muchos agricultores, porque muchas veces no es posible conseguir una variedad específica a una zona o porque su precio es muy elevado.

Además, muchas de esas variedades no contienen todas las características que los agricultores del Estado de México requieren. Por tanto, en un ambiente de producción como el de esta zona del país, los maíces criollos locales, que han sido desarrollados durante varias generaciones, siguen siendo los más apropiados, por su adaptación y sus características de producción y consumo. Sin embargo, las variedades criollas, que han sido seleccionadas por los productores y los consumidores locales, pueden mejorarse con mayor rendimiento, tolerancia a la sequía, resistencia a las plagas poscosecha o mayor contenido de nutrientes (Bergvinson *et al.*, 2007).

5.2. Híbridos

Hasta ahora no se dispone de algún híbrido de grano azul para las condiciones agroecológicas del estado de México. Lo que muchos de los productores están cultivando es el criollo mejorado por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), cuya semilla se comercializa con el nombre de "Negro Carioca". Según la opinión de algunos productores de maíz azul de la comunidad "La Epifania", este criollo mejorado es superado en rendimiento por sus variedades locales de grano azul, debido desde luego a la limitada adaptabilidad que posee.

En los estados de Querétaro y Chihuahua se están cultivando los híbridos azules 505Az y 512Az que se comercializan bajo la marca Águila. Estos híbridos producen bajo condiciones de riego, en promedio 10 t ha⁻¹ y en las evaluaciones de 2007 y 2008 resultaron iguales que el testigo de grano blanco. Sin embargo, en evaluaciones experimentales realizadas en Chihuahua, produjeron cerca de 10% menos que estos (Villalobos, com. pers.).

Al compararlos con los materiales regionales, los híbridos azules producen el doble y tienen menos de la mitad del acame de estos.

Un aspecto muy importante a considerar en el incremento de la productividad de los maíces de grano azul es que si el consumo de estos no crece de manera paralela o más que la oferta, el precio será igual o quizá menor que el blanco. La industria que procesa este grano para la elaboración de harinas nixtamalizadas está interesada en los híbridos de maíz azul por las ventajas que se tienen al procesar un grano con características consistentes, pero no por el beneficio que pudiera representar al productor al tener mayores rendimientos, ya que los industriales están más interesados en tener el maíz azul al mismo precio que el blanco o amarillo.

Lo ideal sería regular hasta donde se pueda la producción de semilla híbrida y liberarla de manera paulatina, para no saturar el mercado y que el agricultor gane un sobreprecio.

Es posible que el mercado del maíz azul se fortalezca con la entrada de transgénicos a México, donde los maíces pigmentados pudieran explotarse mejor como nichos de consumo libre de organismos genéticamente modificados (OGMs).

5.3. Generalidades sobre el maíz azul

El maíz tiene una amplia base genética como resultado de los múltiples procesos de selección, adaptación y manejo. En México se han clasificado al menos 59 razas con base en caracteres morfológicos y polimorfismos de izoenzimas (Sanchez *et al.*, 2000).

Dentro de las razas se tienen variantes en función del tipo de coloración del grano, el cual se determina por la presencia de carotenoides, antocianinas y flobafenos (Irani *et al.*, 2003). Uno de los componentes de la diversidad fenotípica es precisamente el color del grano.

En la Mesa Central de México se cultivan alrededor de 1 500 000 ha de maíz, de las cuales 85% se cultivan bajo temporal. Los principales estados de la Mesa Central donde se cultiva maíz azul son Puebla, Tlaxcala, México e Hidalgo. Antonio *et al.*, (2004), determinaron que en aproximadamente 150 000 ha cultivadas en temporal se siembra maíz azul u otro color, en las que se obtienen rendimientos promedio de 2 a 3.5 t ha⁻¹.

5.4. Rendimientos de grano de maíz azul

Hay discrepancias en cuanto a los rendimientos por hectárea que se pueden obtener en cultivos de maíz azul, existen datos para zonas sin riego donde se obtienen rendimientos que van de 1.02 a 3.36 t ha⁻¹. (Johnson y Jha, 1993). Sin embargo, se ha probado que el rendimiento de grano de variedades de maíz azul raza Chalqueño varía de 2.9 a 5.4 t ha⁻¹ (Antonio *et al.*, 2004). De acuerdo con Dickerson (2003), los rendimientos del maíz azul de polinización abierta son relativamente bajos si se comparan contra rendimientos de híbridos comerciales. Arellano *et al.* (2003), reportaron rendimientos de maíces azules que varían de

5.6 a 6.6 t ha⁻¹ donde la floración femenina varía entre 103 y 109 días, que las ubica como variedades de tipo intermedio a tardío. También reportaron que algunas variedades de maíz azul de la raza Cónico Norteño, Gordo y Bolita, presentaron rendimientos menores (2.7 t ha⁻¹); rendimiento al que relacionaron con el menor período de floración femenina y menor altura de la planta.

El potencial productivo de las razas de maíz azul ha sido poco evaluado; sin embargo, es importante mencionar los altos rendimientos que se pueden alcanzar, sólo cuando las condiciones de cultivo sean las mejores. Se han detectado rendimientos de hasta 10.5 t ha⁻¹ en maíces azules de raza Chalqueño (Arellano *et al.*, 2003).

5.5. Características del grano del maíz azul

La mayoría de los maíces azules son típicamente de grano harinoso. El endospermo es de textura suave. El color azul se encuentra en la capa de células llamada aleurona, donde una mayor concentración de pigmentos de antocianina hace que los granos parezcan negros (Betrán *et al.*, 2001; Dickerson, 2003). En la Figura 6a se puede apreciar con claridad que el pericarpio del grano de maíz azul es translúcido, en tanto que en la Figura 6b se observa que al retirar el estrato unicelular que constituye la capa de aleurona, el resto del endospermo carece de pigmentación.



a



b

Figura 6. a) Granos de maíz de raza Cónica sin pericarpio; y b) eliminada la capa de aleurona pigmentada.

5.6. Características de la planta

La mayoría de las razas de maíz azul muestran características muy variables de la planta, incluidos los periodos de floración y la desigual altura entre plantas. Otra característica peculiar es el mayor número de tallos por planta, que muchas veces no producen mazorcas (Dickerson, 2003). Sin embargo, el grado de ahijamiento en una población es factible de reducirse a través de algún método de selección (Espinosa *et al.*, 2004).

La precocidad es una característica ligada a las condiciones climáticas locales de donde provienen las poblaciones y también es un criterio a tomarse en cuenta durante su adaptación a los Valles Altos. En los Valles Altos de la Mesa Central de México se han localizado maíces azules con floración masculina y femenina precoz (Espinosa *et al.*, 2006). Los días a floración masculina y femenina de los criollos azules de la Mesa Central de México varía de 104 a 110 días (Arellano *et al.*, 2003; Herrera *et al.*, 2004). Las variedades azules derivadas de la raza Chalqueña tienen una floración más precoz, entre 80 y 90 días (Antonio *et al.*, 2004).

Las características agronómicas que varían dentro de los maíces azules son: días a floración masculina y femenina, número de hileras por mazorca, largo y ancho del grano (Espinosa *et al.*, 2006). De acuerdo con Antonio *et al.* (2004) existe una notoria variación genética en el intervalo entre floración masculina y femenina que va de 4.4 días a 8 días.

Dentro de sus principales problemas están el acame que puede llegar a 30% de la parcela (Antonio *et al.*, 2004). En algunas variedades de maíz azul de la raza Chalqueña se presentan problemas de pudrición de la mazorca que pueden llegar a 10.5%. Esto indica que las variedades de maíz azul son susceptibles a la pudrición de mazorcas, probablemente debido a la textura harinosa de su grano (Antonio *et al.*, 2004).

Arellano *et al.* (2003) determinaron que las variedades de maíz azul son sensibles a condiciones de sequía y temperatura distintas a su lugar de origen.

Actualmente se pone mayor atención al valor agregado que pueden darse por ejemplo al maíz de color azul, blanco y púrpura para la producción de alimentos. En parte como respuesta al decreciente abasto y al alza de los precios mundiales del maíz,

consecuencia al menos parcialmente del creciente desarrollo de biocombustibles. Como parte del quehacer de investigadores(as) expertos(as) en la materia esta el llevar a cabo ensayos que incluyen variedades experimentales que provienen de cruza entre materiales mejorados y materiales locales, variedades precomerciales en 20 o más ambientes en el estado, y 40 demostraciones en finca de híbridos en el mercado de grano blanco y amarillo cuyo propósito es dar retroalimentación a los agricultores (CIMMYT, 2008).

VI. Propiedades físico-químicas de los pigmentos de los maíces azules cultivados en el Estado de México

En México se tienen pocos estudios referentes a la caracterización del grano en los maíces azules cultivados en las diferentes regiones del país. Por ello, es de suma importancia la evaluación de estos tipos de maíces cultivados en el Estado de México, que constituye un área en donde se tienen condiciones climáticas favorables para la síntesis y acumulación de las antocianinas, que son los compuestos químicos responsables del color. La información sobre sus características físicas y químicas permite aprovechar mejor estos recursos naturales.

6.1. Pigmentos presentes en el grano de maíz azul

Los compuestos que le confieren la coloración característica a este tipo de maíces son las antocianinas, que representan los principales pigmentos solubles en agua visibles al ojo humano. Pertenecen al grupo de los flavonoides, y su estructura básica es un núcleo de flavón, el cual consta de dos anillos aromáticos unidos por una unidad de tres carbonos (Figura 7). El nivel de hidroxilación y metilación en el anillo "B" de la molécula determina el tipo de antocianidina, que es la aglicona de la antocianina.

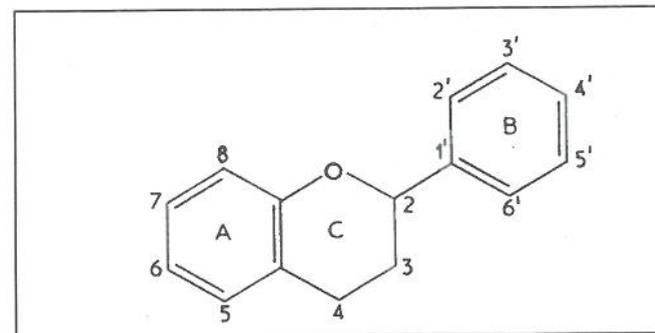


Figura 7. Núcleo de flavón, estructura básica de las antocianidinas [Adaptado de Gross, 1987].

Aunque se han descrito 12 diferentes antocianidinas, las más comunes en plantas son: pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina y malvidina (Figura 8). Las tres primeras son más frecuentes en frutos, en tanto que el resto lo son en flores.

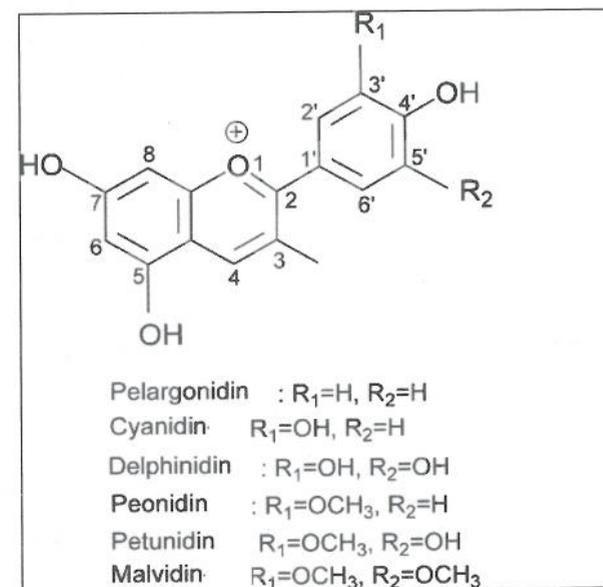


Figura 8. Antocianidinas más comunes en flores y frutos.

En las plantas las antocianidinas no se acumulan como tal, sino en su forma glicosilada; esto es, unidas a algún azúcar, y en cuyo caso se denominan antocianinas. El azúcar presente en la molécula les confiere una gran solubilidad y estabilidad. Generalmente se une a la antocianidina en la posición 3 del grupo fenólico, pero puede también hacerlo en las posiciones 5 y 7.

Con base al número de azúcares presentes en su estructura, las antocianinas se clasifican en: monoglucósidos (un azúcar); diglucósidos (dos azúcares), y triglucósidos (tres azúcares). Los tipos de azúcares presentes pueden ser: monosacáridos, disacáridos o trisacáridos. Los monosacáridos más comunes son: pentosas como arabinosa y xilosa, o bien hexosas, de las cuales la D-glucosa es la más frecuente, aunque también pueden estar presentes galactosa o ramnosa. Los disacáridos más frecuentes son gentobiosa, soforosa, sambubiosa, y rutinosa. Los trisacáridos reportados pueden ser lineales como la gentotriosa, o bien ramificados como xilosilrutinosa o glicosilrutinosa (Strack y Wray, 1989).

En algunos casos los azúcares están acilados con grupos derivados del ácido acético o alguno de los cuatro ácidos cinámicos (p-cumárico, caféico, ferúlico o sinápico). Se ha observado que la presencia de estos grupos acilo en la molécula de antocianidina le confiere estabilidad ante condiciones extremas de pH y temperatura. Cuando en la molécula de antocianina se encuentran únicamente azúcares, se denominan no aciladas; si además de los azúcares están presentes uno o varios radicales acilo, se catalogan como aciladas.

6.2. Antocianinas en maíz

En la planta de maíz, las antocianinas están presentes en diferentes estructuras, que abarcan desde tallo, vainas, hojas, e inflorescencias; en la mazorca se pueden encontrar en las brácteas, el raquis, y desde luego en el grano. Las antocianinas del grano de maíz se concentran en el pericarpio, capa de aleurona, o en ambas estructuras. De acuerdo a esta localización se pueden determinar los diferentes usos del grano. Cuando se presenta una cantidad elevada de antocianinas en el pericarpio y en la capa de aleurona, los maíces tienen potencial para la extracción de pigmentos; esta condición la cumplen los maíces de color guinda o rojo intenso. Si el pigmento se localiza en la capa de aleurona son adecuados para elaborar productos nixtamalizados. Los maíces con estas características son de color morado, azul o negro. Los granos con pigmento en el pericarpio no son adecuados para la nixtamalización porque con las condiciones de pH alcalino y temperatura elevada que caracterizan este proceso, las antocianinas son degradadas (Brouillard, 1982), y adquieren un color café pardo, que se hereda a la masa y productos elaborados con ella (Salinas *et al.*, 1999; Salinas *et al.*, 2003).

Las antocianinas simples reportadas para maíz son: cianidina 3-glucósido, pelargonidina 3-glucósido y peonidina 3-glucósido (Styles y Ceska, 1972). La primera es común en los maíces de grano azul y morado (Nakatani *et al.*, 1979; Bustillos, 1997) y las dos restantes en maíces de grano rojo (Coe *et al.*, 1955; Harborne y Gavazzi, 1969).

Las antocianinas aciladas con uno o más radicales acilo derivados de ácidos alifáticos (ácido málico, malónico o succínico) presentan en su estructura únicamente glucosa y se han identificado en hojas de maíz coloreadas (Harborne y Self, 1987)

y en el grano (De Pascual-Teresa *et al.*, 2003; Salinas *et al.*, 2005); las aciladas con alguno de los cuatro ácidos cinámicos poseen en su estructura glucosa y rutinosa. En el grano de maíz azul (morado) las antocianinas identificadas hasta ahora se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Antocianinas identificadas en el grano de maíz morado y azul.

Color de grano	Ubicación del pigmento	Antocianina identificada	Referencia
Morado	Aleurona	Cianidina- 3-glucósido	Styles y Ceska. [1972] [Nakatani <i>et al.</i> , 1979] Harborne y Self. [1987] [Salinas <i>et al.</i> , 1999] [de Pascual-Teresa <i>et al.</i> , 2003] [Abdel-Aal <i>et al.</i> , 2006]
Azul		Cianidina- 3-rutinósido	[Abdel-Aal <i>et al.</i> , 2006]
Morado	"	Pelargonidina -3-glucósido	Styles y Ceska. [1972] Harborne y Self. [1987] [Salinas <i>et al.</i> , 1999] [de Pascual-Teresa <i>et al.</i> , 2003] [Abdel-Aal <i>et al.</i> , 2006] [de Pascual-Teresa <i>et al.</i> , 2003]
Morado		Peonidina- 3-glucósido	El-Sayed <i>et al.</i> [2006]
Morado		Cianidina-3-[6"-malonilglucósido)	[de Pascual-Teresa <i>et al.</i> , 2003] [Abdel-Aal <i>et al.</i> , 2006]
		Cianidin succinil glucósido	[Abdel-Aal <i>et al.</i> , 2006]
		Pelargonidina-3-[6"-malonilglucósido)	[de Pascual-Teresa <i>et al.</i> , 2003]
		Peonidina-3-[6"-malonilglucósido)	[Abdel-Aal <i>et al.</i> , 2006]

6.3. Contenido de antocianinas en maíz azul

Los maíces azules del Estado de México derivan principalmente de las razas Chalqueño y Cónico, aunque también se pueden encontrar maíces azules de Cacahuacintle y Palomero Toluqueño, pero se aprovechan muy poco comercialmente.

La raza Chalqueño, de ciclo más largo y con adaptación a mayores alturas que Cónico (Wellhausen *et al.*, 1951), posee en sus granos un mayor contenido de antocianinas. Las muestras que se analizaron para obtener los datos de la Figura 9 fueron obtenidas en grano y en esta forma es difícil realizar una clasificación racial por lo cual están identificadas sólo con un número. La información sobre el sitio donde fueron colectadas las muestras se presenta en el Anexo 1. El rango en el contenido de antocianinas fue de 409.5 a 933.8 mg kg⁻¹ en grano sin germen. Estos valores son consistentes con los informados por otros investigadores en maíces de grano morado (De la Parra *et al.*, 2007) y azul (López-Martínez *et al.*, 2009). La mayor parte del maíz azul cultivado se realiza con materiales criollos, algunos de los cuales han sido objeto de mejoramiento genético con el fin de resolver el grave problema de acame que presentan y reducir lo harinoso de su endospermo. En este proceso se efectúan cruza del material original con otras fuentes de germoplasma para mejorar básicamente calidad de planta. Esto conduce a una reducción en el contenido de antocianinas. Los maíces mejorados que actualmente se tienen para el Estado de México, presentan en promedio un menor contenido que los maíces criollos o nativos (Figura 9).

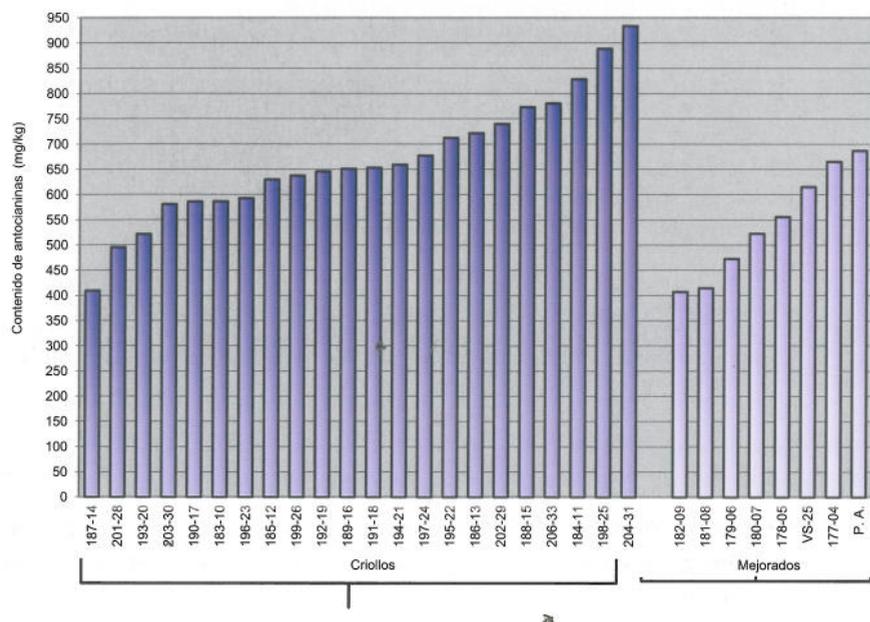


Figura 9. Contenido de antocianinas en maíces criollos y mejorados del Estado de México.

En la Figura 10 se presenta el contenido de antocianinas promedio en muestras de maíz azul en el Estados de México [criollos y mejorados], así como en Puebla y Tlaxcala.

No existe diferencia estadística entre el contenido promedio de las muestras analizadas en el Estado de México y Puebla. Sin embargo, el número de muestras en cada caso es diferente. En el Estado de México se analizaron 22 obtenidas en todo el estado, en tanto que en el caso de Puebla, únicamente tres. Las muestras del Tlaxcala presentaron en promedio el menor contenido de antocianinas.

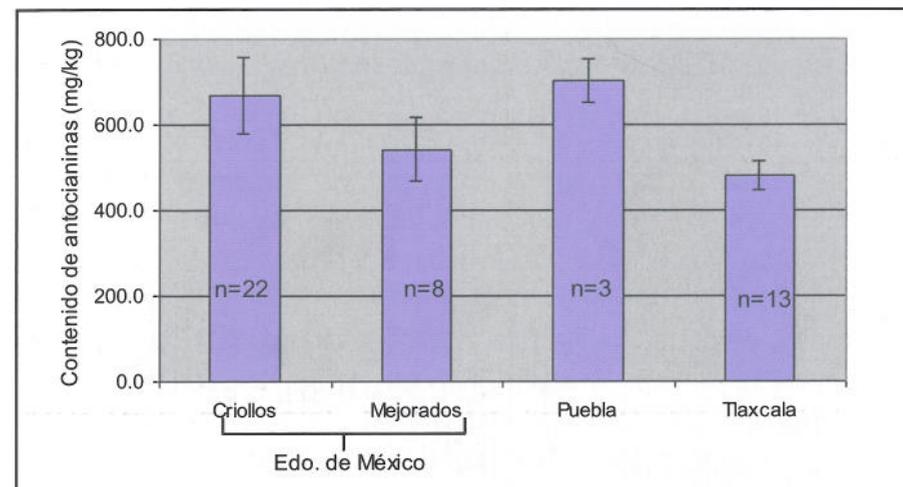


Figura 10. Contenido de antocianinas en maíces azules de los estados de México, Puebla y Tlaxcala. n: se refiere al número de muestras analizadas.

6.4. Tipo de antocianinas en el grano de maíz azul

Sin duda la especie *Zea mays* L. es una de las más estudiadas a nivel mundial, ya que por su amplia adaptabilidad se cultiva prácticamente en todo el mundo. No es sorprendente entonces que las antocianinas presentes en su grano hayan sido (Styles y Ceska, 1972; Nakatani *et al.*, 1979; Harborne y Self, 1987; Salinas *et al.*, 1999) y continúen siendo (De Pascual-Teresa *et al.*, 2003; Abdel-Aal *et al.*, 2006; González-Manzano *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2009) objeto de múltiples investigaciones. Sin embargo, pese a estos esfuerzos, hasta ahora no se tiene la identificación del perfil completo de antocianinas en los diferentes colores de grano que se presentan, atribuido en parte a que es mucho más complejo que el de otros cereales como trigo, arroz y cebada (Abdel-Aal *et al.*, 2006). En maíces de grano guinda se ha realizado la caracterización completa de sus antocianinas, tanto

de las que se presentan en el pericarpio como las de la capa de aleurona (González-Manzano *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2009).

El perfil de antocianinas del grano de maíz azul presenta entre 9 y 11 diferentes antocianinas, entre las que se tienen del tipo no aciladas y aciladas. El porcentaje relativo de cada tipo puede cambiar de acuerdo a la raza de la cual provenga el material y el sitio de cultivo (Salinas, 2000; Espinosa, 2003). En productos derivados de este cereal, las condiciones del proceso usado en su elaboración también influyen (Salinas *et al.*, 2003; De Pascual-Teresa, *et al.*, 2003). El porcentaje de antocianinas aciladas es mayor 50% del total (Harborne y Self 1987), y en algunos maíces como el derivado de la raza Chalqueño llega a ser de hasta 83.3% (Salinas, 2000). De acuerdo a lo señalado por Salinas *et al.*, (1999) el perfil de antocianinas en los maíces de grano azul está determinado por el tono de color del mismo y no se ve influenciado por la raza a la cual pertenece.

Entre las antocianinas no aciladas del grano de maíz azul destacan cianidina -3-glucósido, pelargonidina-3-glucósido y peonidina-3-glucósido; las aciladas son los derivados mono y diacilados de estas antocianidinas. Cuando se analizan mediante cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC), por sus siglas en inglés en fase reversa, las no aciladas presentan tiempos de retención menores que las aciladas. El cromatograma de la Figura 11 ilustra el perfil de antocianinas de una muestra de maíz azul de la raza Cónico. Se pueden apreciar 11 picos que corresponden a compuestos diferentes. La mayoría de ellos son derivados de cianidina, pero también de pelargonidina y una pequeña fracción de peonidina (Figura 12). De acuerdo con Espinosa (2003) los porcentajes relativos de estas antocianidinas varían según la raza de maíz que se trate, pero en general son: 90 % cianidina, 6-8% pelargonidina y alrededor de 2% para peonidina. Si el grano es morado, estos porcentajes cambian,

reduciéndose la proporción de cianidina e incrementándose las de pelargonidina y peonidina (Escribano-Bailón *et al.*, 2004).

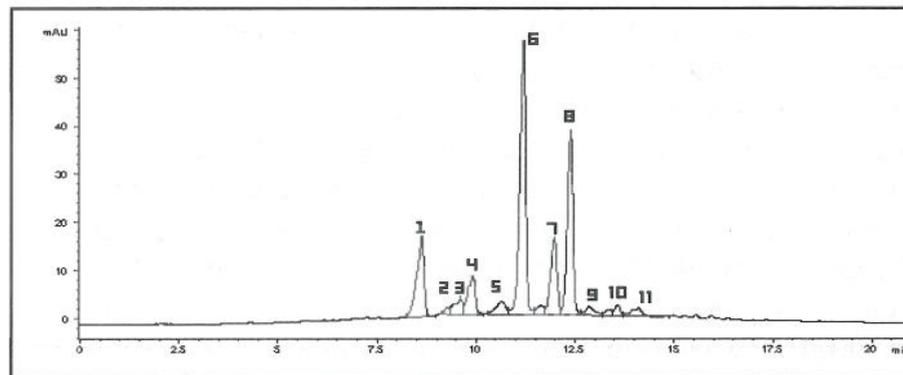


Figura 11. Perfil cromatográfico de las antocianinas presentes en el grano de maíz azul de la raza Cónico. 1) cianidina-3-glucósido; 2) no identificado; 3) no identificado; 4) pelargonidina-3-glucósido; 5) peonidina-3-glucósido; 6) cianidina-3 (6"-malonilglucósido; 7) pelargonidina-3 (6"-malonilglucósido); 8) peonidina-3(6"-malonilglucósido); y 9) cianidina-3 (3"-6"-dimalonilglucósido).

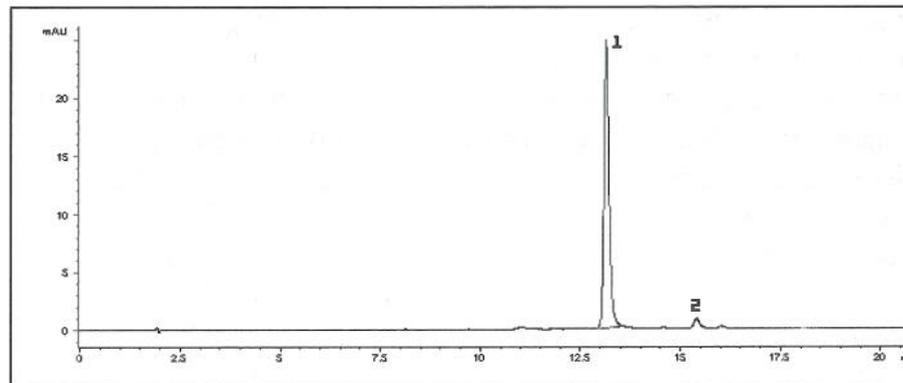


Figura 12. Perfil cromatográfico de las antocianidinas (agliconas) presentes en el grano de maíz azul de la raza Cónico. 1) Cianidina y 2) pelargonidina.

6.5. Diversidad de grano en los maíces azules

Estos materiales nativos derivan en su mayoría de las razas: Cónico, particularmente de la subraza elotes Cónicos y la Chalqueño. Estas razas se encuentran ampliamente diseminadas en la Mesa Central de México, adaptadas a alturas entre 2 200 y 2 800 m la primera, en tanto que el rango de adaptación de la segunda es de los 1 800 a los 2 300 m (Wellhausen *et al.*, 1951). En los registros sobre colectas de maíz para el Estado de México que se tienen en el banco de germoplasma de CIMMYT, aparecen 258 de la raza Cónico, 9 de la subraza elotes Cónicos y 152 de la raza Chalqueño. Esta última raza se cultiva casi exclusivamente en la región Chalco-Amecameca, de lo cual deriva su nombre, en tanto que la subraza Elotes Cónicos es cultivada en el resto del estado. En las Figuras 13a y 13b se muestran granos representativos de la raza Chalqueño y de la subraza elotes Cónicos.

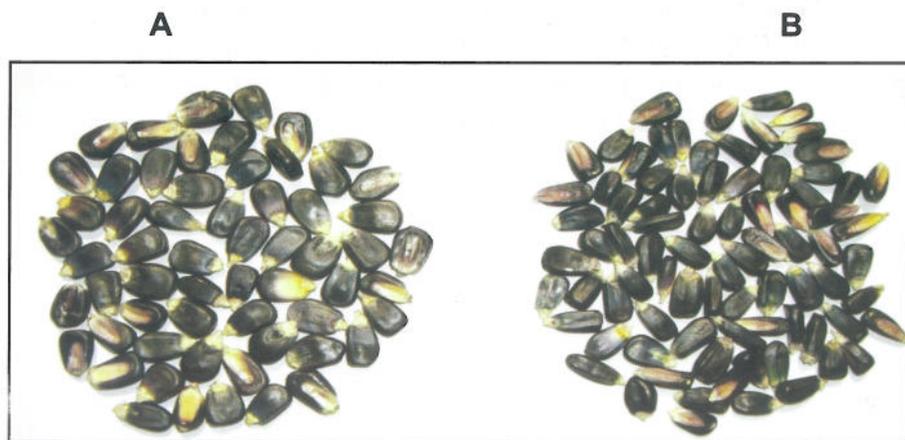


Figura 13. Maíz azul procedente del Estado de México. A) raza Chalqueño, y B) raza Cónico (elotes Cónicos).

VII. Características físicas del grano y de nixtamalización en maíces azules del Estado de México

7.1 Resultados en maíces azules

La mayoría de los maíces azules cultivados en el estado son de grano harinoso, lo que hace que los valores de peso hectolítrico sean menores que los que se presentan en maíces dentados. El índice de flotación (IF), que es una medida indirecta de la dureza del grano, presentó valores elevados, que están asociados con una baja densidad del grano. Las muestras se agruparon considerando la clasificación propuesta por Gomes (1993) con base en el IF. En el Cuadro 2 se presentan los maíces de endospermo muy suave, caracterizados por valores elevados de IF; el tamaño de grano fue variable, hubo muestras como la 206 y 202 de grano grande, y otras, que fueron mayoría, de grano pequeño (201, 204, 198 y 193). De los valores para las estructuras del grano, sobresalieron las muestras 193 y 203 por su elevado porcentaje de germen.

Cuadro 2. Variables físicas de grano y de nixtamalización y tortilla en maíces azules de endospermo muy suave.

Núm. muestra	HG (%)	PH kg hl	IF (%)	PCG (g)	Pico (%)	Per (%)	Germ (%)	PR (%)	HN (%)	HT (%)	PS (%)	CT (%) R
206	9.8	61.4	100	40.0	1.65	4.4	11.7	33.0	52.1	43.7	2.7	10.0
202	10.4	67.8	100	42.0	1.55	4.5	11.3	33.8	49.5	42.8	2.8	10.5
188	10.0	63.0	100	35.1	1.45	5.5	11.2	41.3	53.3	43.0	3.0	10.0
201	10.7	67.4	100	30.9	1.30	4.9	11.5	27.3	52.7	44.8	2.8	10.0
204	10.6	67.0	99	29.0	1.90	4.9	10.8	36.3	54.8	45.5	2.6	8.0
198	10.7	67.8	99	27.4	1.60	5.1	10.5	48.5	49.9	45.8	3.5	7.5
193	10.9	71.8	96	30.9	1.45	4.9	12.8	52.0	50.7	40.6	2.7	10.5
203	11.1	70.9	90	34.0	1.65	4.4	12.8	31.9	50.1	42.6	2.8	10.5

HG= humedad de grano; PH= peso hectolítrico; IF= índice de flotación; PCG= peso de 100 grano; Per= pericarpio; Germ= germen; PR= pericarpio remanente; HN= humedad de nixtamal; HT= humedad de tortilla; PS= pérdida de sólidos; CT= color de tortilla.

Estos maíces absorben gran cantidad de agua durante las etapas de cocimiento y reposo, en el proceso de nixtamalización, debido a la suavidad del grano. Sin embargo, la pierden con mucha facilidad durante el cocimiento de la tortilla, atribuido posiblemente a que forman una "ampolla" grande y con ello evaporan mayor cantidad de agua. Esta facilidad para formar la "ampolla" durante el cocimiento parece estar asociada con una mayor proporción de amilopectina en su almidón, en relación a los maíces de grano duro (Dombrink-Kurtzman y Knutson, 1997).

Sólo dos de las ocho muestras que conforman este grupo presentaron una humedad de 45%, que es el valor que se requiere para tener rendimientos maíz-tortilla de 1.5 o mayores (Aguilar, 2006). El color fue azul intenso, especialmente en las muestras 204 y 198.

Las características físicas del grano en los maíces de endospermo suave fueron similares a las de los de endospermo muy suave, con la salvedad de que los valores de peso hectolítrico fueron un poco mayores en estos últimos, atribuido a la presencia de la fracción de endospermo vítreo que poseen y que es de mayor densidad que la harinosa (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables físicas de grano y de nixtamalización y tortilla en maíces azules de endospermo suave.

Núm. muestra	HG (%)	PH kg hl	IF (%)	PCG (g)	Pico (%)	Per (%)	Germ (%)	PR (%)	HN (%)	HT (%)	PS (%)	CT (%) R
192	11.1	73.3	86.0	29.7	1.5	4.8	12.0	32.5	53.8	41.3	3.3	10.5
185	10.7	69.4	86.0	29.4	1.2	5.3	13.0	35.6	53.4	45.7	3.1	8.5
191	11.1	71.5	85.0	36.8	1.2	5.1	11.5	44.8	50.9	42.4	3.0	10
190	11.4	72.9	84.5	34.6	1.3	5.8	11.8	40.8	53.8	43.0	3.3	10
183	11.3	72.8	82.5	28.8	1.3	4.2	12.0	38.4	48.9	45.0	2.8	10
197	11.2	73.2	75.5	26.6	1.6	6.1	11.9	37.0	50.5	44.8	3.6	9.5
189	11.3	73.4	74.0	30.6	1.5	5.3	11.7	46.0	50.5	44.0	3.6	9.5
187	11.0	75.9	67.0	37.6	1.7	5.3	12.1	39.8	47.8	43.2	3.6	15
195	11.6	75.9	65.5	38.3	1.4	4.9	12.3	23.6	49.4	42.4	3.4	11
194	11.3	75.2	63.5	31.6	1.5	4.7	12.1	26.6	49.3	41.6	3.7	9.5

HG= humedad de grano; PH= peso hectolítrico; IF= índice de flotación; PCG= peso de 100 grano; Per= pericarpio; Germ= germen; PR= pericarpio remanente; HN= humedad de nixtamal; HT= humedad de tortilla; PS= pérdida de sólidos; CT= color de tortilla.

El comportamiento de las variables de nixtamalización y tortilla fueron similares al observado en los maíces de endospermo muy suave. De los maíces azules cultivados en el Estado de México, únicamente cuatro muestras presentaron un grano con textura de endospermo intermedia. Acorde con esta característica, los valores de peso hectolítrico fueron los más altos dentro del grupo

de los maíces nativos o criollos, y los de IF los más bajos (Cuadro 4). De las cuatro muestras, dos fueron de grano muy pequeño, lo que favoreció la absorción de agua durante el cocimiento. Se ha observado en repetidas ocasiones que los granos pequeños se hidratan muy bien durante el proceso de nixtamalización lo cual favorece la humedad de la tortilla. Nótese que estas muestras de grano pequeño fueron de mayor humedad. El color de sus tortillas fue azul intenso y la textura bastante buena.

Cuadro 4. Variables físicas de grano y de nixtamalización y tortilla en maíces azules de endospermo intermedio.

Núm. muestra	HG (%)	PH kg hl	IF (%)	PCG (g)	Pico (%)	Per. (%)	Germ (%)	PR (%)	HN (%)	HT (%)	PS (%)	CT (%)
184	11.8	74.4	60.5	22.8	1.9	4.7	11.4	58.4	52.0	45.6	3.3	8
186	11.4	74.1	58.0	22.2	1.5	5.0	11.0	41.9	50.8	44.4	3.9	8
196	11.9	77.1	53.5	42.6	1.5	4.6	11.7	47.3	47.0	41.4	3.0	11
199	12.6	77.1	55.5	37.8	1.4	4.3	11.8	46.9	48.9	42.4	3.4	9

HG= humedad de grano; PH= peso hectolitrico; IF= índice de flotación; PCG= peso de 100 grano; Per= pericarpio; Germ= germen; PR= pericarpio remanente; HN= humedad de nixtamal; HT= humedad de tortilla; PS= pérdida de sólidos; CT= color de tortilla.

Se están desarrollando maíces mejorados con el fin de ayudar a resolver la problemática agronómica que presentan los maíces nativos. Como fruto de estos esfuerzos se tienen Criollos mejorados (muestras 177 y 178), compuestos precoces (63) y Variedades sintéticas (63) que ofrecen ventajas desde el punto de vista agronómico y de rendimiento. Algunos de estos materiales (Cuadro 5), aún son de grano muy suave (muestras 62 y 63), pero otros ya son de dureza intermedia (muestras 180,181y 182).

Cuadro 5. Maíces mejorados para el Estado de México.

Núm. muestra	HG (%)	PH kg hl	IF (%)	PCG (g)	Pico (%)	Per. (%)	Germ (%)	PR (%)	HN (%)	HT (%)	PS (%)	CT (%)
63	11.3	70	96	34.5					49.5	39.7	4.3	11.5
62	12.3	72.2	90	35.0					51.8	39.7	3.8	9.0
177	10.1	70.8	89	47.2	1.50	5.1	11.6	37.0	49.7	42.0	3.3	10.5
178	10.3	72.8	79	46.3	1.15	4.6	12.1	37.6	48.9	41.3	3.3	12.0
179	10.5	74.5	63	46.2	1.15	4.1	11.7	38.3	45.9	40.4	2.9	12.0
181	10.7	78	44	40.6	1.20	5.2	11.9	44.2	45.3	42.6	3.2	12.5
182	10.1	78.8	41	45.5	1.15	4.9	11.6	29.3	47.4	43.9	3.6	11.0
180	10.5	78.6	34	45.8	1.10	4.4	11.5	50.9	47.8	41.4	3.1	14.0

HG= humedad de grano; PH= peso hectolitrico; IF= índice de flotación; PCG= peso de 100 grano; Per= pericarpio; Germ= germen; PR= pericarpio remanente; HN= humedad de nixtamal; HT= humedad de tortilla; PS= pérdida de sólidos; CT= color de tortilla.

Diversos investigadores(as) han informado que la intensidad del color azul está relacionada con la suavidad del endospermo (Wellhausen *et al.*, 1952; Salinas 2000) por lo que al realizar las diferentes cruces de maíces azules nativos con materiales blancos con el fin de mejorar calidad de planta, se vuelve el grano menos harinoso y con menor contenido de antocianinas. Es por esto que las tortillas de las muestras con grano intermedio presentan valores de reflectancia más elevados que las de grano completamente harinoso, indicando un color azul menos intenso.

7.2. Pérdida de antocianinas durante el proceso de nixtamalización y elaboración de tortillas

Durante el proceso de nixtamalización, un porcentaje elevado de las antocianinas del grano son degradadas por el pH alcalino de la solución acuosa de cocimiento. Se estima que entre 40 y 70% de las antocianinas se pierden al transformar el grano a masa y tortilla [Salinas *et al.*, 2003]. Si se elaboran frituras, el porcentaje de pérdidas aumenta un poco más [De la Parra *et al.*, 2007]. Sin embargo, las antocianinas que quedan en el producto, mantienen su poder antioxidante, de ahí que una tortilla de maíz azul posea mayor actividad antioxidante que una de grano blanco [Robles, 2004; De la Parra *et al.*, 2008].

En los maíces criollos del Estado de México el rango en el contenido de antocianinas totales en la harina nixtamalizada fue mayor que el observado en los maíces mejorados. Lo mismo ocurrió para el rango en el porcentaje de pérdidas [Cuadro 6].

Cuadro 6. Rangos del contenido de antocianinas totales en grano crudo, harina nixtamalizada y porcentaje de pérdidas al transformar el grano en harina nixtamalizada.

Maíces	Antocianinas totales en grano crudo (mg kg ⁻¹)	Antocianinas totales en harina nixtamalizada (mg kg ⁻¹)	Pérdida de antocianinas (%)
Criollos	409.5 a 933.8	159.8 a 334.1	42.7 a 80.7
Mejorados	407.2 a 686.9	118.6 a 272.6	51.2 a 80.0

7.3. Variabilidad fenotípica y de variables tecnológicas entre muestras

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y de agrupamiento considerando 26 variables obtenidas de 22 materiales nativos de maíz azul procedentes del Estado de México y ocho maíces mejorados. Con diez componentes principales se explica 92.6% de la variación existente en las accesiones. Las características que no fueron sobresalientes en alguno de esos componentes principales fueron: ángulo Hue de la tortilla, croma y luminosidad del grano, índice de flotación, peso de 100 granos y rendimiento de tortilla.

De acuerdo con los resultados, la diversidad entre las muestras es muy reducida. Se diferenciaron tres grupos delimitados a una distancia euclidiana de 1.07, conformados por 1, 5, y 22 poblaciones. El grupo tres, con sólo un elemento, lo conformó la población 184 [Figura 14].

La reducida diversidad se explica, porque como se mencionó en párrafos anteriores, los maíces azules cultivados en el Estado de México derivan básicamente de dos razas de maíz: Chalqueño y Cónico (subraza elotes Cónicos). Los ejemplares más típicos de la primera se distribuyen en la región oriente del Estado de México, principalmente en el área de Chalco-Amecameca.

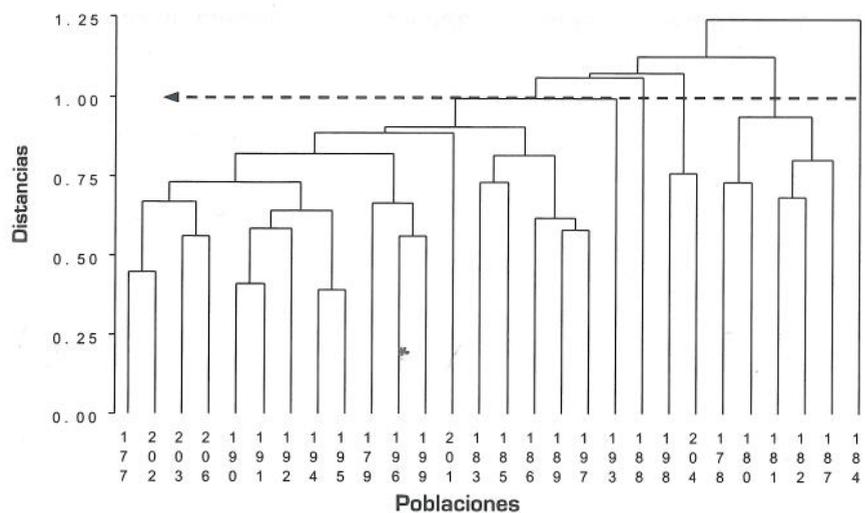


Figura 14. Agrupación de poblaciones criollas de maíz azul del Estado de México, con base en características fisicoquímicas del grano.

7.4. Variabilidad en color de grano

El color visual de los maíces analizados varió entre azul y negro, presentando algunas muestras granos de tonalidades guindas, particularmente en la zona cercana al germen. Una característica que se apreció en varias de las muestras fue que presentaban el pericarpio desprendido de la capa de aleurona, lo que impactó el valor de las variables obtenidas con el colorímetro Hunter-Lab. Las muestras con valores positivos elevados de b^* fueron las que mostraron la característica de pericarpio desprendido (Figura 15). El tinte de color en los maíces criollos e híbridos fue parecido, y no está relacionado con la concentración de antocianinas en el grano ya que la correlación con los parámetros de color fue no significativa. La distribución de las muestras en el eje de coordenadas $\pm a^*$ y $\pm b^*$ fue similar a lo informado por Espinosa (2003) para maíces azules en relación a que se agrupan en el

primer cuadrante, aunque se apreció un número importante ubicado en el cuarto cuadrante debido a que algunos granos presentaron puntos de color rojo intenso en varias muestras, particularmente en las que presentaron características de grano más cercanas a la raza Cónica.

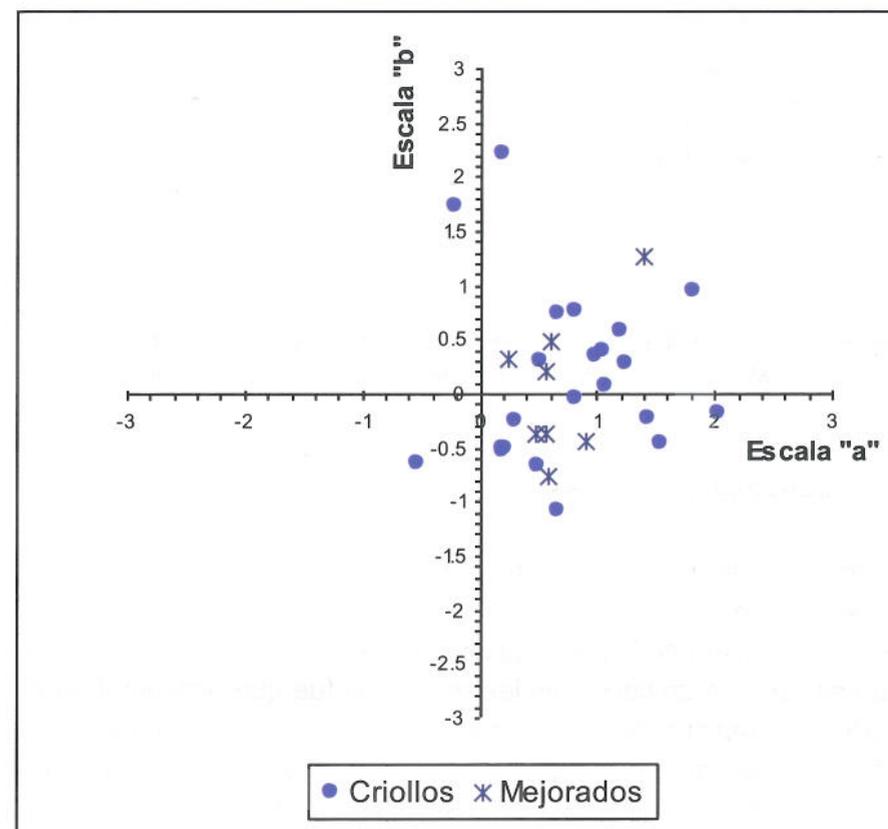


Figura 15. Valores de a^* y b^* obtenidos en el Hunter-Lab en maíces criollos y mejorados de grano azul cultivados en el Estado de México.

Con las variables de color CIElab obtenidas del colorímetro Hunter-Lab, así como el Hue y croma calculado a partir de los valores de a^* y b^* , se realizó un análisis de Componentes Principales para determinar cuales están más asociadas con el color del grano. De acuerdo a los resultados, los valores de L, a^* y b^* obtenidos directamente en el colorímetro, explican 86% de la variabilidad observada.

VIII. Usos actuales y potenciales del maíz azul

8.1 Tradicionales

El principal destino de la producción de maíz azul en el Estado de México es el mismo que se tiene a nivel nacional y es la elaboración de tortillas, tlacoyos, gorditas, atoles y pinole. Los tres primeros productos requieren que el grano sea previamente nixtamalizado y molido, en los dos últimos, el grano generalmente se tuesta previo a su molienda.

El proceso de nixtamalización es sumamente agresivo para las antocianinas del grano, existen pérdidas mayores de 70% en el contenido de estos compuestos, aunque es indispensable su realización para poder elaborar los productos nixtamalizados. Sin embargo, para la elaboración del pinole no se requiere nixtamalizar el grano, sino únicamente tostarlo y molerlo. No obstante que el tostado se realiza a temperaturas elevadas (>100 °C) es posible que se degrade una menor cantidad de antocianinas que con el proceso de nixtamalización.

8.2. Potenciales

El descubrimiento de la actividad antioxidante de la vitamina E por Burton *et al.*, (1982), citados por Barclay y Vinqvist, (2003) en sistemas biológicos tales como la sangre, marcó el inicio de los estudios que han llevado al conocimiento que hoy se tiene sobre la importancia de tal actividad y la identificación de los compuestos que la poseen ha disparado el interés de las industrias de alimentos y farmacéuticas, por fuentes diversas de antioxidantes naturales.

El concepto de alimento funcional ha surgido para referirse a aquellos alimentos, que por su contenido de sustancias antioxidantes, no sólo proporcionan un beneficio nutricional a los consumidores, sino que debido a su composición, también ayudan a prevenir o retrasar el desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas, dentro de las cuales las cardiovasculares y el cáncer son de las más importantes.

Los alimentos funcionales requieren ser formulados a partir de ingredientes funcionales.

Si mediante el mejoramiento genético de los maíces de grano azul se pretende ampliar la oferta de este tipo de grano, es necesario que la demanda también crezca para evitar que el precio que actualmente se paga por el maíz azul se vea afectado de manera negativa. En este sentido, es necesario desarrollar nuevos productos a partir de los maíces de grano azul, en los cuales se aprovechen las propiedades de las antocianinas. Dentro de estas propiedades, algunas están probadas, pero otras es necesario descubrirlas mediante estudios orientados a este propósito.

En el corto plazo se puede utilizar la información ya publicada sobre el efecto antioxidante [López-Martínez *et al.*, 2009], antimicrobiano y anti-proliferativo de células de cáncer de colon [Zhao *et al.*, 2009] de las antocianinas del grano de maíz.

Para obtener tales beneficios no es indispensable que las antocianinas sean extraídas, sino que basta con que la fracción del grano en el que son más abundantes sea incorporada en los alimentos. En este sentido es totalmente viable el aprovechamiento de los maíces azules a través del proceso de molienda seca que se emplea comúnmente en el maíz blanco o amarillo para obtener diferentes fracciones. Como en el maíz azul las antocianinas están ubicadas en la capa de aleurona, que es parte del endospermo, es fácil de separar. Esta fracción puede ser comercializada para su uso como ingrediente en diversos productos a base de cereales en los que se busque aumentar no sólo su aporte de antioxidantes, sino que también agregar color, ya que a diferencia de otros fenólicos, las antocianinas poseen brillantes colores, dependiendo del pH en el que se encuentren.

IX. Literatura Citada

- Abdel-Aal, E-S.; Young, M. J. C. and Rabalski, I. 2006. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple and red cereal grains. *J. Agric. Food Chem.* 54:4696-4704.
- Aguilar, M. L. 2006. Diferencias en el rendimiento de tortilla y su calidad respecto al tipo de endospermo del maíz (*Zea mays*, L.). Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. 54 p.
- Antonio, M. M.; Arellano, V. J. L.; García- de los Santos, G.; Miranda, C. S.; Mejía, J. A. y González, C. F. 2004. Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1):9-15.
- Arellano, V. J. L.; Tut, C. C.; María, R. A.; Salinas, M. Y. y Tabeada, G. O. R. 2003. Maíz azul de los Valles Altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(2): 101-107.
- Barclay, L. R. C. and Vinqvist, M. R. 2003. Phenols as antioxidants. *In: the chemistry of phenols, Part 2.* Z. Rappoport [ed.]. An interscience publication. Wiley. Israel. Jerusalem. 839-908 pp.
- Bergvinson, D. J.; Ramírez, A.; Flores, D. y García-Lara, S. 2007. Mejoramiento de maíces criollos por integración de alelos. México, D. F. CIMMYT 2008. Boletín: Impulso a la producción de maíz en el Estado de México. Vol. 5(2):24-26.
- Centro Internacional del Maíz y Trigo [CIMMYT]. 2008. Boletín: impulso a la producción de maíz en el Estado de México. Vol. 5(2). Disponible al 9 de agosto de 2010: <http://www.cimmyt.org/index.php/es/boletin/37-2008/160-a-boost-for-maize-in-the-state-of-mexico>.

- Betrán F. J.; Bockholt, A. J. and Rooney, L. 2001. Blue corn *in* specialty corns. Hallauer, A. R. [ed]. Iowa State University. Ames Iowa, USA. 293-337 pp.
- Brouillard, R. 1982. Chemical Structure of anthocyanins. *in* Anthocyanins as Food Colors. (P. Markakis) ed. Academic Press. 1-38 pp.
- Bustillos, E. P. 1997. Cuantificación y elucidación estructural de compuestos pigmentados presentes en maíces criollos azul y rojo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chihuahua. México. 101 p.
- Coe, E. H. 1955. Anthocyanin synthesis in maize, the interaction of A_2 and Pr in leucoanthocyanin accumulation. *Genetics* 40:568 [Abstracts].
- De la Parra, C.; Serna-Saldivar, S. O. and R. Hai Liu. 2008. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *J. Agric. Food Chem.* 55:4177-4183.
- De Pascual-Teresa, S.; Santos-Buelga, C. and Rivas-Gonzalo, J. C. 2002. LC-MS analisis of anthocyanins from purple corn cob. *J. Sci. Food Agric.* 82:1003-1006.
- Dickerson, W. G. 2003. Nutritional analysis of New Mexico blue corn and dent corn kernels. Cooperative extension service, college of agriculture and home economics. New Mexico State University. Las Cruces, NM. 2 p.
- Dombrink-Kurtzman, M. A. and Knutson, C. A. 1997. A study of maize endosperm hardness in relation to amylose content and susceptibility to damage. *Cereal Chem.* 74:776-780.
- Escribano-Bailón, M. T.; Santos-Buelga, C. and Rivas-Gonzalo, J. C. 2004. Anthocyanins in cereals. *J. of Chromatography A.* Vol. 1054:129-141.
- Espinosa Trujillo, E.; Castillo, G. Ma. del C y Castillo, G. F. 2006. Nota científica: diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(2):19-23.
- Espinosa, G. B. M. 2003. Antocianinas en maíces de grano pigmentado [*Zea mays* L.] y medición de su actividad antioxidante. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. 69 p.
- Gomes, E. J. 1993. Métodos comparativos para determinar dureza en maíz [*Zea mays* L.] y su influencia en el tiempo de nixtamalización. Tesis profesional, UACH, D. I. A., Chapingo, México. 82 p.
- González-Estrada, A.; Islas, G. J.; Espinosa, C. A.; Vázquez, C. A. y Wood, S. 2007. Impacto económico del maíz en México: Híbrido H-50. INIFAP. 83 p.
- González-Manzano, S.; Pérez-Alonso, J. J.; Salinas-Moreno, Y.; Mateus, N.; Silva, M. S. A.; de Freitas, V. and Santos-Buelga, C. 2008. Flavonol-anthocyanin pigments in corn: NMR characterisation and presence in different purple corn varieties. *Journal of Food Composition Analysis* 21:521-526.
- Gross, J. 1987. Pigments in fruits. Academic Press. 59-63 pp.
- Harborne, J. B., and Gavazzi, G. 1969. Effect of Pr and pr alleles on anthocyanin biosynthesis in *Zea mays*. *Phytochemistry* 8:999-1001.

- Harborne, J. B. and Self, R. 1987. Malonated Cyanidin 3 glucosides in *Zea mays* and other grasses. *Phytochemistry*. 26(8):2417-2418.
- Hernández, X. E. y Alanís, F. G. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México. Implicaciones fitogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5(1):3-30.
- Herrera, C. B. E. 1999. Diversidad genética y valor agronómico entre poblaciones de maíz de la raza Chalqueño. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Programa de Genética. 124 p.
- Johnson, D. L. and Jha, M. N. 1993. Blue corn. p. 228-230. *In*: Janick, J. and Simon, J. E. (eds.), *New crops*. Wiley, New York. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1993/v2-228.html>. Fecha de consulta: 05 de junio de 2009.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2007. Resultados del censo agropecuario 2007. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/agropecuario2007/>. Fecha de consulta: 09 de agosto de 2010.
- Irani, N. G.; Hernández, M. and Grotewold, E. 2003. Regulation of anthocyanin pigmentation. *Recent Advances in Phytochemistry* 37:59-78.
- Lopez-Martinez, L. X.; Oliart-Ros, R. M.; Valerio-Alfaro, G.; Lee, G-H.; Parkin, K. L. and Garcia, H. S. 2009. Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of mexican maize. *LWT-Food Science and Technology* 42:1187-1192.
- Markakis, P. 1982. Stability of anthocyanins in foods. *In*: anthocyanins as food colors. Markakis, P. (ed). Academic Press. 163-178 pp.

- Ortega, R. C. y Ochoa, B. R. 2003. El maíz: un legado de México para el mundo. *Claridades Agropecuarias*. 3-16 pp.
- Robles, R. R. R. 2004. Actividad antioxidante de masa y tortilla de maíces pigmentados. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. 54 p.
- Salinas, M. Y.; Soto, H. M.; Martínez, B. F.; González, H. V. y Ortega, P. M. 1999. Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol.22:161-174. México, D. F.
- Salinas, M. Y. 2000. Antocianinas en el grano de maíces criollos mexicanos. Tesis doctoral. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Fisiología Vegetal. Colegio de Posgraduados. México. 92 p.
- Salinas-Moreno, Y.; Martínez-Bustos, F.; Soto-Hernández, M. Ortega-Paczka, M. Arellano-Vázquez, J. L. 2003. Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia* 37:617-628.
- Salinas-Moreno, Y.; Salas-Sánchez, G.; Rubio-Hernández, D. and Ramos-Lobato, N. 2005. Characterization of anthocyanin extracts from maize kernels. *J. of Chrom. Sci.* 43(9):483-487.
- Salinas, M. Y.; Rubio, H. D. y Díaz, V. D. 2005. Extracción y uso de pigmentos del grano de maíz (*Zea mays* L.) como colorantes en yogur. *Arch. Lat. de Nutric.* 55(3):293-298.
- Sanchez, G. J.; Goodman, M. M. and Stuber, C. W. 2000. Isoenzymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54: 43-59.

Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO). 2008. Estimación de rendimientos de maíz, ciclo primavera-verano 2007. Gobierno del Estado de México. Toluca, Estado de México. 144 p.

Soria, R. J. 2009. Superficies cultivadas y mapeo de rendimientos de maíz en el Estado de México. Informe final de resultados del ciclo agrícola P-V 2008. Laboratorio de Geomática - INIFAP. Zinacantepec, Estado de México. 194 p.

Soto, R. y Mijares, P. 2007. Proyectos de investigación y transferencia de tecnología de maíz en el Estado de México. <http://sedagrotecnologia.wordpress.com/2007/11/13/proyectos-de-investigacion-y-transferencia-de-tecnologia-de-maiz-en-el-estado-de-mexico/> [27 junio 2008].

Strack, D. and Wray, V. 1989. Anthocyanins. *In*: methods in plant biochemistry. Vol. I. plant phenolics. H.B. Harborne (ed.) Academic Press. 325-356 pp.

Styles, E. D. and Ceska, O. 1972. Flavonoid pigments in genetic strains of maize. *Phytochemistry*, 11:3019-3021.

Villalobos, M. M. Director de semillas Águila, agosto de 2009.

Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M.; Hernández, X. E. and Mangelsdorf, P. C. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. *In*: Xolocotzia. Obras de Efraín Hernández Xolocotzi. Revista de Geografía Agrícola. Tomo II. Universidad Autónoma Chapingo. 609-732 pp.

Zhao, X.; Zhang, C.; Guigas, C.; Corrales, B. M. and Tauscher, X. Hu. 2009. Composition, antimicrobial activity, and antiproliferative capacity of anthocyanin extracts of purple corn [*Zea mays* L.] from China. *Eur Food Res Technol* 228:759-765.

X. Anexos

Anexo 1. Sitios de colectas de maíz azul analizadas.

Distrito de Desarrollo Rural (DDR)	Núm. de identificación de laboratorio	Núm. de identificación de muestra	Municipio	Localidad
Atlaacmulco	193-20	47	San Felipe del Progreso	Barrio de Centro del Cerrillo
Atlaacmulco	183-10	47R	San Felipe del Progreso	Barrio de Centro del Cerrillo
Atlaacmulco	190-17	203	Jocotitlán	Barro San Jacinto
Atlaacmulco	191-18	203R	Jocotitlán	Barro San Jacinto
Atlaacmulco	187-14	221	Acambay	El Medrano
Atlaacmulco	188-15	222	Acambay	Rancho La Esperanza
Atlaacmulco	189-16	244	El Oro	Ejido Santiago Oxtimpan
Atlaacmulco	194-21	251	San Felipe del Progreso	La Venta
Atlaacmulco	192-19	255	Ixtlahuaca	San Juan de las manzanas
Coatepec de Harinas	184-11	115	Ocuilan	Cinco caminos
Coatepec de Harinas	186-13	115R	Ocuilan	Cinco caminos
Jilotepec	195-22	352	Aculco	Encinillas
Toluca	204-31	21	Tlanguistenco	Pueblo Nuevo
Toluca	203-30	41	Temoaya	Tlachaloya Segunda Sección
Toluca	199-26	69	Tenango del Valle	Colonia de las Minas
Toluca	202-29	111	Tlanguistenco	Ahuatenco
Toluca	206-33	111R	Tlanguistenco	Ahuatenco
Toluca	201-28	155	Joquicingo	El ojo de agua
Valle de Bravo	198-25	62	Zacazonapan	Zacazonapan
Valle de Bravo	185-12	112	Villa Victoria	Dolores Vaquerías
Zumpango	196-23	257	Coyotepec	Santa María Caliacac
Zumpango	197-24	365	Tepetzotlán	San Mateo Xoloc

Anexo 1. Sitios de colectas de maíz azul analizadas.

177-4	Cocotitlán-22	Amecameca	Arellano, V. J. L
178-5	Coyungo-22	Amecameca	Arellano, V. J. L
179-6	Compuesto Azul F2	TLAN	Arellano, V. J. L
180-7	Azul Cristalino F2	Santa Lucía de Prías	Arellano, V. J. L
181-8	Azul cruza 2	Santa Lucía de Prías	Arellano, V. J. L
182-9	Azul cruza 1	Chapingo	Arellano, V. J. L
63	Compuesto precoz	Área de Toluca-	Díaz, H. R.
62	VS-25 seleccionado	Atlacmulco	Díaz, H. R.

La madre del maíz

El pueblo Huichol estaba cansado por la monotonía de su comida. Un muchacho del pueblo, al que le habían llegado noticias de la remota existencia de una planta con cuyos frutos se podían preparar muchas y variadas comidas, decidió partir en su búsqueda.

Encontró una fila de hormigas, que solían ocultar maíz y decidió seguirlas. Caminó y caminó tras de ellas, hasta que rendido por el cansancio, se durmió. Entonces las hormigas se aprovecharon y se comieron toda su ropa. Al despertar y verse desnudo y hambriento, el muchacho cayó en sentidas lamentaciones hasta que un pájaro se posó en una rama cercana. Cogió su arco y apuntó su flecha, pero el pájaro le habló y le dijo que no osara matarlo, puesto que era la madre del maíz, y estaba dispuesto a guiarlo hasta donde había maíz en abundancia.

Fueron hasta la casa de maíz, y el muchacho conoció a las hijas de la madre del maíz, con una de las cuales, mazorca azul, se casó y regresó a su pueblo. Como no tenían casa, el muchacho y su bella y dulce esposa durmieron en los lugares del culto. Como un milagro, el lugar de los recién casados amanecía todo lleno de mazorcas de maíz, que mazorca azul repartía generosamente a quien quisiera pedirle, mientras enseñaba cómo preparar las comidas, cómo sembrar y cómo cuidar de la siembra del maíz.

Cuentan que a tanto llegó la generosidad de mazorca azul que, después de enseñar todo lo que sabía acerca del maíz, se molió a sí misma para que su hermoso cuerpo sirviera también de alimento.

Cuento Huichol

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Experimentales



- Sede de Centro de Investigación Regional
- Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
- Campo Experimental

Comité Editorial de CIRCE

Presidente

Dr. Eduardo Espitia Rangel

Secretario

M.C. Santa Ana Ríos Ruiz

Vocales

M.C. Ma. de Lourdes García Leaños

Dra. Martha B. G. Irizar Garza

Dr. Vidal Guerra de la Cruz

Dr. Benjamín Zamudio González

Dr. Francisco Becerra Luna

Dr. Fernando Carrillo Anzures

Edición

Dra. Dora M. Sangerman Jarquín

Revisión Técnica

Dr. Agustín Navarro Bravo

Diseño y formación

Moisés Aguilar Castillo

CÓDIGO INIFAP

MX-0-310301-25-06-29-09-42

Esta publicación se terminó de imprimir
en Diciembre de 2010, en los talleres gráficos
de IMPRESOS LEBAM

Calle Dos de Marzo No. 216-b,
Colonia Texcoco de Mora Centro,
Texcoco Estado de México. C.P. 56100
Tels. (595) 9548608 / 9557411.
Su tiraje consta de 1000 ejemplares.



La información reunida para elaborar este folleto
se realizó con el apoyo financiero del
GRUPO PRODUCE ESTADO DE MÉXICO A.C.,
mediante el proyecto número: 2076426A.

Dr. Fernando Carrillo Anzures

Jefe de Campo

Lic. Leticia Mendoza Salinas

Jefa Administrativa

Personal investigador

Acosta Mireles Miguel, Dr.
 Aguilar Zamora Alejandro Agustín, M.C.
 Albarrán Millán Miguel, M.C.
 Aragón Ramírez Adrián, Dr.
 Arellano Vázquez José Luis, Dr.
 Audelo Benítez Marco Antonio, M.C.
 Ayala Garay Alma Velia, Dra.
 Baez Pérez José Luis, M.C.
 Buendía Rodríguez Enrique, M.C.
 Cadena Hinojosa Mateo Armando, Dr.
 Carrillo Anzures Fernando, Dr.
 Cortes Espinosa Lorena, M.C.
 Cuevas Reyes Venancio, M.C.
 De La O Olan Micaela, M.C.
 Díaz Valasis Margarita, Dra.
 Espinosa Calderón Alejandro, Dr.
 Esquivel Esquivel Gilberto, Dr.
 Flores Ayala Eulogio, M.C.
 Garza García Dagoberto, M.C.
 Garza García Ramón, Dr.
 González Estrada Adrián, Dr.
 Hernández Casillas Juan Manuel, Dr.
 Hortelano Santa Rosa Rene, Dr.
 Huerta Espino Julio, Dr.
 Huerta Zurita Ramón, M.C.
 Irizar Garza Martha Blanca Guadalupe, Dra.
 Islas Gutiérrez Juan, M.C.
 Jacinto Hernández Carmen, Dra.
 Jiménez Regalado Ramón, Dr.
 Jolalpa Barrera José Luis, M.C.
 Larqué Saavedra Bertha Sofía, Dra.
 Limón Ortega Agustín, Dr.
 Magaña Lira Natanael, M.C.
 Martínez Cruz Eliel, Dr.
 Martínez Trejo Guillermina, Dra.
 Mejía Andrade Hugo, M.C.
 Muruaga Martínez José Socorro, Ing.
 Ochoa Bijarro Juan Gabriel, M.C.
 Pérez Herrera Patricia, M.C.
 Pineda Ojeda Tomás, M.C.
 Rivas Valencia Patricia, Dra.
 Rodríguez García Ma. Florencia, M.C.
 Salinas Moreno Yolanda, Dra.
 Sangerman Jarquín Dora María, Dra.
 Tovar Gómez Ma. del Rosario, Dra.
 Torres Sandoval Julio, M.C.
 Turrent Fernández Antonio, Dr.
 Vargas Vázquez María Luisa Patricia, M.C.
 Vázquez Carrillo Arturo, Ing.
 Vázquez Carrillo María Gricelda, Dra.
 Velázquez Cardelas Gustavo Adrián, M.C.
 Vera Gutiérrez Enrique, I.Q.
 Villaseñor Mir Héctor Eduardo, Dr.
 Virgen Vargas Juan, M.C.
 Zamora Díaz Mauro Refugio, Dr.

Red de Investigación e Innovación

Servicios Ambientales
 Nopal
 CENEMA
 CENEMA
 Maíz
 CENEMA
 OCIMA
 Transferencia de Tecnología
 Sistemas de información geográfica
 Papa
 Plantaciones Forestales y Agroforestería
 Transferencia de Tecnología
 Economía
 Recursos Genéticos
 Papa
 Maíz
 Recursos Genéticos
 Servicios ambientales
 Frijol
 Frijol
 Economía
 Recursos Genéticos
 Cereales de grano pequeño
 Cereales de grano pequeño
 Cereales de grano pequeño
 Micorrizas
 Economía Forestal
 Laboratorio de Calidad de Frijol
 CENEMA
 Economía
 Economía
 Cereales de grano pequeño
 Hortalizas
 Cereales de grano pequeño
 Transferencia de Tecnología
 Maíz
 Recursos Genéticos
 CENEMA
 Cereales de grano pequeño
 Plantaciones Forestales y Agroforestería
 Fitopatología
 Cereales de grano pequeño
 Maíz
 Revista Agricultura Técnica en México
 Forrajes
 CENEMA
 Maíz Intercalado con Frutales
 Frijol
 Transferencia de Tecnología
 Maíz
 Maíz
 Ganado lechero y forrajes
 Cereales de grano pequeño
 Tecnología de semillas
 Cereales de grano pequeño