

Características fisicoquímicas y calidad de la proteína de maíces nativos pigmentados de Morelos en dos años de cultivo

Elizabeth Broa Rojas¹
María Gricelda Vázquez Carrillo^{2§}
Néstor Gabriel Estrella Chulím¹
José Hilario Hernández Salgado¹
Benito Ramírez Valverde¹
Gregorio Bahena Delgado³

¹Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla núm. 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla. CP. 72760. Tel. 01(222) 2851442. (broa.elizabeth@colpos.mx; nestrela@colpos.mx; jhhernan@colpos.mx; bramirez@colpos.mx). ²Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 01(800) 088 2222, ext. 85364. ³Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc-UAEM. Av. Nicolás Bravo s/n, Parque Industrial, Cuautla, Morelos. CP. 62725. Tel. 01(777) 3297981. (gbahena20@yahoo.com.mx).

§Autora para correspondencia: gricelda.vazquez@yahoo.com.

Resumen

Históricamente en el oriente del estado de Morelos se han producido y consumido los maíces nativos pigmentados (MNP), por lo que se planteó evaluar el efecto del ciclo de cultivo en las características fisicoquímicas y la calidad de la proteína de 26 poblaciones de MNP de los municipios de Temoac y Ayala de la región oriente de Morelos. Los MNP se colectaron en los ciclos primavera-verano 2014 y 2015, se calificó: peso hectolítrico (PH), peso de cien granos (PCG), índice de flotación (IF), pedicelo (PED), pericarpio (PER), germen (GER), endospermo harinoso (EHA) y corneo (ECO), así como aceite (ACE), proteína (PRO), triptófano (TRI), índice de calidad de proteína (IQP) y antocianinas (ANT). Los resultados se analizaron con un diseño combinado completamente al azar. En el oriente de Morelos predominaron las razas Elotes Occidentales ‘EO’ y Pepitilla ‘Pep’ de grano azul. En las variables se encontraron diferencias significativas ($p < 0.01$) en el ciclo de cultivo, la población y la interacción. En el ciclo 2014 los maíces fueron de mayor: PCG, ECO, ACE, TRI e IQP y menor: IF, PRO y ANT. En general los MNP fueron de baja densidad ($\bar{X}_{PH} = 63.7 \text{ kg hL}^{-1}$; $\bar{X}_{IF} = 84$), grano grande ($\bar{X}_{PCG} = 44.8 \text{ g}$), con alto: GER ($\bar{X} = 13.1\%$), ACE ($\bar{X} = 5.14\%$), TRI ($\bar{X} = 0.076\%$), IQP ($\bar{X} = 0.81$) y ANT ($\bar{X} = 276.6 \text{ mg ECG kg}^{-1} \text{ MS}$). Destacaron las poblaciones ‘EO22’ y ‘Pep20’ por su elevado IQP, alto TRI y ANT, el resto de las poblaciones no mostró relación entre características químicas y nutricionales. Se identificaron 16 poblaciones con buena calidad de proteína (IQP > 0.8) y elevado contenido de TRI (>0.075%), que pueden ser usada para mejorar la nutrición y salud de los consumidores.

Palabras clave: índice de calidad de la proteína, índice de flotación, triptófano.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: marzo de 2019

Introducción

En México, el maíz es considerado el cultivo más importante, pues se siembran casi siete millones de hectáreas de las que se obtienen, cerca de 23 millones de toneladas. Se estima que 80% de la superficie cultivable se trabaja bajo condiciones de temporal, donde la distribución y volumen de agua depende de las lluvias, lo cual reduce de manera significativa el rendimiento promedio (2.3 t ha^{-1}), especialmente si se compara con el de riego (7.3 t ha^{-1}), (SIAP-SAGARPA, 2017). El 65% de la superficie cultivada en México bajo condiciones de temporal se siembra con maíces nativos (CIMMYT, 2014), los cuales tienen una amplia adaptación a condiciones agroclimáticas muy específicas y además, por sus características culinarias como son el color, sabor, textura son muy apreciados por los consumidores para la elaboración de varios platillos típicos (Hellin *et al.*, 2013).

Tal es el caso de los maíces pigmentados (azul, negro, rojo, morado, etc.), los cuales se siembran en gran medida para satisfacer el paladar de las familias que los producen y para alagar a los comensales en eventos especiales de cada comunidad. Los maíces nativos o también llamados por los productores maíces “criollos” poseen un arraigo ancestral en la vida de los mexicanos, a pesar de ello, el uso de estos maíces se ha ido modificando con el paso de los años debido a factores como la globalización, cambios en la vida social y productiva del sector rural, cambios de preferencias de los consumidores y la migración (López-Torrez *et al.*, 2016).

En el estado de Morelos, el maíz, es el segundo cultivo de mayor importancia después del sorgo. La superficie sembrada de maíz en Morelos para el año 2015 fue de 23,922 ha, en donde se obtuvo un rendimiento promedio de 2.27 t. ha^{-1} (SIAP-SAGARPA, 2017). La producción de este cereal es principalmente en condiciones de temporal empleando genotipos mejorados, mismos que han desplazado paulatinamente a los maíces nativos pigmentados los cuales actualmente son sembrados en pequeña escala y utilizados principalmente para el autoconsumo, se emplean para la elaboración de tortillas, carretas (alimento elaborado con masa y manteca, cocido en un comal), pinole (alimento prehispánico a base de maíz tostado, molido y aderezado con azúcar y canela), tamales (producto elaborado con masa mezclada con manteca la cual se envuelve y cose en las brácteas de la mazorca ‘totomoxtle’) y atole (bebida elaborada a base de maíz tostado y molido o con masa de maíz pigmentado nixtamalizado).

Los cambios antes citados, están presentes en los municipios de Ayala y Temoac, Morelos, ya que en los años sesenta el principal cultivo era el maíz y se cultivaban solo maíces nativos. En los últimos treinta años estos maíces fueron reemplazados paulatinamente por variedades e híbridos mejorados de maíz y cultivos como el sorgo, amaranto y cacahuete, además, en el año 2016 por maíces amarillos destinados al consumo animal. Aunado a lo anterior, las unidades de producción familiar se han reducido debido a la edad avanzada de los productores, la migración de la gente joven y el desinterés de perpetuar su cultivo por parte de los hijos que se han quedado, o los nietos ya que consideran es una actividad ardua y poco redituable (Barkin y Suárez, 1995).

En México, se han evaluado las características físicas, químicas y los componentes estructurales del grano de maíces nativos pigmentados (Salinas *et al.*, 2013b), también se han cuantificado las antocianinas (Espinosa *et al.*, 2009; Salinas *et al.*, 2013a), así como la calidad proteínica (Vidal *et al.*, 2008). Las industrias de alimentos buscan materias primas con propiedades reológicas muy específicas de sus almidones, aspectos que han sido estudiados en maíces nativos con el propósito de posicionarlos en las industrias demandantes (Gaytán-Martínez *et al.*, 2013).

Las características físico-químicas y los componentes estructurales del grano de maíz dependen de la variedad, las condiciones del cultivo, así como los métodos de selección implementados por los productores, también pueden modificarse por los cambios climatológicos. Vázquez-Carrillo *et al.* (2016) informaron que con precipitaciones superiores a 500 mm y temperaturas promedio de 15-26 °C en la etapa de llenado del grano, se incrementó el tamaño del grano, la dureza y el contenido de almidón.

La diferencia entre genotipos de la misma raza, se explica por diversos factores: la genética intrínseca de ellos, si se trata de una raza pura, o de una cruce y del control de cada productor a plagas y enfermedades y el manejo implementado en respuesta al clima, heladas, granizadas, acame, etc. Lo anterior, se estudió bajo el análisis de interacción genotipo x ambiente. Al respecto, Bazinger *et al.* (2012) indicaron que la interacción genotipo x ambiente ocurre cuando los genotipos responden de manera diferente a las variantes del ambiente. Mientras que Ángeles-Gaspar *et al.* (2010) informaron que la variación genética del maíz está relacionada con los factores asociados a la humedad del suelo, temperatura, altitud y a la duración del periodo de crecimiento de las plantas.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del ciclo de cultivo en las características físico-químicas y la calidad de la proteína de 26 poblaciones de maíces nativos pigmentados de los municipios de Temoac y Ayala de la región oriente del estado de Morelos, México.

Materiales y métodos

Germoplasma estudiado

En el ciclo primavera-verano (PV)-2014, se seleccionaron 12 productores del municipio de Temoac y cinco de Ayala, En el ciclo PV-2015, los mismos productores proporcionaron entre 20 y 25 mazorcas cada año (Cuadro 1). En Ayala el clima es cálido sub-húmedo y Temoac es templado sub-húmedo. Con base en las características de las mazorcas, se identificó la raza y la cruce a la cual pertenecen.

Cuadro 1. Raza y localidades de colecta de maíces nativos pigmentados del oriente de Morelos, México.

Núm. de población MNP	Raza ¹ (identificación)	Color	Localidad	Municipio	Altitud (m)
1	ES x TAB	Rojo	Popotlán	Temoac	1 619
2	Pep x EO	Rojo	Temoac	Temoac	1 599
9	EO x Pep	Rojo	Popotlán	Temoac	1 616
10	EO	Rojo	Amilcingo	Temoac	1 466
11	EC x ES	Rojo	Amilcingo	Temoac	1 466
12	EO	Rojo	Amilcingo	Temoac	1 466
13	EO x Pep	Rojo	Amilcingo	Temoac	1 466
17	Pep x EO	Rojo	Huazulco	Temoac	1 513
19	Pep x EO	Rojo	Temoac	Temoac	1 528
21	Ni	Rojo	Tlayecac	Ayala	Ni

Núm. de población MNP	Raza ¹ (identificación)	Color	Localidad	Municipio	Altitud (m)
23	EO x Pep	Rojo	Temoac	Temoac	1 562
3	EO	Azul	Popotlán	Temoac	1 560
4	AN x EO	Azul	Popotlán	Temoac	1 587
5	Pep	Azul	Popotlán	Temoac	1 635
6	EO	Azul	Popotlán	Temoac	1 618
7	Pep	Azul	Popotlán	Temoac	1 619
8	Pep x EO	Azul	Popotlán	Temoac	1 616
14	EC x Pep	Azul	Tlayecac	Ayala	Ni
15	EC x Pep	Azul	Amilcingo	Temoac	1 466
16	Pep	Azul	Amilcingo	Temoac	1 486
18	AN	Azul	Tlayecac	Ayala	Ni
20	Pep	Azul	Tlayecac	Ayala	1 374
22	EO	Azul	Tlayecac	Ayala	Ni
24	Ni	Azul	Temoac	Temoac	1 528
25	Pep x EO	Azul	Huitzililla	Ayala	Ni
26	Pep x AN	Azul	Amilcingo	Temoac	1 481

MNP= maíces nativos pigmentados; ¹ES= Elotero de Sinaloa; TAB= Tabloncillo; Pep= Pepitilla; EO= Elotes Occidentales; EC= Elotes Cónicos; AN= Ancho; Ni= no identificado. ¹Dr. Juan Manuel Hernández Casillas (Com. Per.).

Características físicas y químicas del grano

Se evaluó peso hectolítrico (PH), peso de cien granos (PCG), índice de flotación (IF) y los porcentajes de pedicelo (PED), pericarpio (PER), germen (GER), endospermo harinoso (EHA) y córneo (ECO) de acuerdo a la metodología descrita por Salinas y Vázquez (2006). El análisis químico se realizó en harina de grano entero obtenida después de la molienda en un molino tipo ciclónico (UDY, Mod.3010-080P[®]), con malla de 0.5 mm. Se cuantificó el contenido de: aceite siguiendo el método 920.85 de la AOAC (2000), proteína por el método Technicon Instruments (Galicia *et al.*, 2012), triptófano siguiendo la metodología del ácido glioxílico (Nurit *et al.*, 2009) y el índice de calidad de la proteína (IQP) se calculó con la relación propuesta por Twumasi-Afriyie *et al.* (2016): $IQP = [(triptófano\%/proteína\%)100]$.

Las antocianinas totales se evaluaron siguiendo el procedimiento descrito por Salinas *et al.* (2013a). Las antocianinas de los MNP rojos se calcularon con una curva de pelargonidina clorada (Castañeda-Sánchez, 2011) y se informan como mg equivalentes de pelargonidina clorada por kilogramo de materia seca (mg EPC kg⁻¹ MS). Para los MNP azules se usó una curva de cianidina-3-glucosido, se informan como mg equivalentes de cianidina-3-glucosido por kg de materia seca (mg ECG kg⁻¹ MS) (Salinas *et al.*, 2013a).

Análisis estadístico

Los datos correspondientes a cada una de las variables evaluadas en cada ciclo de producción fueron sometidos a un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar combinado con dos repeticiones mediante el procedimiento GLM y la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$). Se realizó la matriz de correlación de Pearson. Para todos los análisis se empleó el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System 9.0 para Windows).

Resultados y discusión

En los municipios de Ayala y Temoac ubicados al oriente de Morelos predominaron como razas puras: Elotes Occidentales 'EO' y Pepitilla 'Pep', ambas fueron de grano grande y endospermo suave. Las poblaciones de 'EO' (cinco) tuvieron menor: PCG (\bar{x} = 42.1 g) e índice de flotación (\bar{x} = 76), respecto a las poblaciones de 'Pep' (cuatro), que presentaron el gancho característico de esta raza, mayor PCG (\bar{x} = 45.1 g) e IF (\bar{x} = 87) (Figura 1). Vázquez *et al.* (2010) informaron un menor PCG (\bar{x} =33.1 g) para la raza Pepitilla.



Figura 1. Aspecto del pericarpio, germen y endospermo de una población roja (A) y azul (B) de maíces nativos pigmentados del oriente de Morelos.

La raza pura de maíz 'Ancho' (AN) fue de menor PCG (\bar{x} = 37.9 g) y mayor IF (\bar{x} = 99). Las cruza más frecuentes (ocho) fueron entre 'PepxEO', en seis de ellas 'Pep' fue la raza primaria; no obstante, predominó el tamaño y la dureza de 'EO' PCG (\bar{x} = 42.4 g) e IF (\bar{x} = 85), en tanto que las cruza 'EOxPep' registraron características semejantes a 'Pepitilla puro' con valores promedio de PCG e IF de 47.7 g y 81 respectivamente. Las cruza de 'AN' ocurrieron con 'Pep' y 'EO', fueron de color azul y endospermo muy suave. Dos de estas poblaciones no pudieron ser clasificadas (Cuadro 1), debido posiblemente a un mayor entrecruzamiento.

Wellhausen *et al.* (1951) informaron que la raza 'Pep' se distribuía principalmente en los estados de Guerrero y Morelos y que era de 'endospermo suave, granos blancos con aleurona y pericarpio sin color'. En esta investigación se encontraron poblaciones puras de 'Pep' de color azul-negro de endospermo suave y con pigmento en la capa de aleurona. Mientras que los de color rojo, tuvieron el pigmento en el pericarpio y algunos también en la capa de aleurona.

En el estado de Morelos se han identificado siete colectas de parientes silvestres y buen número de colectas de criollos representativas de ocho razas, por lo que ha sido declarado con una variabilidad media y parte del centro de origen del maíz (Gómez *et al.*, 2015). Adicionalmente en la colecta 2008-2009 realizada en la zona cálida del estado de Morelos, se identificaron 14 razas, entre ellas pepitilla y Elotes Occidentales las cuales fueron de color blanco (50-60%) y en menor proporción (10-15%) de color amarillo, azul y rojo (Gómez *et al.*, 2015). En los municipios de estudio se identificaron maíces de grano blanco, pero la investigación se centró en los pigmentados, entre los que se identificaron, además, las razas Elotes de Sinaloa 'ES' y Tabloncillo 'TAB' que no habían sido informadas antes.

Características físicas y químicas de los granos

El análisis de varianza mostró diferencia significativa ($p < 0.01$) en los efectos de ciclo de cultivo, población y la interacción entre ciclo x población en todas las variables evaluadas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia para características físicas, químicas y calidad de la proteína de maíces nativos pigmentados del oriente de Morelos.

Variables	Ciclo	Población	Interacción ciclo*población	Error	CV	Media general
Peso hectolítrico	43.9**	51.1**	33.7**	101.3	1.58	63.7
Peso cien granos	935.1**	82.2**	49.6**	0.73	1.91	44.8
Índice flotación	775.5**	489.1**	257.4**	12.4	4.19	84
Pedicelo	0.38**	0.11**	0.08**	0.0006	1.42	1.8
Pericarpio	0.22**	0.77**	0.41**	0.0007	0.58	4.5
Germen	1.74**	3.7**	1.59**	0.0006	0.2	13
Endospermo harinoso	598.7**	438.8**	101.5**	0.0007	0.06	50.5
Endospermo corneo	720.1**	429.6**	97.2**	0.0007	0.09	30.2
Aceite	1.39**	0.72**	0.35**	0.033	3.58	5.1
Proteína	4.8**	3.8**	2.93**	0.08	2.95	9.6
Triptófano	0.0003**	0.00019**	0.00009**	0	0.91	0.075
Índice de calidad	0.2**	0.04**	0.042**	0.0009	3.73	0.8
Antocianinas	456.8**	122255.1**	12349.3**	1.68	0.47	276

** = significativa $p < 0.01$; CV = coeficiente de variación.

En los dos años de evaluación, los maíces fueron de granos grandes, correspondientes a valores altos de PCG, reducido PH y elevado IF (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto del ciclo de cultivo en características físicas, químicas y calidad de la proteína en MNP del oriente de Morelos, México, PV-2014 y PV-2015.

Variables	Años		DMS
	2014	2015	
Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)	63.07 b	64.37a	0.5286
Peso de cien granos (g)	47.84 a	41.84 b	0.4497
Índice de flotación	81 b	87 a	1.85
Pedicelo (%)	1.76 b	1.88 a	0.0136
Pericarpio (%)	4.48 b	4.57 a	0.014
Germen (%)	12.88 b	13.14 a	0.0136
Endospermo harinoso (%)	48.05 b	52.85 a	0.0146
Endospermo córneo (%)	32.81 a	27.55 b	0.014
Aceite (%)	5.25 a	5.01 b	0.072
Proteína (%)	9.37 b	9.8 a	0.1486
Triptófano (%)	0.078 a	0.075 b	0.0004
Índice de calidad	0.858 a	0.77 1b	0.016
Antocianinas (mg ECG kg ⁻¹ MS)	274.49 b	278.68 a	0.6815

Valores con la misma letra en la misma línea no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DMS = diferencia mínima significativa.

La interacción ciclo x población mostró que los MNP azules fueron de endospermo más suave que los rojos (Figura 2A y B) destacaron las poblaciones ‘EOxPep9’ (Figura 2A), ‘AN18’, ‘EO3’, ‘PepxEO25’, ‘PepxAN26’ y ‘PepxEO5’ (Figura 2B), por la estabilidad en la suavidad de su grano en los dos ciclos de evaluación y por haber sido los de grano más suave, característica que se asoció con PH < 62 kg. hL⁻¹, PCG > 38 g y reducido porcentaje de PER (<4.5%). Atributos deseables en los maíces destinados al consumo como verdura (elote) (Revilla y Ordaz, 2016) y para la elaboración de pozole, donde se recomienda el uso de maíces con un PH < 67 kg. hL⁻¹, PCG > 38 g, IF = 100 y pericarpio <6% (Vázquez *et al.*, 2016).

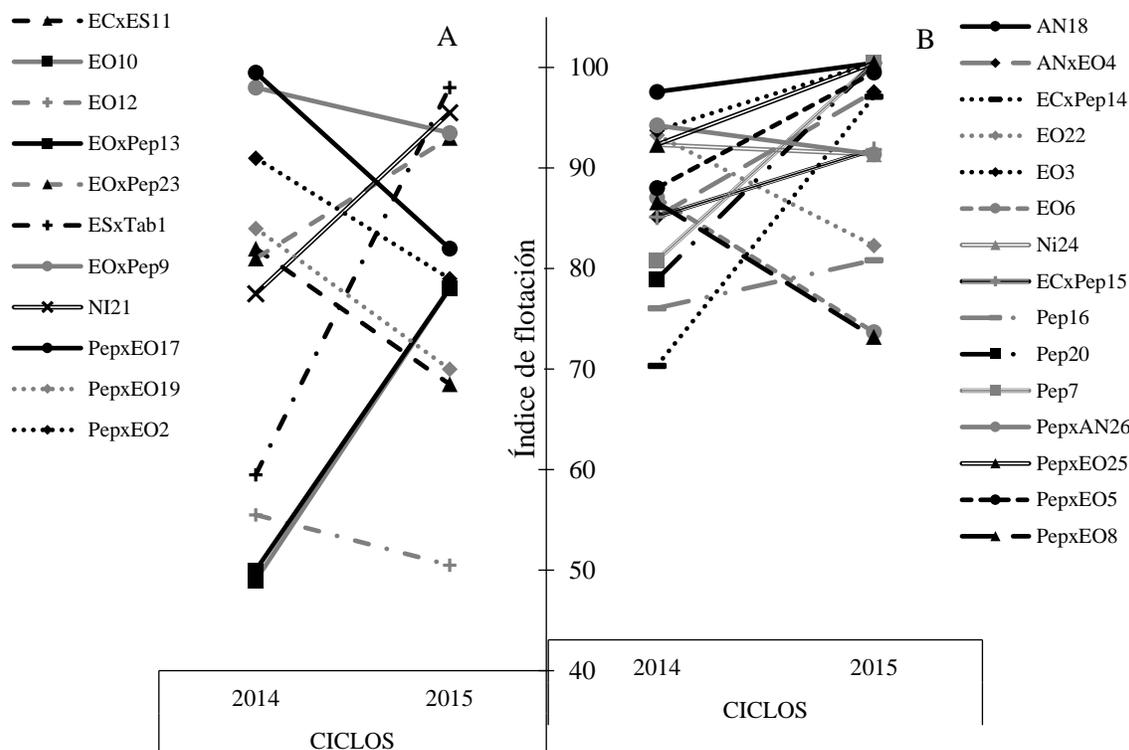


Figura 2. Interacción ciclo de cultivo por población en el índice de flotación de poblaciones rojas (A) y azules (B) de maíces nativos pigmentados del oriente de Morelos, México.

El mayor tamaño de los granos en el PV-2014, se atribuyen a una mayor disponibilidad de agua al inicio del cultivo y durante el llenado de grano (Figura 3), lo que favorece una rápida acumulación de los carbohidratos (Tanaka y Yamaguchi, 2014).

Mientras que el menor tamaño (<PCG) e IF, en el ciclo PV-2015 se atribuyen a la lluvia errática y mal distribuida en la etapa del llenado del grano (Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010; Bâzinger *et al.*, 2012) (Figura 3), al respecto, Zinselmeir *et al.* (1995) señalaron que, en maíz, los bajos potenciales hídricos, reducen el crecimiento embrionario, al disminuir el flujo de sacarosa y alterar el metabolismo de los carbohidratos en los ovarios. El mayor tamaño de grano se asoció con un germen grande, que a su vez produjo una mayor cantidad de aceite ($r= 0.68$; $p < 0.01$) (Figura 4) Las poblaciones de color rojo, donde predominó la raza ‘EO’, fueron las de mayor porcentaje de germen y de aceite, respecto a las azules (Figura 4).

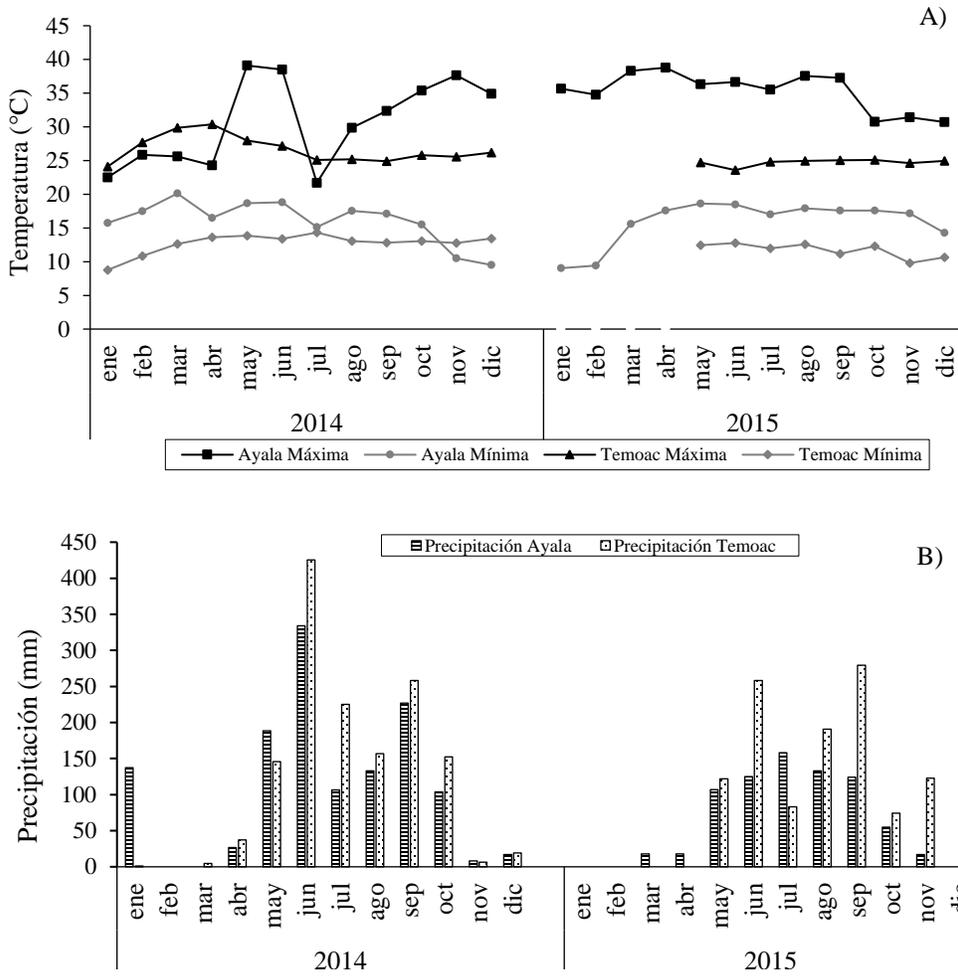


Figura 3. Temperatura (A) y precipitación (B) en Temoac y Ayala, Morelos en los años 2014 y 2015 (CONAGUA, 2016).

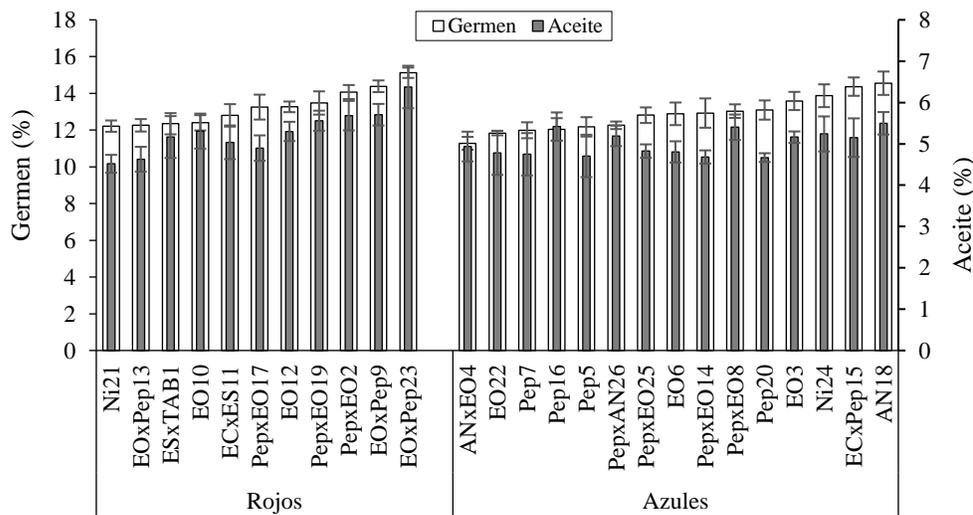


Figura 4. Contenido de aceite y proporción de germen en maíces nativos pigmentados del oriente del estado de Morelos, México.

Reducidos valores de PH se correlacionaron con valores altos de: IF ($r = -0.54$; $p \leq 0.01$) y endospermo harinoso (EHA) ($r = -0.61$; $p \leq 0.01$), lo que corrobora la baja densidad de estos maíces. En sus componentes químicos las poblaciones del ciclo PV- 2014 registraron mayores cantidades de ACE y menos: PRO y ANT (Cuadro 3).

Los valores de ACE estuvieron entre 4.46 y 5.88%, con un valor medio de 5.14%, resultados semejantes fueron informados por Agama-Acevedo *et al.* (2011) (4.85 a 5.98%) para 15 accesiones de maíz azul y fueron superiores a lo declarado para maíces azules (4.1%) y rojos (4.2%) de Nayarit (Vidal *et al.*, 2008) y a 50 accesiones de maíces cubanos (4.01 a 5.53%) (Martínez *et al.*, 2009), pero inferiores a lo encontrado por Guzmán *et al.* (2015) en maíces nativos de Guanajuato.

En los MNP la proteína estuvo entre 7.6 a 11.5%, valores que están dentro de lo informado para maíces nativos mexicanos (Gaytán-Martínez *et al.* (2013), estos autores informaron un intervalo entre 9.7 y 11.9%, en tanto que Vázquez *et al.* (2010) consignaron valores desde 6.9 hasta 12.5% de proteína. En los MNP de Morelos se observó que los de menor contenido de proteína fueron los de granos más suaves, donde los ‘gránulos de almidón’ que son principalmente esféricos, están débilmente empaquetados en una matriz de proteína que circunda ligeramente los gránulos (Narváez-González *et al.*, 2007).

Otro aspecto, que contribuyó en el contenido de proteína fue la fertilización del cultivo, donde los productores informaron que esta ocurrió fuera de tiempo, por la usencia de lluvia y en reducida dosis, adicionada de manera empíricas (1 puño por mata). Algunos productores informaron haber incorporado el rastrojo del cultivo anterior y un pequeño número de ellos, aplico fertilizante orgánico proveniente de sus animales de tiro. La práctica del monocultivo, las erráticas lluvias y la limitada aplicación de fertilizante, son algunas de las causas que pudieron haber contribuido en el bajo contenido de proteína de las poblaciones investigadas.

El ciclo de cultivo afecto el contenido de antocianinas totales en 2015 se registró un contenido mayor que el de 2014 (Cuadro 3); no obstante, los valores medios fueron numéricamente muy parecidos en los dos ciclos, lo que pudiera atribuirse al carácter heredable de las antocianinas (Halbwirth *et al.*, 2002). Las poblaciones de grano rojo, tuvieron valores desde 24.79 hasta 623.2 mg EPC kg^{-1} MS, con un valor medio de 151.4 mg EPC kg^{-1} MS (Figura 5A).

Esta variabilidad guardo relación con el color de los granos (resultados no presentados), los de tonos más claros (rosa-lila) fueron los de menor contenido de antocianinas, en tanto que la población ‘EOxPep13’ (rojo intenso o guinda) registro el mayor contenido de estos pigmentos (Figura 5A). Las antocianinas de las poblaciones rojas de Morelos fueron superiores a los valores informados (62.3 y 154 mg ECG kg^{-1} MS) para razas de maíz (rojo) no identificadas (López *et al.*, 2009) y semejantes a lo informado por Salinas-Moreno *et al.* (2012b) (64.7 a 547.7 mg ECG kg^{-1} MS) para cuatro razas (Olotillo, Tehua, Tuxpeño y Vandeño) de grano rojo del estado de Chiapas. Las poblaciones de grano azul registraron un mayor contenido de antocianinas, respecto a las rojas (Figura 5A y 5B). En el ciclo 2015 destacaron las poblaciones: ‘Pep20’, ‘Pep16’, ‘EO6’, ‘PepxEO25’ por su mayor contenido de antocianinas, en tanto que ‘EO22’, redujo de manera significativa estos pigmentos (Figura 5B).

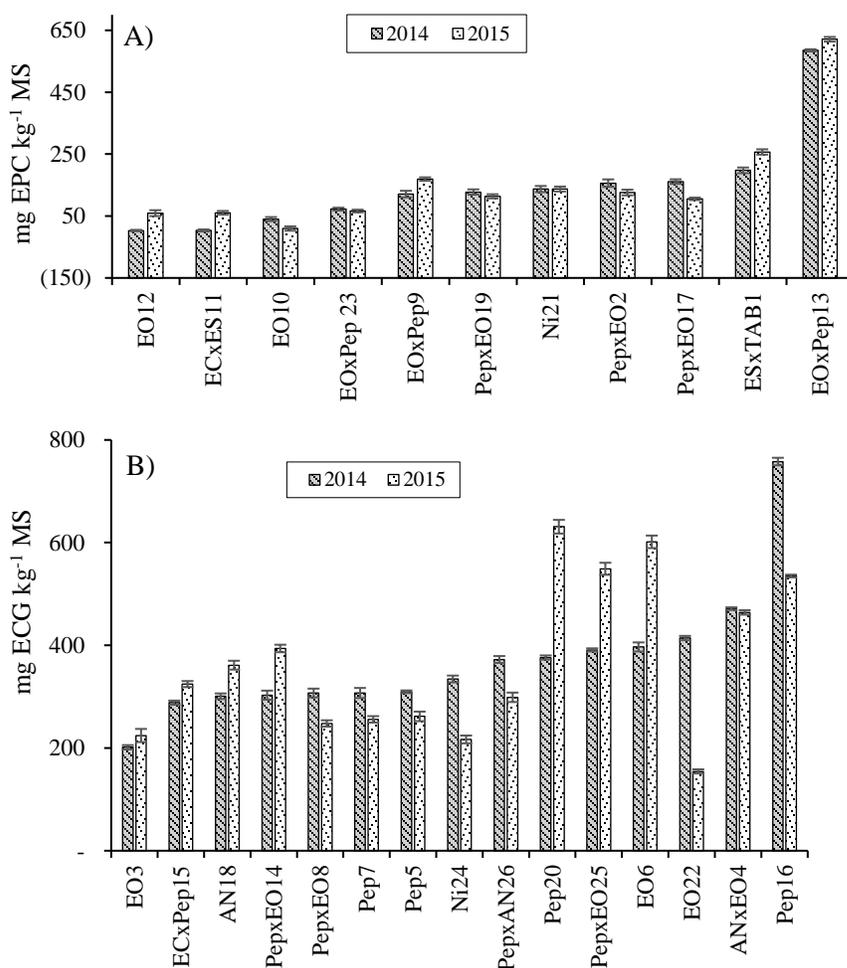


Figura 5. Antocianinas totales en poblaciones de maíces rojos (A) y azules (B) de la región oriente del estado de Morelos en los ciclos 2014 y 2015.

En estas poblaciones las antocianinas tuvieron entre 312 y 646.4 mg ECG.kg⁻¹ MS, con un valor medio de 368.4 mg ECG kg⁻¹ MS (Figura 5B), resultados que fueron semejantes a los informado por Salinas *et al.* (2013a) para diferentes razas de maíces nativos azules, e inferiores al intervalo de: 579.4-1046.1 mg ECG kg⁻¹ MS informado por Salinas-Moreno *et al.* (2012a) para seis accesiones de maíz Chalqueño, raza adaptada a alturas superiores a los 2 000 msnm, donde prevalecen las bajas temperaturas nocturnas y la alta luminosidad, lo que propicia una mayor síntesis de antocianinas (Jin-Seng *et al.*, 2006; Salinas *et al.*, 2013a). Si bien la genética de las poblaciones es importante en la producción de las antocianinas, los climas cálidos sub-húmedo para el municipio de Ayala y templado sub-húmedo para Temoac, también pudieron haber contribuido.

Calidad de la proteína

La calidad nutritiva del maíz como alimento, está determinada principalmente por la composición de aminoácidos de sus proteínas. Entre los aminoácidos esenciales y limitantes del maíz está el triptófano (Vázquez *et al.*, 2012). Si bien no existen valores absolutos de lisina o triptófano que

definan a un maíz con calidad proteínica, Twumasi-Afiyie *et al.* (2016) sugirieron que maíces con más de 0.075% de triptófano en muestras de grano entero, puede ser considerado con calidad de proteína. En el presente estudio, el mayor contenido de triptófano se encontró en el ciclo PV-2014 (Cuadro 2). Se registraron valores desde 0.064 hasta 0.090%, con un valor medio de 0.075%. De acuerdo con Twumasi-Afiyie *et al.* (2016), 62% de las poblaciones (16 de 26) tuvo un contenido de triptófano semejante al de maíces con alta calidad de proteína (QPM) (Figura 6).

Las poblaciones azules con mayor contenido de triptófano fueron: ‘PepxAN26’ (0.090%), ‘AN18’ (0.089%), ‘ECxPep15’ (0.085%), les siguieron poblaciones puras de ‘Pep7’ y ‘EO22’, en tanto que las rojas fueron; ‘PepxEO19’ (0.086%) y ‘EOxPep9’ (0.081%) (Figura 6).

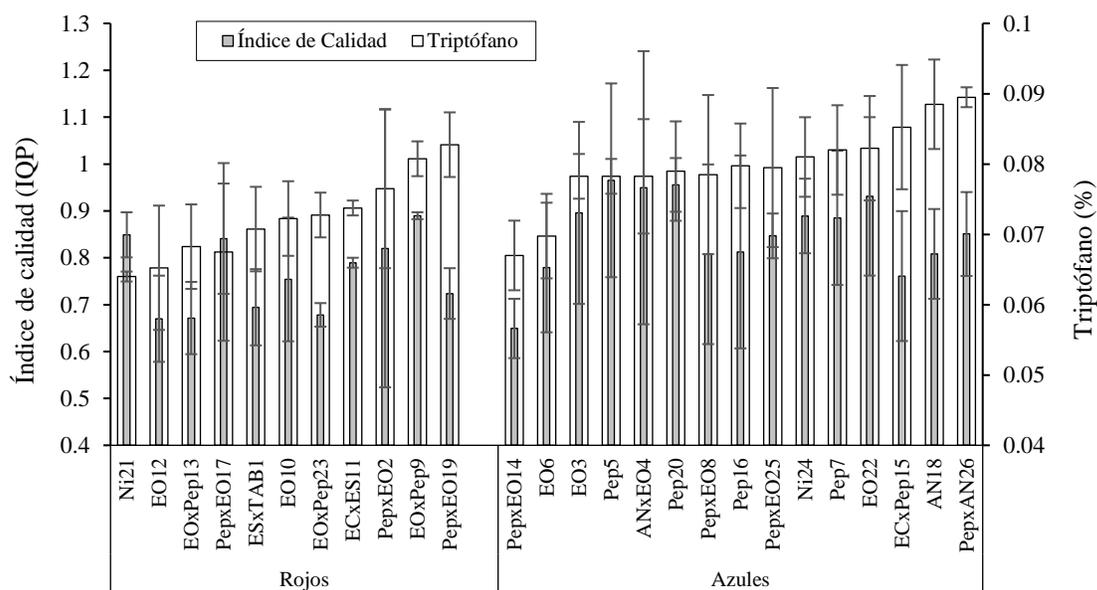


Figura 6. Triptófano e índice de calidad de la proteína en poblaciones de maíces nativos pigmentados del oriente del estado de Morelos, México.

Las poblaciones con menos triptófano fueron ‘Ni21’, ‘ECxES11’, ‘ESxTAB1’, ‘EO10’ (rojos) y ‘PepxEO14’ (azul), esta variabilidad muestra que el triptófano es un componente que puede verse modificado por la información genética de cada población (Krivanek *et al.*, 2007), pero también por las condiciones ambientales y el manejo agronómico (Vázquez *et al.*, 2012). El contenido de triptófano de las poblaciones del oriente del estado de Morelos fue superior a los informado por Vidal *et al.* (2008) (0.048 y 0.051%) y menores a los resultados de Martínez *et al.* (2009) quienes encontraron un intervalo desde 0.053 hasta 0.097%.

Se ha informado que los contenidos de triptófano y lisina en maíz están altamente correlacionados (>0.9), por lo que, con la cuantificación de triptófano, es posible calificar la calidad de la proteína como un indicador del su valor nutritivo (Nurit *et al.*, 2009). Adicionalmente uno de los criterios más usados para identificar un maíz con calidad de proteína, es el índice de calidad de la proteína (IQP). En los MNP el IQP presentó valores superiores al 0.8 señalado como límite para considerar a un maíz con calidad de proteína (Twumasi-Afiyie *et al.*, 2016), por otra parte, Martínez *et al.* (2009) propusieron que la selección de maíces con atributos nutritivos debe incluir los valores de proteína, triptófano e IQP de: 8%, 0.075% y 0.8% respectivamente.

En el ciclo 2014 se obtuvo un mayor contenido de triptófano (Cuadro 3); no obstante, en 2015 las poblaciones ‘AN18’ (\bar{x} = 0.093%), ‘ECxPep15’ (\bar{x} = 0.092%) y ‘PepxAN26’ (\bar{x} = 0.091%) fueron las de más TRI. En la evaluación general (los dos ciclos de estudio), muestra que 90% de las poblaciones de MNP tuvieron contenido de proteína por arriba de 8%. En el caso de triptófano, 15 poblaciones estuvieron por arriba del 0.075% (Figura 6).

Finalmente, 61% (15/26) de las poblaciones registró un IQP \geq 0.8 (Figura 6). De acuerdo a estas tres variables sobresalieron las poblaciones; ‘Pep5’, ‘Pep20’, ‘EO22’ y ‘ANxE04’ todos de color azul (Cuadro 4). Se caracterizaron por tener granos de endospermo muy suave, de gran tamaño, con mayor contenido de aceite y triptófano y menos proteína (Cuadro 4) que el de un maíz dentado comercial (\bar{x} = 9%) (Watson, 2003).

Cuadro 4. Calidad nutricional y características fisicoquímicas de poblaciones sobresalientes de maíces nativos pigmentados del oriente de Morelos.

Población	Índice de flotación ^Ω	Peso de 100 granos	Aceite [£]	Proteína [£]	Triptófano ^{£, ¥}	Índice de calidad de proteína ^π
		(g)	(%)			
ANxE04	91 MS	52.6	4.94	8.52	0.078	0.95
EO22	87 MS	48	4.78	8.90	0.082	0.93
Pep5	93 MS	42.7	4.71	8.54	0.078	0.97
Pep20	89 MS	44.8	4.78	8.31	0.079	0.96

^ΩNMX-032 (2002); MS= muy suave; [£]= valores informados a base seca; [¥]= en muestra de grano entero; ^π= IQP= [(triptófano%/proteína %)100].

Así los maíces con mejor calidad de proteína no fueron los de mayor proteína, tampoco los de más triptófano, sino los que equilibran los valores de estas tres variables (Cuadro 4). Los MNP pueden ser aprovechados para mejorar las condiciones nutricionales de las familias rurales en condiciones de desnutrición. La diversidad identificada puede ser explicada por los cambios que las razas locales han experimentado a través del tiempo, derivado del entrecruzamiento con otras razas, como resultado de la selección de los productores, la cual ha estado dirigida principalmente a mantener el color y el sabor especial que presentan este tipo de maíces con respecto a las variedades mejoradas e híbridos comerciales. Los MNP del oriente del estado de Morelos, son una buena opción para producirlos bajo condiciones variables del clima y para elaborar alimentos con valor agregado y pueden contribuir a enfrentar los problemas de nutrición y salud.

Conclusiones

En los maíces nativos pigmentados de Morelos predominaron las razas puras de color azul: Elotes Occidentales y Pepitilla, combinados entre ellos o con otras razas como: Ancho, Elotes Cónicos, Elotes de Sinaloa, Tabloncillo y dos no identificados. Estas poblaciones fueron de reducida densidad, con endospermo suave o muy suave, grano grande, con alto porcentaje de germen y aceite y bajo pericarpio y proteína. Los MNP azules tuvieron más antocianinas que los rojos, sobresaliendo la población ‘Pep16’ azul por su elevado contenido de este pigmento.

Se identificaron 16 poblaciones con buena calidad de proteína (IQP > 0.8) y elevado contenido de triptófano (> 0.075%), que pueden ser usadas para mejorar la nutrición y salud de los consumidores. El ciclo de cultivo asociado a las variaciones climatológicas, afectaron las características fisicoquímicas y el índice de calidad de los maíces nativos pigmentados. En el año 2015, la sequía extrema y el incremento de la temperatura, aumentaron la suavidad del grano y la proporción del germen, pero redujeron el tamaño del grano, el contenido de triptófano y el índice de la calidad de la proteína.

Lo que evidenció que, ante un posible escenario de aumento de temperatura y escasez de lluvia por el cambio climático, estos maíces nativos pigmentados pueden prosperar.

Literatura citada

- Agama, A. E.; Salina, M. y Pacheco, V. G. y Bello, P. L. A. 2011. Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(3):317-329.
- Ángeles-Gaspar, E.; Ortiz-Torres, E.; López, P. A. y López-Romero, G. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):287-296.
- AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemist. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist International. Arlington, TX, USA. 684 p. [https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac methods.1.1990.pdf](https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac%20methods.1.1990.pdf).
- Bänziger, M.; Edmeades, G. O.; Beck, D. y Bellon, M. 2012. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica. El Batán, Estado de México, DF. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 61 p.
- Barkin, D. y Suárez, B. 1995. El fin de la autosuficiencia alimentaria. (Ed). Océano. México, DF. 205 p.
- Castañeda-Sánchez, A. 2011. Propiedades nutricionales y antioxidantes del maíz azul (*Zea mays* L.). *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos.* 5(2):75-83.
- CIMMYT. 2014. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Mejoramiento de maíces nativos. *Enlace* 22(6):11-15.
- CONAGUA. 2017. Comisión Nacional del Agua. Normales Climatológicas por Estado. Morelos: Temoac y Ayala. Información Climatológica. <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica>.
- Espinosa-Trujillo, E.; Mendoza-Castillo, M.; Castillo-González, F.; Ortiz-Cereceres, J.; Delgado-Alvarado, A. y Carrillo-Salazar, A. 2009. Acumulación de Antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en las poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(4):303-309.
- Galicia-Flores, L. A.; Islas-Caballero, C.; Rosales-Nolazco, A. y Palacios-Rojas, N. 2012. Método económico y eficiente para la cuantificación colorimétrica de Lisina en grano de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 34(4):285-289.
- Gaytán-Martínez, M.; Reyes-Vega, M. D.; Figueroa-Cárdenas, J. D.; Morales-Sánchez, E. y Rincón-Sánchez, F. 2013. Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria con base en su valor agregado. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(3A):339-346.

- Gómez-Montiel, N. O.; Coutiño-Estrada, B. y Trujillo-Campos, A. 2015. Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México, segunda etapa 2008-2009. INIFAP. México DF. 22 p.
- Guzmán-Maldonado, S. H.; Vázquez-Carrillo, M. G.; Aguirre-Gómez, J. A. y Serrano-Fujarte, I. 2015. Contenido de ácidos grasos, compuestos fenólicos y claidad industrial de maíces nativos de Guanajuato. *Rev. Fitotec. Mex.* 38(2):213-222.
- Halbwirth, H.; Martens-Wienand, U.; Forkmann, G. and Stich, K. 2003. Biochemical formation of anthocyanins in silk tissue of *Zea mays*. *Plant Sci.* 164:489-495.
- Hellin, J.; Keleman, A.; López, D.; Donnet, L. y Flores, D. 2013. La importancia de los nichos de mercado. Un estudio de caso del maíz azul y del maíz para pozole en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(6):315-328.
- Jin-Seng, K.; Byung-Hoi, L.; So-Hee, K.; Kwang-Hoon, O. and Kwang-Yun, C. 2006. Responses to environmental and chemical signals for anthocyanin biosynthesis in non-chlorophyllous corn (*Zea mays* L.) leaf. *J. Plant Biol.* 49(1):16-25. doi:<https://doi.org/10.1007/BF03030784>.
- Krivanek, A. F.; De Groote, H.; Gunaratna, N. S.; Diallo, A. O. and Friesen, D. 2007. Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. *Afr. J. Biotechnol.* 6(4):312-324. Obtenido de <http://www.academicjournals.org/AJB>.
- López, M. L.; Oliart, R. R.; Valerio, A. G.; Chen, H. L.; Parkin, K. and García, H. 2009. Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT - Food Sci. Tech.* 42(6):1187-1192.
- López-Torres, B. J.; Rendón-Medel, R. y Camacho-Villa, T. C. 2016. La comercialización de los maíces de especialidad en México: condiciones actuales y perspectivas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 15:3075-3088.
- Martínez, M.; Palacios, N. y Ortíz, R. 2009. Caracterización nutricional del grano de 50 acciones de maíz cubano. *Cultivos Tropicales.* 30(2):80-88.
- Narváez-González, E. D.; Figueroa-Cárdenas, J. D.; Taba, S.; Cataño-Tostado, E. y Martínez-Peniche, R. A. 2007. Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(3):269-277.
- Nurit, E.; Tiessen, A.; Pixley, K. and Palacios Rojas, N. 2009. A reliable and inexpensive colorimetric method for determining protein-bound tryptophan in maize kernels. *J. Agric. Food Chem.* 57(16):7233-7238.
- Revilla, P. y Ordás, B. 2016. El maíz dulce: una alternativa a diversificar en el mercado. *Agricultura Moderna: Conocimiento, Innovación y Productividad.* <https://www.agmoderna.com/2018/30/10/el-ma%C3%ADz-dulce-una-alternativa-a-diversificar-en-el-mercado/>.
- Salinas-Moreno, Y. y Vázquez-Carrillo, M. G. 2006. Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Folleto técnico núm. 24. 98 p.
- Salinas-Moreno, Y., Pérez-Alonso, J. J., Vázquez-Carrillo, G.; Aragón-Cuevas, F. y Velázquez-Cardelas, G. A. 2012a. Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas Chalqueño, Elote Cónicos y Bolita. *Agrociencia.* 46:693-706.
- Salinas-Moreno, Y.; Aragón-Cuevas, E.; Ybarra-Moncada, C.; Aguilar-Villarreal, J.; Altunar-López, B. y Sosa-Montes, E. 2013b. Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones trópicas y subtropicales de Oaxaca. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(1):23-31.

- Salinas-Moreno, Y.; Cruz, C. F.; Días, O. S. y Castillo, G. F. 2012b. Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(1):33-41.
- Salinas-Moreno, Y.; García-Salinas, C.; Coutiño-Estrada, B. y Vidal-Martínez, V. A. 2013a. Variabilidad en tipo y contenido de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(3):285-294.
- Salinas-Moreno, Y.; Soria-Ruíz, J. y Espinosa T, E. 2010. Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Texcoco, México. Folleto técnico núm. 42. 54 p.
- SIAP-SAGARPA. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (Cierre de la producción agrícola por cultivo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx/agricola-siap-gb/icultivo/index.jsp>.
- Tanaka, A. and Yamaguchi, J. 1972. Dry matter production, yield components and grain yield of the maize plant. *J. Faculty of Agriculture, Japan.* 57(1):71-132. <http://hdl.handle.net/2115/12869>.
- Twumasi-Afriyie, S.; Palacios-Rojas, N.; Friesen, D.; Teklewold, A.; Wegary, D.; De Groot, H. and Prasanna, B. M. 2016. Guidelines for the quality control of Quality Protein Maize (QPM) seed and grain. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (Ed.) Addis Ababa, Ethiopia. 40 p.
- Vázquez-Carrillo, M. G.; Mejía-Andrade, H.; Tut-Couoch, C. y Gómez-Montiel, N. 2012. Características de granos y tortillas de maíces de alta calidad proteínica desarrolladas para los Valles Altos Centrales de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(1):23-31.
- Vázquez-Carrillo, M. G.; Rojas-Martínez, I.; Santiago-Ramos, D.; Arellano-Vázquez, J.; Espinosa-Calderón, A.; García-Pérez, M. and Crossa, J. 2016. Stability analysis of yield and grain quality traits for the nixtamalization process of maize genotypes cultivated in the Central High Valleys of Mexico. *Crop Sci.* 56(6):3090-3099. doi:10.2135/cropsci2015.09.0558.
- Vázquez-Carrillo, M.; Pérez-Camarillo, J.; Hernández-Casillas, J. M.; Marrufo-Díaz, M. y MartínezRuiz, E. 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces del antiplano y valle del Mezquital, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):49-56.
- Vidal, M. V. A.; Vázquez-Carrillo, M. G.; Coutiño, E. B.; Ortega, C. A.; Ramírez, D. J. L.; Valdivia, B. R. y Cota, A. O. 2008. Calidad proteínica en colectas de maíces criollos de la Sierra de Nayarit, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(3):15-21.
- Watson, S. A. 2003. Description, development, structure, and composition of the corn kernel. Chapter 3, 12 *In: Corn: chemistry and technology.* White, P. J. and Johnson, L. A. (Eds.). Second edition. Paul Minnesota, USA: Association of Cereal Chemists, Inc. 82 p.
- Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M.; Hernández X, E. y Mangelsdorf, P. C. 1951. Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. México D.F. Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAGAR). Fundación Rockefeller. 239 p.
- Zinselmeier, C.; Lauer, M. J. and Boyer, J. S. 1995. Reversing drought-induced losses in grain yield: sucrose maintains embryo growth in maize. *Crop Sci.* 35:1390-1400.