



CARACTERIZACIÓN DEL GRANO Y TORTILLA DE RAZAS DE MAÍZ NATIVAS DEL ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO

CHARACTERIZATION OF THE GRAIN AND TORTILLA OF MAIZE RACES NATIVE TO THE STATE OF PUEBLA, MEXICO

Fernando López-Morales^{1,4}, María Gricelda Vázquez-Carrillo^{2*}, Agustín Aragón-García¹, Betzabeth Cecilia Pérez-Torres¹, María de la Luz Marrufo-Díaz², Gregorio Hernández-Salinas³ y Armando Ibáñez-Martínez⁴

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), EcoCampus Valsequillo, Instituto de Ciencias, Centro de Agroecología, Manejo Sostenible de Agroecosistemas, San Pedro Zacachimalpa, Puebla, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. ³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Extensión Tezonapa, Tepetitlanapa, Zongolica, Veracruz, México. ⁴BUAP, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México.

*Autor de correspondencia (gricelda_vazquez@yahoo.com)

RESUMEN

En el estado de Puebla, México se han identificado 14 razas nativas de maíz; no obstante, las investigaciones sobre su caracterización del grano y la tortilla son limitadas en esta entidad; por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar las características físicas y viscoamilográficas del grano y la calidad de la tortilla. Las muestras de maíz fueron colectadas en ocho municipios de Puebla, México entre noviembre y diciembre de 2020, representadas por 10 mazorcas típicas. Las razas se evaluaron en el Laboratorio de Calidad de Maíz del Campo Experimental Valle de México del INIFAP, se usó un diseño completamente al azar con dos repeticiones. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre las 14 razas de maíz para las características físicas y viscosidad del grano, y para la calidad de las tortillas almacenadas durante 24 y 48 horas. La raza Elotes Cónicos (azul) requirió la menor temperatura (72.9 °C) para iniciar la gelatinización, la mayor viscosidad (3909 cP), y sus tortillas almacenadas requirieron 428 g, para romperse, mientras que las de Cacahuacintle fueron las más suaves (261 g); esta característica tuvo relación con mayor temperatura (75.4 °C) y menor viscosidad (2528 cP) de sus almidones. Durante la nixtamalización las razas Elotes Cónicos y Arrocillo Amarillo tuvieron pérdidas mínimas de materia seca (2.12 y 2.69 %, respectivamente) y una mayor retención de pericarpio (70 y 61.1 %, respectivamente), lo que se asoció con mayor rendimiento de tortillas (1.58 kg kg⁻¹). Con Cacahuacintle y Arrocillo Blanco se produjeron tortillas de textura suave. Las razas de maíz nativo mostraron amplia diversidad en las características del grano y la tortilla, lo cual es útil para iniciar un programa de mejoramiento genético por selección debido a su potencial para elaborar alimentos.

Palabras clave: *Zea mays* L., características físicas, color de grano, nixtamalización, viscosidad.

SUMMARY

In the state of Puebla, Mexico, 14 native races of maize have been identified; however, research on their grain and tortilla characterization is limited in this state; therefore, the objective of this study was to evaluate the physical and viscoamylographic characteristics of the grain and the quality of tortilla. Maize samples were collected in eight municipalities of Puebla, México between November and December 2020, represented by 10 typical ears. The races were evaluated in the Maize Quality Laboratory of the Valle de Mexico Experiment Station of INIFAP, a completely randomized

design with two replications was used. The analysis of variance showed significant differences ($P \leq 0.01$) between the 14 maize races for the physical characteristics and viscosity of the grain, and for quality of tortillas stored for 24 and 48 hours. The Elotes Cónicos race (blue) required the lowest temperature (72.9 °C) to start gelatinization, the highest viscosity (3909 cP), and stored tortillas required 428 g, to break, while those of Cacahuacintle were the softest (261 g); this characteristic was related to higher temperature (75.4 °C) and lower viscosity (2528 cP) of its starches. During nixtamalization the Elotes Cónicos and Arrocillo Amarillo races had minimal losses of dry matter (2.12 and 2.69 %, respectively) and a higher retention of pericarp (70 and 61.1 %, respectively), which was associated with highest yield of tortillas (1.58 kg kg⁻¹). Soft-textured tortillas were produced with Cacahuacintle and Arrocillo Blanco. Native races of maize showed wide diversity in grain and tortilla characteristics, which is useful to start a program of maize breeding by selection because of their potential to prepare food.

Index words: *Zea mays* L., grain color, nixtamalization, physical characteristics, viscosity.

INTRODUCCIÓN

En México, la diversidad de climas y la selección que los agricultores realizan en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) desde tiempos ancestrales dieron origen a 59 razas nativas de maíz (Caballero-García *et al.*, 2019; Kato *et al.*, 2009); sin embargo, se estima la existencia de hasta 65 razas, lo cual representaría el 29 % del total de razas del continente americano (CONABIO, 2021). Una raza es un conjunto de variedades relativamente similares, adaptadas a una región ecológica (Wellhausen *et al.*, 1951). Otro evento relacionado con la diversidad de las razas de maíz y con la riqueza culinaria fue el proceso de domesticación y nixtamalización del maíz (Fernández *et al.*, 2013). En México se conocen 605 recetas a base de maíz, en la mitad de ellas se incluye el proceso de nixtamalización como primer paso, destacándose las tortillas como el alimento principal de los mexicanos (Alarcón *et al.*, 2001), cuyo consumo *per cápita* anual es de 79.5 y 56.7 kg en el

medio rural y urbano, respectivamente (CONEVAL, 2018).

En el estado de Puebla, la superficie total sembrada con maíz en 2022 fue de 620,452 hectáreas (SIAP, 2023), 90 % fue sembrada con maíces nativos para el autoconsumo, de donde se obtiene semilla de maíz para el siguiente ciclo agrícola (Muñoz, 2005). En Puebla se cultivan alrededor de 14 razas con sus respectivas variedades (Sierra-Macías *et al.*, 2016), diversidad que se atribuye a las condiciones edafoclimáticas, geográficas y antropogénicas que han favorecido la adaptación de las razas a cada nicho ecológico donde predominan (Muñoz, 2005). De acuerdo con Gil *et al.* (2004), los maíces nativos igualan o superan en rendimiento de grano a las variedades mejoradas que se comercializan en cada región del estado de Puebla; así, en las micro-regiones de Guadalupe Victoria y Tetela, donde se siembran materiales nativos, el rendimiento del grano incrementó dos y cinco veces, respectivamente; además, son preferidos para la preparación de diversos alimentos (Muñoz, 2005).

En el estado de Puebla existen 994 mil pequeños productores y 28.4 mil comunidades de autoconsumo, los cuales enfrentan condiciones de producción cada vez más insostenibles (Flores-Cruz *et al.*, 2014), lo que provoca el abandono del cultivo de maíces nativos, obligando a la búsqueda de alternativas, una de las cuales es conocer su calidad de grano, masa y tortilla para ponderar sus atributos e incrementar su aprovechamiento en programas de mejoramiento genético o en la elaboración de alimentos (Rivera *et al.*, 2021). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar las características físicas y el perfil de viscosidad de los granos, así como la calidad nixtamalero-tortillera de 14 razas de maíz nativas del estado de Puebla, México bajo el supuesto de que esta información será útil para la industria de la masa y tortilla, los programas de mejoramiento genético y para elaborar estrategias de uso, conservación y aprovechamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Germoplasma evaluado

Se colectaron 14 razas de maíz, representadas por 10 mazorcas típicas para la identificación por su tamaño, forma, número de hileras, color y tipo de grano, durante los meses de noviembre y diciembre de 2020, en ocho municipios del Estado de Puebla. La identificación de la raza a la que pertenecen los genotipos colectados fue realizada de manera visual por un especialista (Hernández-Casillas; Com. Pers.)¹, y se complementó con bibliografía. El Cuadro

¹Hernández-Casillas J. M. Especialista en Genética, Responsable del Banco de Germoplasma del INIFAP. Campo Experimental Valle de México. Coatlínchán, Mpio. Texcoco, Estado de México. Correo electrónico: hernandez.juan@inifap.gob.mx

1 presenta el nombre de la raza, el acrónimo con el que se identifica y la ubicación geográfica de procedencia. Una vez recolectadas las mazorcas, se colocaron a temperatura ambiente para secado, cuando tuvieron 13 % de humedad del grano se desgranaron manualmente y envasaron en bolsas de papel; posteriormente, se trasladaron y evaluaron en el Laboratorio de Calidad de Maíz del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del INIFAP.

Características físicas y viscoamilográficas de los granos

Se evaluó el índice de flotación (IF) como medida indirecta de la dureza del grano, como se indica en la norma NMX-FF-034/1 (SE, 2020a), misma que designa el tiempo de cocción del grano para el nixtamal; así, los maíces muy duros (IF 0-12) recibieron 45 min de cocción, los duros (IF 13-37) 40 min, los intermedios (IF 38-62) 35 min, mientras que los suaves (IF 63-87) tuvieron 30 min, y los granos muy suaves (IF 88-100) sólo recibieron 25 min de cocción; estos criterios son utilizados por las industrias de la masa y la tortilla, y harina nixtamalizada; así mismo, el peso hectolítrico (PH) y los porcentajes de pedicelo (PIG), pericarpio (PEG), germen (GEG), endospermo harinoso y endospermo corneo se cuantificaron siguiendo las metodologías descritas en la NMX-FF-034/1 (SE, 2020a). El tamaño del grano se midió de manera indirecta con el peso de 100 granos (PCG), de acuerdo con la NMX-FF-034 (SE, 2020b). El perfil viscoamilográfico se realizó con grano molido, utilizando un viscoamilógrafo (Rapid Visco Analyser, Newport Scientific®, Warriewood, New South Wales, Australia) siguiendo el método descrito por Vázquez-Carrillo y Santiago-Ramos (2019).

Características de la tortilla

La calidad de las tortillas se evaluó siguiendo el método tradicional de nixtamalización (grano-masa-tortilla) descrito por Vázquez-Carrillo *et al.* (2016). En el licor de cocción (nejayote) se evaluó la pérdida de materia seca (PMS); en el nixtamal, el pericarpio retenido (PR) y la humedad (HN) (SE, 2020a); en tortillas almacenadas se evaluó la humedad. Las tortillas ya frías se empacaron en bolsas de plástico con sellado Ziploc®, se almacenaron a 4 °C y permanecieron bajo esas condiciones hasta su evaluación a las 24 y 48 horas. El rendimiento se evaluó en tortillas frías recién elaboradas y se expresó en kg de tortilla por kg de grano procesado. La fuerza requerida para romper las tortillas almacenadas, a las 24 y 48 horas, se midió con un texturómetro (Brookfield® Modelo CT3, Middleboro, Massachusetts, EUA) utilizando un punzón con una esfera de 10 mm de diámetro, los resultados se expresaron en gramos-fuerza (g_f) (López-Morales *et al.*, 2021). El color en grano y tortillas (reflectancia) se

midió en un colorímetro (Agtron 500-A, Agron Enterprises, Saskatoon, Canada) de acuerdo con el método descrito por Salinas y Vázquez (2006).

Análisis estadístico

A las variables físicas, viscoamilográficas y de calidad de tortilla se les realizó análisis de varianza, a las que sus cuadrados medios resultaron significativos, se le sometió a la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). También se realizó análisis de correlaciones de Pearson. Se utilizó el software SAS® (Statistical Analysis System) versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre las 14 razas de maíz en todas las variables estudiadas (Cuadros 2, 3 y 4), debido a que los maíces nativos analizados presentaron una amplitud de tipos de endospermo, desde muy duro hasta muy suave, de tamaños pequeño hasta muy grande, lo cual coincide con lo informado por Salinas *et al.* (2013), quienes realizaron el estudio con razas semejantes de Oaxaca. Los colores de grano encontrados fueron crema, blanco, amarillo y azul (Cuadro 2), lo que denota una amplia diversidad genética entre las razas colectadas en el Estado de Puebla (Sierra-Macías *et al.*, 2016), de ahí que los productores asignen

usos diferentes; por ejemplo, las razas Cacahuacintle (CAC) y Arrocillo Amarillo (AA) no se destinan para elaborar tortillas porque CAC tiene demanda como elote y para elaborar pozole, cuyo precio en el mercado puede ser hasta cinco veces mayor que el de los maíces dentados (Arellano *et al.*, 2010); AA tiene vocación para elaborar palomitas. En estas dos razas, aunque existen usos específicos, es importante explorar otras características como las de tortilla.

Características físicas y viscoamilográficas de los granos

La dureza del grano de maíz es importante en el proceso de nixtamalización porque determina el tiempo de cocción e impacta en la calidad de las tortillas (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2016). La raza Arrocillo Blanco (AB) presentó granos muy duros (IF 0-12 granos flotantes), PH promedio mayor (77.1 kg hL^{-1}) y granos pequeños (PCG = 29.8 g); las razas Arrocillo Amarillo (AA) y Bolita (BOL) tuvieron granos de endospermo duro (IF 13-37) (Cuadro 2). Las marcadas diferencias en el PH y el PCG entre AA y BOL se deben al mayor tamaño y a la forma globosa de los granos de la raza BOL, lo que reduce el valor del PH; resultados semejantes fueron reportados por Vázquez *et al.* (2003) para esta raza.

Las razas Chalqueño (CHA), Tablilla de Ocho (TAB 8), Naltel de Altura (NT) y Tuxpeño (TUX) fueron de dureza

Cuadro 1. Procedencia e identificación de las 14 razas de maíz colectadas en el Estado de Puebla, México (2020).

Raza	Identificación	Municipio	Localidad	Altitud (msnm)	Color del grano
Arrocillo Blanco	AB	Zaragoza	San José Buenavista	2413	Blanco
Arrocillo Amarillo	AA	Zaragoza	San José Buenavista	2413	Amarillo
Bolita	BOL	Huaquechula	Huilulco	1622	Blanco
Chalqueño	CHA	San Pedro Cholula	San Agustín Calvario	2170	Blanco
Tablilla de Ocho	TAB 8	Chignahuapan	Tenextla	2426	Blanco
Naltel de Altura	NT	Chignahuapan	Tenextla	2282	Blanco
Tuxpeño	TUX	Izúcar de Matamoros	San Juan Raboso	1280	Crema
Pepitilla	PEP	Huaquechula	Cacaloxochit	1622	Blanco
Celaya	CEL	San Salvador El Seco	Santa María Coatepec	2397	Crema
Cónico	CON	Chignahuapan	Ciénega Larga	2619	Blanco
Coscomatepec	COSC	San Martín Texmelucan	San Cristóbal	2212	Blanco
Ancho	AN	Chignahuapan	Ixtlahuaca	2512	Blanco
Elotes Cónicos	EC	Ciudad Serdán	Jesús Nazareno	2650	Azul
Cacahuacintle	CAC	Ciudad Serdán	Jesús Nazareno	2650	Blanco

intermedia (IF 38-62), peso hectolítrico entre 71 y 75 kg hL^{-1} , granos grandes de color crema, con valores de reflectancia entre 50 y 65 %. Las razas Celaya (CEL) y Pepitilla (PEP) presentaron endospermo suave (IF 63-87), menor valor en PH y granos de tamaño mediano y grande, respectivamente. Las razas Cónico (CON), Coscomatepec (COSC), Ancho (AN), Elotes Cónicos (EC) y CAC tuvieron endospermo muy suave (IF 88-100), las tres últimas razas fueron las de PH menor y tamaño de grano mayor (Cuadro 2); resultados parecidos fueron reportados por Vázquez *et al.* (2010) para las mismas razas de maíz sembradas en los Estados de México e Hidalgo. La excepción fue AB que en el trabajo de Vázquez *et al.* (2010) presentó endospermo suave, mientras que en el presente estudio registró textura muy dura, esta diferencia puede deberse al intercambio de polen con otras plantas de maíz ajenas a la raza (Kato-Yamakake, 2004).

Los valores obtenidos de los componentes estructurales de los granos para todas las razas estudiadas estuvieron dentro de lo registrado para maíces nativos de la Sierra Sur de Oaxaca (Aragón *et al.*, 2012). El PIG estuvo entre 1.27 y 2.58 % (Cuadro 2), mientras que la raza CAC destacó por su proporción menor de PIG (1.27 %) y pericarpio (3.99 %); estas características son demandadas para los maíces de especialidad consumidos como elote (maíz tierno) o maíz floreado para pozole (Vázquez y Santiago, 2013). Las razas CEL, PEP y AB registraron las proporciones mayores de PIG con promedios de 2.58, 2.35 y 2.07 %, respectivamente; resultaron ligeramente superiores a lo reportado por Vázquez *et al.* (2003; 2010) para las mismas razas.

Las proporciones mayores de PEG se presentaron en las razas PEP (5.91 %), TUX (5.88 %), COSC (5.64 %) y AN (5.55 %), resultados similares a los observados por Vázquez *et al.* (2010) y Gaytán-Martínez *et al.* (2013), con intervalo entre 5.57 y 6.53 %. Las razas nativas analizadas en el presente estudio tuvieron proporciones de GEG entre 9.1 y 12.0 %, el valor mayor fue para PEP y el menor para TAB 8 (Cuadro 2), resultado que concuerda con lo encontrado por Figueroa *et al.* (2013), quienes reportan valores entre 8.0 y 12.87 %. El PCG correlacionó negativamente, pero de forma significativa con PIG ($r = -0.60$, $P \leq 0.01$) y PEG ($r = -0.48$, $P \leq 0.01$), mientras que los maíces con mayor proporción de PIG, también fueron los de mayor PEG ($r = 0.64$, $P \leq 0.01$).

Respecto al endospermo, la proporción mayor de endospermo córneo de la raza AA ($\bar{x} = 60.7$ %) se asocia con su capacidad de reventado; por el contrario, la raza CAC registró la proporción mayor de endospermo harinoso ($\bar{x} = 71.64$ %), lo cual explica la suavidad del grano y hace que el consumidor lo prefiera como elote o grano floreado (Figueroa *et al.*, 2013; Vázquez y Santiago, 2013; Vázquez-Carrillo *et al.*, 2016). El endospermo harinoso correlacionó

significativamente ($P \leq 0.01$) con las variables IF ($r = 0.84$), PH ($r = -0.93$) y PCG ($r = 0.69$), mientras que el endospermo córneo se asoció significativamente con IF ($r = -0.85$), PH ($r = 0.94$), PIG ($r = -0.65$) y endospermo harinoso ($r = -0.99$).

Se puede inferir que los usos están influidos por el color de los granos (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2015). Las razas AN y CAC tuvieron en promedio 78 y 77 % de reflectancia, esto indica que son maíces blancos; CAC presentó un valor similar a lo reportado por Hernández *et al.* (2014), quienes también colectaron en el estado de Puebla y reportaron un valor promedio de 83.8 % de reflectancia. La raza EC, con pigmento azul en la capa de aleurona, presentó el valor de reflectancia menor (12 %), seguido por la raza AA, cuyo pigmento amarillo naranja se presenta en el endospermo córneo, con valor de reflectancia de 24.5 % (Cuadro 2), lo cual se relaciona con su color (Salinas *et al.*, 2010).

Las variables del perfil de viscosidad presentaron diferencias significativas entre las 14 razas de maíz (Cuadro 3, Figura 1). La raza EC registró la temperatura de pastificado menor ($TP = 72.9$ °C), atribuida a la suavidad de su endospermo; asimismo, presentó los valores mayores de viscosidad máxima (> 3900 cP), absorción de agua y rendimiento de tortilla; resultados semejantes fueron reportados por Aragón *et al.* (2012). Por otra parte, el almidón de la raza NT, de endospermo intermedio, estuvo entre los maíces con viscosidad máxima mayor ($V_{\text{máx}} = 2820.9$ cP) y final ($V_{\text{final}} = 4305.0$ cP), valores que fueron diferentes del resto de los genotipos de maíz (Cuadro 3) y superiores a los reportados por Aragón *et al.* (2012) para esta misma raza recolectada en el sur de Oaxaca, con valores de 1935 y 4148 cP, respectivamente. Estas diferencias se atribuyen a la pureza de la raza NT y a las condiciones agroclimáticas donde se cultivaron. Las razas AN y CAC tuvieron valores de $V_{\text{máx}}$ estadísticamente iguales, con promedio de 2540 cP, valor que se considera menor en comparación con EC, ya que sus granos son de endospermo suave y muy suave (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2016); sin embargo, Narváez-González *et al.* (2006) mencionaron que los genotipos de maíz con endospermo suave presentan viscosidades mayores debido a que sus gránulos de almidón son más grandes y menos compactados, lo que facilita la difusión del agua.

La raza AB tuvo valores de viscosidad $V_{\text{máx}}$ de 1930.7 cP y V_{final} de 2876.9 cP, menores 49.3 y 56.8 %, respectivamente y estadísticamente diferentes a los de su homólogo de color amarillo AA (Cuadro 3), lo cual, para esta investigación se atribuye a la dureza del grano, ya que Aragón *et al.* (2012) encontraron esta raza con valor próximo de $V_{\text{máx}}$ (3090 cP). Las razas con dureza intermedia mostraron una menor $V_{\text{máx}}$ (< 2369 cP) con respecto a las razas de grano suave (> 2400 cP). Todas

Cuadro 2. Características físicas de grano de razas de maíces nativos colectados en el estado de Puebla, México (2020).

Raza	Índice de flotación	PH (kg hL ⁻¹)	PCG (g)	PIG	PEG	GEG	HAR	COR	REF
				(%)					
Cuadrados medios	2009.3**	41.6**	204.8**	0.2**	0.6 **	1.4 **	414.8 **	397.7 **	630.5 **
Arrocillo Blanco	8.0 h	77.1 a	29.8	2.0c	4.6 cde	11.1 bc	23.6 k	58.5b	51.5 d
ArrocilloAmarillo	25.0 g	76.9 a	35.5 h	1.6ef	4.6 cde	11.1 bc	21.9 l	60.6a	24.5 e
Bolita	31.0 fg	72.8 cd	43.7 fg	1.9cd	5.3 abc	11.1 bc	39.0 g	42.4e	64.0 b
Chalqueño	43.0 ef	74.0 bc	52.4 cd	1.4fg	4.9 bcd	11.5 ab	34.2 i	47.8d	51.5 d
Tablilla de Ocho	45.0 de	74.7 b	56.5 bc	1.8de	4.9 bcd	9.1 f	36.0 h	48.0d	52.0 d
Naltel de Altura	54.0 de	74.4 b	47.4 ef	1.9cd	5.2 abc	10.6 cd	26.3 j	55.8c	50.5 d
Tuxpeño	56.0 d	70.9 e	42.1 g	1.9cd	5.8 ab	11.6 ab	33.6 i	47.0d	65.0 b
Pepitilla	82.0 c	68.3 f	34.4 h	2.3b	5.9 a	12.0 a	42.2 f	37.5f	55.5 c
Celaya	84.0 bc	69.1 f	46.6 ef	2.5a	5.3 abc	10.0 de	49.0 d	32.9 h	62.5 b
Cónico	89.0 abc	71.8 de	48.9 de	1.9 cd	5.3 abc	10.2 de	43.4 f	39.0 f	58.5 c
Coscomatepec	96.0 ab	71.9 de	44.2 fg	1.8 de	5.6 ab	11.4 ab	46.0 e	35.0 g	58.0 c
Ancho	100.0 a	64.6 g	46.3 efg	1.8 cd	5.5 abc	9.8 ef	57.3 c	25.4 i	78.0 a
Elotes Cónicos	100.0 a	64.4 g	59.3 b	1.3 g	4.2 de	10.1 de	60.8 b	23.4 j	12.0 f
Cacahuacintle	100.0 a	63.0 h	67.7 a	1.2 g	3.9 e	11.6 ab	71.6 a	11.4 k	77.0 a
DSH (0.05)	12.5	1.4	4.2	0.2	0.9	0.7	1.3	1.8	3.1

Medias con distinta letra en las columnas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). **: significancia $P \leq 0.01$, PH: peso hectolítico, PCG: peso de cien granos, PIG: pedicelo de grano, PEG: pericarpio de grano, GEG: germen de grano, HAR: almidón harinoso, COR: almidón córneo, REF: reflectancia de grano. DSH: diferencia significativa honesta.

las propiedades de pastificado fueron iguales entre las razas de dureza intermedia (Cuadro 3), lo que indica que el almidón tiene los atributos (1403-6222 cP) para la producción de tortillas, como lo reporta Vázquez-Carrillo y Santiago-Ramos (2019). Las razas TAB 8 y PEP registraron los menores picos de V_{\max} (< 1800 cP), así como la mayor TP (> 76 °C). Estos resultados son acordes con lo reportado para la raza PEP, que tuvo una V_{\max} de 1631 cP y TP de 71 °C (Aragón *et al.* 2012).

Calidad de la tortilla

Las 14 razas de maíz nativo registraron PMS entre 2.12 y 2.84 % (Cuadro 4), siendo menores que los encontrados por Vázquez *et al.* (2010), quienes reportaron valores entre 2.4 y 4.4 % para maíces nativos de las principales regiones de Valles Altos de México. La raza EC tuvo la PMS menor ($\bar{x} = 2.12$ %) asociada con un tiempo de cocción menor (25 min) y una retención de pericarpio mayor (PR) en su nixtamal ($\bar{x} = 70$ %). Situación contraria se observó en la raza AB, que recibió 45 min de cocción y registró la PMS mayor (2.84 %). Se encontraron correlaciones significativas de PMS con las variables: PR ($r = -0.59$), IF ($r = -0.76$), PH ($r = 0.61$), HAR ($r = -0.63$) y COR ($r = 0.64$).

Las razas nativas CAC y AB retuvieron entre 52.3 y 44.8 % de pericarpio, respectivamente; esto se relacionó con tortillas que requirieron menor fuerza para romperse (Cuadro 3). La raza CHA fue la de PR mayor ($\bar{x} = 73.2$ %) y sus tortillas requirieron mayor fuerza para romperse (Cuadro 4). Este comportamiento es inverso a lo reportado por Santiago-Ramos *et al.* (2018). La raza TAB 8 y AN registraron la retención de pericarpio menor (< 50 %) y sus tortillas tuvieron dureza mayor, indicando que su pericarpio se hidrolizó fácil e independientemente del tiempo de nixtamalización (35 y 25 min, respectivamente), resultado que está acorde con lo registrado por Figueroa *et al.* (2013).

La HN promedio fue 47.6 %, PEP con 25 min de nixtamalización alcanzó 49.7 % de humedad; por el contrario, CHA con 35 min de cocción registro 44.1 %, mostrando que los componentes del grano, entre los que predomina el almidón, son los que determinan el grado de hidratación del endospermo (Santiago-Ramos *et al.*, 2018). La raza AA, que es un maíz reventador, resultó de grano mediano y duro (Cuadro 2), con porcentajes de humedad de nixtamal (HN) y tortillas (HT) entre los mayores, lo que se relacionó con el rendimiento mayor (1.64 kg kg⁻¹ de maíz), indicó de que durante la cocción de la masa

Cuadro 3. Perfil viscoamilográfico de los granos molidos de maíces nativos del estado de Puebla, México (2020).

Raza	Temperatura de pastificado (°C)	Viscosidad (cP)		
		Máxima	Mínima	Final
Cuadrados medios	2.1**	704,605.5**	91,393.5**	860,871.3**
Elotes Cónicos	72.9 bc	3909.1a	1374.1 a	5064.9 a
Naltel de Altura	74.9 bc	2820.9b	709.0 bcde	4305.0 b
Celaya	74.1 bc	2571.8c	802.7 bcd	3595.3 c
Ancho	75.6 b	2552.7c	473.3 e	3284.5 def
Cacahuacintle	75.4 b	2528.0c	811.6 bc	3062.9 fgh
Coscomatepec	75.0 bc	2451.6c	894.9 b	3381.5 cd
Tuxpeño	76.0 ab	2137.2d	831.1 b	3320.1 de
Arrocillo Amarillo	76.5 ab	2109.1de	818.9 b	3114.0 efg
Chalqueño	74.1 bc	1945.3ef	843.8 b	2810.3 ij
Arrocillo Blanco	75.4 b	1930.9fg	705.7 bcde	2876.9 hij
Cónico	75.0 bc	1811.0fgh	664.0 bcde	2697.6 j
Bolita	75.0 bc	1802.3fgh	670.6 bcde	2818.1 ij
Tablilla de Ocho	78.1 a	1778.5gh	571.2 cde	3002.8 ghi
Pepitilla	76.2 ab	1647.9h	564.1 de	2871.2 hij
DSH (0.05)	2.3	225.5	425.8	690.5

Medias con distinta letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05). **: significancia a P ≤ 0.01, DSH: diferencia significativa honesta.

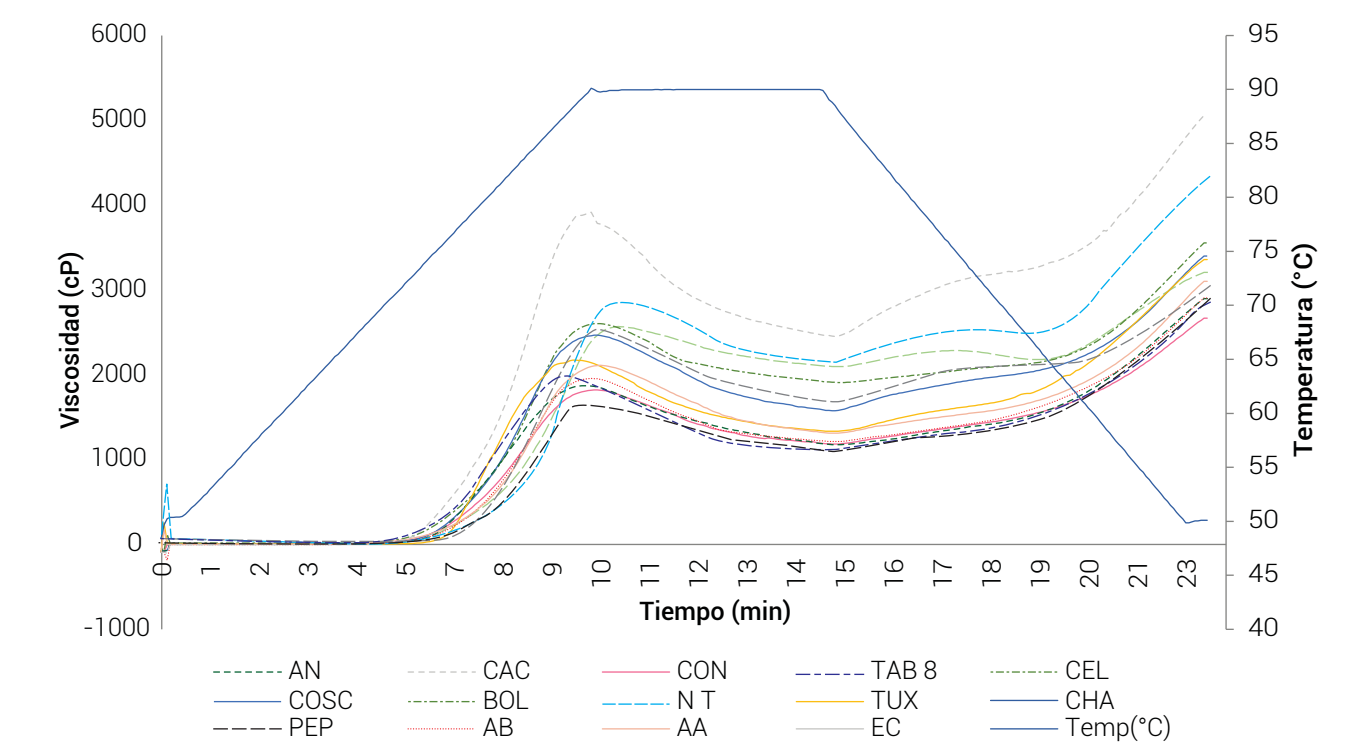


Figura 1. Curvas viscoamilográficas de grano molido de los maíces nativos del estado de Puebla, México (2020). La identificación de las razas de maíces nativos se encuentra en el Cuadro 1.

ocurrió una reducida pérdida de agua. Adicionalmente, sus tortillas fueron de textura muy suave, que requirieron una fuerza mínima para romperse (FR) después de 24 y 48 h de almacenamiento a 4°C (Cuadro 4).

La raza de maíz TAB 8 retuvo la cantidad de pericarpio menor (\bar{x} = 39.7 %); no obstante, sus tortillas registraron los valores menores de humedad (\bar{x} = 34.9 %) y de rendimiento (\bar{x} = 1.25 kg kg⁻¹ de maíz); asimismo, requirieron en promedio 514 g_f para romperse a las 24 h de almacenadas, son tortillas de textura dura. Lo anterior es semejante a los resultados de Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto (2010), quienes evaluaron en maíces de endospermo suave, intermedio y duro, la textura en tortillas almacenadas (24 h), y encontraron que con los de dureza intermedia se produjeron tortillas con textura semejante a TAB 8 a las 48 h de almacenamiento.

Las razas CAC, AB y AA produjeron tortillas de textura muy suave almacenadas durante 24 h a 4 °C, las cuales requirieron menor fuerza para romperse (Cuadro 4). Estos

resultados muestran que con la nixtamalización tradicional y la asignación de tiempos de cocción de acuerdo con el IF se produjeron tortillas de calidad buena con maíces de grano muy suave, muy duro y duro, respectivamente. Las tortillas de los otros maíces evaluados requirieron fuerza entre 400 y 600 g_f para romperse, valores que son superiores a lo reportado por Vázquez *et al.* (2010) para las mismas razas de maíz.

Respecto a la reflectancia para las tortillas, la raza AN, tanto a las 24 h (96.0 %) como a las 48 h de almacenadas fue mayor (89 %) y redujo su reflectancia entre las dos variables (\bar{x} = -7 %), lo que indica que se oscurecen con mayor rapidez (Cuadro 4). Las razas CAC y CEL tuvieron en promedio -6.5 y la TUX -6.0, cuyas tortillas se tornaron más oscuras a las 48 h, mientras que las tortillas de las razas restantes cambiaron la reflectancia ligeramente en el mismo lapso. La raza AB mantuvo su reflectancia durante el almacenamiento (75.0 %) a las 24 y 48 h, mientras que las tortillas de EC disminuyeron el valor de la reflectancia a las 48 h, indicando que su tono azul oscuro se tornó

Cuadro 4. Características de nixtamalización y tortilla de razas de maíces nativos colectadas en el estado de Puebla, México (2020).

Raza	PMS (%)	PR (%)	Humedad (%)		RTF (kg kg ⁻¹)	FR (g _f)		Reflectancia (%)	
			Nixtamal	Tortillas 24h		24h	48h	24h	48h
CM	0.09**	202.5 **	7.9**	10.9**	0.01**	15344**	13,318**	990.5**	909.7**
AB	2.84 a	44.8 j	48.9 ab	40.8 bc	1.41 c	347 g	400 f	75.0 de	75.0 cd
AA	2.69 abc	61.1 f	48.5 ab	38.8 def	1.64 a	360 gf	449 ed	29.5 i	28.0 i
BOL	2.64 abc	65.0 d	44.2 c	42.2 ab	1.37 d	451d	409 ef	70.0 fg	71.0 def
CHAL	2.51 bcdef	73.2 a	44.1 c	35.6 ij	1.37 d	588 a	597 a	72.0 ef	68.5 efg
TAB 8	2.75 ab	39.7 k	45.0 c	34.9 j	1.25 g	514 c	532 c	80.0 c	79.0 bc
NT	2.60 abcd	60.7 f	45.6 c	38.1 efg	1.31 f	438 ed	379 f	66.5 h	64.0 gh
TUX	2.76 ab	59.3 g	49.2 ab	42.7 a	1.39 cd	435 ed	466 d	79.5 c	73.5 de
PEP	2.25 gh	66.6 c	49.7 a	36.4 hij	1.38 d	464 d	472 d	68.0 gh	66.0 fgh
CEL	2.44 cdefg	65.7 cd	48.9 ab	39.8 cd	1.34 e	402 ef	581 ab	68.0 gh	61.5 h
CON	2.29 fgh	62.3 e	47.9 b	39.6 cde	1.33 ef	566 ab	573 abc	75.5 d	73.0 de
COSC	2.33 efgh	69.7 b	47.9 b	37.2 ghi	1.34 e	435 ed	559 abc	74.5 de	72.0 de
AN	2.58 abcde	48.6 i	47.9 ab	37.6 fgh	1.41 c	524 bc	543 bc	96.0 a	89.0 a
EC	2.12 h	70.2 b	49.6 ab	40.0 cd	1.52 b	428 ed	402 ef	10.5 j	9.0 j
CAC	2.37 defgh	52.3 h	49.0 ab	39.8 cd	1.34 e	261 h	370 f	88.5 b	82.0 b
DSH	0.25	1.1	1.7	1.5	0.02	47.8	47.1	3.39	5.15

Medias con distinta letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). CM: cuadrado medio, **: significancia $P \leq 0.01$, PMS: pérdida de materia seca, PR: pericarpio retenido, RTF: rendimiento de tortilla fría, FR: fuerza de rompimiento de la tortilla, Tortillas 24h: tortillas a las 24 horas de recién elaboradas, 24h y 48h: 24 y 48 horas de la elaboración de tortilla, respectivamente, DSH: diferencia mínima significativa. La identificación de las razas de maíces nativos se encuentra en el Cuadro 1.

más claro (9.0 %). Estos valores de reflectancia en tortillas almacenadas fueron aproximados a los reportados por Vázquez *et al.* (2003) para las razas Bolita, Pepitilla y Tuxpeño. Con respecto a la raza EC, el cambio de color se debe a que las antocianinas (pigmento responsable del color) son inestables en el pH alcalino de las tortillas ($\bar{x}=7.8$) (Salinas *et al.*, 2013); también se atribuye a la pérdida de humedad, lo que afecta a las antocianinas, disminuyendo la entrada de luz (reflectancia) y aumentando gradualmente la dureza de la tortilla (Morales-Pérez y Vélez-Ruiz, 2011).

CONCLUSIONES

Las 14 razas de maíz nativas del Estado de Puebla mostraron una diversidad amplia en las características físicas, endospermo muy duro hasta muy suave y diferentes tamaños de grano, el perfil de viscosidad y la calidad nixtamalero-tortillera, distinta textura de tortilla y colores crema, blanco, amarillo y azul. Los maíces con endospermo suave requirieron temperatura menor para iniciar su gelatinización y alcanzaron picos de viscosidad mayores que los maíces muy duros. Con la nixtamalización tradicional y la asignación de tiempos en cocción de acuerdo con el índice de flotación, se produjeron tortillas almacenadas de textura suave y tonalidades grisáceas. La raza Elotes Cónicos (azul) requirió la menor temperatura para iniciar la gelatinización, la mayor viscosidad máxima y las tortillas almacenadas requirieron 428 g, para romperse. Las razas Cacahuacintle, pozolero de grano muy suave y Arrocillo Blanco, reventador de grano muy duro, pueden ser utilizadas para incorporar su germoplasma a otros genotipos para mejorar la calidad de las tortillas.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por la beca Posdoctoral concedida al autor principal para realizar los estudios en el Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, *EcoCampus* Valsequillo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón C. P. E., M. Olivo y L. Solís (2001) Diversidad gastronómica de los pueblos indios de México. *Etnoecológica* 6:100-102.
- Aragón C. F., J. D. Figueroa C., M. Flores Z., M. Gaytán M. y J. J. Véles M. (2012) Calidad Industrial de Maíces Nativos de la Sierra Sur de Oaxaca. Libro Técnico No. 15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Etlá, Oaxaca, México. 249 p.
- Arellano V. J. L., A. J. Gámez V. y M. A. Ávila P. (2010) Potencial agronómico de variedades criollas de maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:37-41, <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial.4.37>
- Caballero-García M. A., L. Córdova-Téllez y A. J. López-Herrera (2019) Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42:357-366, <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.357>
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2021) Razas de maíz de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz> (Septiembre 2021).
- CONEVAL, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2018) Evolución de la canasta alimentaria. Consulta del valor de las líneas de bienestar. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Ciudad de México. <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Lineas-de-bienestar-y-canasta-basica.aspx> (Septiembre 2021).
- Fernández S. R., L. A. Morales C. y A. Gálvez M. (2013) Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:275-283, <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-S3-A.275>
- Figueroa C. J. D., D. E. Narváez G., A. Mauricio S., S. Taba, M. Gaytán M., J. J. Véles M., ... y F. Aragón C. (2013) Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:305-314, <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-S3-A.305>
- Flores-Cruz L. A., J. A. García-Salazar, J. S. Mora-Flores y F. Pérez-Soto (2014) Producción de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Puebla: un enfoque de equilibrio espacial para identificar las zonas productoras más competitivas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 11: 223-239.
- Gaytán-Martínez M., J. D. Figueroa-Cárdenas, M. L. Reyes-Vega, E. Morales-Sánchez y F. Rincón-Sánchez (2013) Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria con base en su valor agregado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:339-346, <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-S3-A.339>
- Gil M. A., P. A. López, A. Muñoz O. y H. López S. (2004) Variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el Estado de Puebla, México: diversidad y utilización. In: Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales. J. L. Chávez S., J. Tuxill y D. I. Jarvis (eds.) Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. pp:18-25.
- Guzmán-Maldonado S. H., M. G. Vázquez-Carrillo, J. A. Aguirre-Gómez e I. Serrano-Fujarte (2015) Contenido de ácidos grasos, compuestos fenólicos y calidad industrial de maíces nativos de Guanajuato. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38:213-222, <https://doi.org/10.35196/rfm.2015.2.213>
- Hernández G. C. Á., Y. Salinas M., P. A. López, A. Santacruz V., F. Castillo G. y T. Corona T. (2014) Calidad pozolera en poblaciones de maíz Cacahuacintle de los Valles Altos de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:703-716, <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i4.932>
- Kato Y. T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. A. Bye B. (2009) Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 p.
- Kato-Yamakake T. A. (2004) Variedades transgénicas y el maíz nativo en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 1:101-109.
- López-Morales F., M. G. Vázquez-Carrillo, J. J. García-Zavala, D. Reyes-López, O. Bonilla-Barrientos, G. Esquivel-Esquivel, ... y J. D. Molina-Galán (2021) Rendimiento y calidad del maíz tuxpeño V-520C adaptado con selección masal a Valles Altos, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44:231-239, <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.231>
- Morales-Pérez J. y J. F. Vélez-Ruiz (2011) Estudio del efecto combinado del secado y freído en las propiedades de tortillas tostadas. *Información Tecnológica* 22:55-68, <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000200007>
- Muñoz O. A. (2005) Centli-Maíz. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico, Glosario. 2a edición. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 210 p.
- Narváez-González E. D., J. D. Figueroa-Cárdenas, S. Taba and F. Rincón S. (2006) Kernel microstructure of Latin American races of maize and their thermal and rheological properties. *Cereal Chemistry* 83:605-610, <https://doi.org/10.1094/CC-83-0605>
- Rivera C. B. E., D. Morales C., M. G. Gómez M. y G. V. Nevárez M. (2021) Consumo responsable de la tortilla de maíz, una herencia que debemos cuidar. *Temas de Ciencia y Tecnología* 25:9-14.

- Salinas M. Y. y G. Vázquez C. (2006) Metodologías de análisis de la calidad nixtamalero-tortillera en maíz. Folleto Técnico Núm. 23. Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, Estado de México. México. 91 p.
- Salinas M. Y., N. O. Gómez M., J. E. Cervantes M., M. Sierra M., A. Palafox C., E. Betanzos M. y B. Coutiño E. (2010) Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1:509-523.
- Salinas M. Y., F. Aragón C., C. Ybarra M., J. Aguilar V., B. Altunar L. y E. Sosa M. (2013) Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnica Mexicana* 36:23-31, <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.1.23>
- Salinas-Moreno Y. y L. Aguilar-Modesto (2010) Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 2:5-11, <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2010.08.009>
- Santiago-Ramos D., J. D. Figueroa-Cárdenas, R. M. Mariscal-Moreno, A. Escalante-Aburto, N. Ponce-García and J. J. Véles-Medina (2018) Physical and chemical changes undergone by pericarp and endosperm during corn nixtamalization-A review. *Journal of Cereal Science* 81:108-117, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.04.003>
- SAS Institute (2002) User's Guide of SAS. Version 9.0. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 550 p.
- SE, Secretaría de Economía (2020a) NMX-034/parte1-SCFI-2020. Productos alimenticios para uso humano no industrializados-cereales-maíz-parte 1: granos para tortillas y productos nixtamalizados-especificaciones y métodos de prueba. Dirección General de Normas, Secretaría de Economía. Ciudad de México. <https://www.sinec.gob.mx/SINEC/Vista/Normalizacion/DetalleNMX.xhtml?pidn=L2hiV0psQ0FqTUdtQkc2OS81dTJvUT09> (Noviembre 2023).
- SE, Secretaría de Economía (2020b) NMX-FF-034-SCFI-2020. Productos alimenticios para uso humano no industrializados-cereales-maíz (*Zea mays* L.) especificaciones y métodos de prueba. México. Dirección General de Normas, Secretaría de Economía. Ciudad de México. <https://vlex.com.mx/vid/nmx-ff-034-scfi-873536036> (Noviembre 2023).
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023) Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Agosto 2023).
- Sierra-Macias M., P. Andrés-Meza, A. Palafox-Caballero e I. Meneses-Márquez (2016) Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en el estado de Puebla, México. *Revista de Aplicación Científica y Técnica* 3:12-21.
- Vázquez C. M. G. y D. Santiago R. (2013) Características físicoquímicas y calidad del pozole del maíz Cacahuacintle procesado mediante tres métodos. *Revista Fitotecnica Mexicana* 36:357-366, <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-S3-A.357>
- Vázquez C. M. G., L. Guzmán B., J. L. Andrés G., F. Márquez S. y J. Castillo M. (2003) Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Revista Fitotecnica Mexicana* 26:231-238, <https://doi.org/10.35196/rfm.2003.4.231>
- Vázquez C. M. G., J. P. Pérez C., J. M. Hernández C., M. L. Marrufo D. y E. Martínez R. (2010) Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. *Revista Fitotecnica Mexicana* 33:49-56, https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial_4.49
- Vázquez-Carrillo M. G. and D. Santiago-Ramos (2019) The RVA as a rapid tool to screen maize genotypes for the tortilla-making process in a breeding program. *Journal of Cereal Science* 86:22-25, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.12.021>
- Vázquez-Carrillo M. G., I. Rojas-Martínez, D. Santiago-Ramos, J. L. Arellano-Vázquez, A. Espinosa-Calderón, M. García-Pérez and J. Crossa (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 Science* 56:3090-3099, <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.09.0558>
- Wellhausen E. J., M. Roberts L., E. Hernández X. y C. Mangelsdorf P. (1951) Razas de Maíz en México. Su Origen Características y Distribución. Folleto Técnico Núm. 5. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 237 p.