



Calidad pozolera de poblaciones de maíz de la raza Ancho de Guerrero, México*

Quality of Ancho maize populations from Guerrero, Mexico, for pozole-making

Leticia García-Cruz¹, María Gricelda Vázquez-Carrillo¹, César del Ángel Hernández-Galeno²,
Noel Orlando Gómez-Montiel²

* Recepción: 18 de diciembre, 2025. Aceptación: 16 de abril, 2026. Este trabajo formó parte del proyecto de investigación “Mejoramiento genético y registro de variedades de maíz para el trópico bajo de México y sus nichos ecológicos”, financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México, Laboratorio de Maíz. Estado de México, México. garcia.leticia@inifap.gob.mx (<https://orcid.org/0000-0002-8877-7599>); vazquez.gricelda@inifap.gob.mx (autora para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-2525-427X>).

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Iguala, Programa de Maíz. Guerrero, México. hernandez.cesar@inifap.gob.mx (<https://orcid.org/0000-0001-5403-0246>); gomez.noel@inifap.gob.mx (<https://orcid.org/0000-0002-1994-7056>).

Resumen

Introducción. La raza Ancho, nativa del estado de Guerrero, se utiliza principalmente para la elaboración de pozole y presenta una amplia variabilidad que ha sido poco caracterizada. **Objetivo.** Determinar las características físicas y viscoamilográficas, la calidad del grano floreado y el contenido de fenoles solubles totales y antocianinas totales de once poblaciones de maíz de la raza Ancho provenientes del estado de Guerrero. **Materiales y métodos.** Las colectas se realizaron en cinco municipios del estado de Guerrero, México, durante el ciclo de producción primavera-verano de 2022. Se determinaron las características físicas del grano y se efectuó la nixtamalización mediante el método tradicional para evaluar la calidad del grano floreado (GF). Las variables se compararon a través de análisis de varianza, seguido de la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$). Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis de componentes principales. **Resultados.** Las poblaciones mostraron amplia variabilidad en características físicas como el peso de cien granos (47,8-99,85 g), la dureza del endospermo (73,5-99 %), el color, las propiedades de pastificación y el contenido fenólico. En cuanto a la calidad del GF, destacaron las poblaciones A67, A65 y A02 por sus altos rendimientos y volúmenes de grano floreado, así como por sus bajos tiempos de cocción. El contenido fenólico se redujo en algunos casos hasta 79,8 %. La mayor retención de fenoles solubles totales y antocianinas totales se reportó en A10Az, de color azul-morado. **Conclusiones.** Las poblaciones de la raza Ancho presentaron una amplia variabilidad en todas las características evaluadas. Las poblaciones A65, A67 y A03 resaltaron por la mayor calidad de grano floreado y retención de fenoles.

Palabras clave: *Zea mays* L., perfil de viscosidad, fenoles solubles totales, tiempo de cocción de grano floreado, volumen del grano floreado.



Abstract

Introduction. The Ancho maize race, native to the state of Guerrero, exhibits wide variability that has been insufficiently characterized. **Objective.** To determine the physical and pasting properties, the quality of flowered kernel, and the content of total soluble phenols and anthocyanins in eleven populations of Ancho maize from Guerrero. **Materials and methods.** Collections were carried out in five municipalities of the state of Guerrero, Mexico, during the spring–summer 2022 production cycle. Kernel physical traits were evaluated, and nixtamalization was performed using the traditional method to assess flowered grain quality. Data were analyzed through analysis of variance, followed by Tukey’s multiple comparison test ($p \leq 0.05$). A principal component analysis was also conducted. **Results.** The populations exhibited wide variability in physical traits, including hundred-kernel weight (47.8–99.85 g), endosperm hardness (73.5–99 %), color, pasting properties, and phenolic content. Regarding flowered grain quality (FG), populations A67, A65, and A02 stood out for their high yields, higher flowering volume, and short cooking times. In some cases, phenolic content in FG decreased to 79.8 %. The highest retention of total soluble phenols and anthocyanins was observed in population A10Az, characterized by blue-purple kernels. **Conclusions.** Populations of the Ancho landrace exhibited considerable variability across all evaluated traits. Among them, populations A65, A67, and A03 stood out for their exceptional flowered quality and enhanced phenol retention.

Keywords: *Zea mays* L., viscosity profile, total soluble phenols, cooking time for flowered grain, flowering kernel volume.

Introducción

En México se han descrito 68 razas nativas de maíz (Caballero-García et al., 2019), entre las cuales se encuentran los maíces denominados “de especialidad”, debido a su uso en la preparación de alimentos específicos. El pozole es un platillo cuya base es el maíz. Para su elaboración se han identificado dieciséis razas nativas aptas para este propósito, ya que presentan granos grandes y harinosos (Vázquez-Carrillo et al., 2016). Por su alta demanda, la raza Ancho ocupa el segundo lugar para la elaboración de pozole, solo después de la raza Cacahuacintle, y aunque la comercialización es principalmente local y en zonas cercanas a los lugares de producción, también se distribuye en el centro del país (Vázquez-Carrillo et al., 2016).

La raza Ancho se clasifica dentro del grupo Ocho Hileras o razas del occidente de México. Inicialmente, se reportó su cultivo en zonas con altitudes entre 800 y 1800 m s. n. m. (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, s. f.). Sus mazorcas son semicilíndricas y presentan ocho hileras de granos muy grandes y dentados. Además, se caracteriza por granos de forma triangular apastillada, un peso de cien semillas superior a 38 g y un alto porcentaje de endospermo harinoso, aunque con presencia de endospermo córneo (Hernández Galeno et al., 2014; Vázquez-Carrillo et al., 2016).

La mayor diversidad de la raza Ancho se encuentra en los estados de Guerrero y Morelos (Gómez-Montiel et al., 2014). Sin embargo, debido al sobreprecio del grano y a la preferencia por su uso en la elaboración de pozole, su distribución geográfica se ha extendido a los estados de Puebla, Estado de México, Jalisco, Michoacán, Oaxaca y Tlaxcala, con altitudes de adaptación que abarcan de 895 a 2100 m s. n. m. (Aguilar Juárez, 2016).

La elaboración del pozole comprende diversas etapas tecnológicas. En primer lugar, se lleva a cabo la nixtamalización del maíz, procedimiento que consiste en su cocción en agua con la adición de cal (0.5-2 % respecto al peso del grano). Posteriormente, el nixtamal se somete a un periodo de reposo de entre 8 y 16 horas, tras el cual se lava para eliminar el exceso de cal y desprender el pericarpio. La segunda fase corresponde al “descabezado” del grano, que implica la remoción manual del pedicelo. Finalmente, se procede al “floreado”, durante el cual el grano se cuece nuevamente en agua (Vázquez-Carrillo et al., 2024).

Durante la etapa de floreado, la hidratación provoca la expansión y fractura progresiva del grano, lo que le confiere una morfología semejante a una flor; de esta característica deriva la denominación “grano floreado” (Vázquez-Carrillo et al., 2016). La calidad de este producto se determina por sus características físicas y se evalúa a partir de variables como el rendimiento, la suavidad del grano, el contenido de humedad y el volumen de expansión (Flores-Hernández et al., 2023).

La raza Ancho muestra una amplia variabilidad, influenciada por la región de cultivo y por sus rasgos propios. No obstante, se ha estudiado poco sobre las propiedades físicas y tecnológicas del grano para la obtención de pozole. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar las características físicas y viscoamilográficas, la calidad del grano floreado y el contenido de fenoles solubles totales y antocianinas totales de once poblaciones de maíz de la raza Ancho provenientes del estado de Guerrero.

Materiales y métodos

Material vegetal

Se evaluaron once poblaciones de maíz de la raza Ancho del estado de Guerrero, México, provenientes de los municipios de Huitzuc (18°17'32.3"N, 99°19'07.1"O), Cuetzala del Progreso (18°10'31.676"N, 99°46'6.623"O), Teloloapan (18°19'15.061"N, 99°52'56.887"O), Tixtla de Guerrero (17°38'12.372"N, 99°17'42.57"O) y Zitlala (17°43'20.97"N, 99°14'40.471"O). Nueve poblaciones fueron de color blanco-cremoso (A01, A02, A03, A12, A51, A52, A65, A66 y A67), una de color rosa-rojo (A55Ro) y una de color azul-morado (A10Az). Todas correspondieron al ciclo de producción primavera-verano de 2022.

Características físicas del grano

De cada población se utilizó 1 kg de grano limpio, sin daños físicos ni afectación por plagas. Se evaluó el peso hectolítrico expresado en kg hL⁻¹, el peso de cien granos (PCG), el índice de flotación (IF) y la composición estructural del grano de acuerdo con las metodologías descritas por Salinas y Vázquez (2006). El color del grano se midió con un colorímetro portátil; los valores se expresaron como L*, ángulo de tono (Hue) y croma (Sant'Anna et al., 2013).

Perfil viscoamilográfico

Para evaluar las características de pastificación se utilizó un viscoamilógrafo. Las determinaciones se midieron de acuerdo con lo descrito por Preciado-Ortiz et al. (2022). Se utilizaron 4 g de harina con 24 mL de agua destilada, con ajuste de humedad al 14 %. La temperatura inició en 50 °C y se incrementó hasta 90 °C en 9 min; posteriormente, se mantuvo constante durante 5 min y descendió paulatinamente a 50 °C, para completar un ciclo de 23 min. Se registraron los datos de tiempo de pastificación (min), temperatura de pasta (°C), pico de viscosidad (cP), viscosidad mínima (cP) y viscosidad final (cP). Además, se calculó el *breakdown* (diferencia entre el pico de viscosidad y viscosidad mínima).

Proceso de nixtamalización y floreado del grano

Se siguió el proceso tradicional para obtención del grano floreado destinado a la elaboración de pozole, el cual consiste en nixtamalización, descabezado y floreado (Vázquez Carrillo & Santiago-Ramos, 2013). Se

nixtamalizaron 100 g de maíz con 1 % de cal $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ y 250 mL de agua. El tiempo de este proceso se asignó de acuerdo con el IF: 25 min para maíces muy suaves y 30 min para suaves. Después de 14 h de reposo, el nixtamal se lavó con 250 mL de agua hasta eliminar todo el pericarpio. El descabezado consistió en remover el pedicelo manualmente. Para el floreado, el nixtamal se coció a temperatura de ebullición (92 °C) con 250 mL de agua. El tiempo de cocción requerido para obtener el grano floreado —denominado “tiempo de floreado”— se determinó cuando, de una muestra de diez granos, al menos seis presentaron forma de flor, conforme a lo establecido por Bonifacio Vázquez et al. (2005).

Variables de calidad del grano floreado

El volumen del grano floreado (VGF) se midió en una probeta de 500 mL y se expresó en cm^3 100 g^{-1} de maíz. La humedad del grano floreado (HGF) se fijó de acuerdo con el método 44-15 de la Cereals & Grains Association (2020). La pérdida de materia seca (PMS) se evaluó según lo descrito por Salinas y Vázquez (2006).

La textura del grano floreado se estableció en un analizador de textura equipado con una sonda de aguja TA9 (1,0 mm de diámetro y 43 mm de longitud) a una distancia de penetración de 0,5 mm, una velocidad de 2 mm s^{-1} y un valor meta del 50 %. La prueba se realizó en la cara opuesta a la ubicación del germen y los resultados se expresaron en *newtons* (N). El color del grano floreado y el perfil de viscosidad se determinaron de acuerdo con lo descrito previamente.

Composición fitoquímica del grano crudo y floreado

Se pesaron 100 mg de harina de grano sin procesar o de grano floreado deshidratado, a los cuales se adicionaron 1,9 mL de disolvente de extracción (ácido trifluoroacético al 1 % en metanol al 80 %). La extracción y cuantificación de fenoles solubles totales (FST) y antocianinas totales (AT) se llevaron a cabo por espectrofotometría, de acuerdo con lo descrito por Vázquez-Carrillo et al. (2025). Los FST se cuantificaron utilizando una curva estándar de ácido ferúlico y los datos se expresaron como mg equivalentes de ácido ferúlico (EAF) por 100 g de muestra seca.

La cuantificación de antocianinas totales se evaluó a 520 nm para el caso del maíz rosa-rojo y a 530 nm para el azul-morado. Para ello se utilizaron curvas estándar de las agliconas de cianidina y pelargonidina. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de cianidina o pelargonidina por 100 g de muestra seca.

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante un diseño completamente al azar. Se realizó un análisis de varianza seguido de una comparación de medias con el estadístico de Tukey ($p \leq 0,05$) para identificar diferencias entre las colectas. La caracterización del grano y la calidad pozolera se determinaron por duplicado, mientras que el contenido fitoquímico, por cuadruplicado. Adicionalmente, se efectuó un análisis de componentes principales. Los análisis se ejecutaron en el paquete estadístico R (versión 4.2.1).

Resultados

Características físicas del grano

En el análisis de varianza, las poblaciones presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) en todas las variables de caracterización física del grano. Los coeficientes de variación fueron bajos (0,87-5,21 %)

y con un alto grado de ajuste de los datos al modelo ($R^2 > 0,95$). Los valores de peso de cien granos oscilaron de 45,2 a 99,8 g. En esta variable, todas las poblaciones fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$), excepto A52 y A67. El mayor valor se encontró en la población A51, seguida de A65, con pesos de cien granos superiores a 90 g. Los valores más bajos correspondieron a las colectas A55Ro y A02.

Para el índice de flotación, las poblaciones con valores superiores a 89,5 % no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) (Cuadro 1). El peso hectolítrico osciló de 64,1 a 72,2 kg hL⁻¹, donde las poblaciones A10Az y A12 mostraron los valores de medias más altos y estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$) del resto.

Cuadro 1. Características físicas de los granos de maíz de la raza Ancho del estado de Guerrero, México, del ciclo de producción primavera-verano 2022.

Table 1. Quality traits for pozole of Ancho maize from Guerrero, Mexico, during the spring–summer 2022 production cycle.

Población	PCG	IF	PH	LG	HueG	CG
A01	84,17 d	99 a	70,70 b	59,67 c	80,02 ef	25,21 ab
A02	47,80 i	96 a	65,13 ed	58,57 c	80,56 ef	25,76 ab
A03	60,54 h	99 a	65,40 d	74,31 a	88,12 a	10,22 d
A10Az	74,54 f	73,5 c	72,10 a	40,41 d	79,15 f	6,72 d
A12	71,65 g	77 c	71,95 a	70,06 b	84,50 bcd	22,31 bc
A51	99,85 a	99 a	64,15 e	73,41 ab	85,32 ab	24,6 ab
A52	81,72 ed	95,5 a	65,85 d	70,92 ab	85,13 abc	25,08 ab
A55Ro	45,20 j	89,5 ab	67,45 c	41,71 d	38,82 g	17,94 c
A65	93,45 b	99,5 a	64,90 ed	61,47 c	81,43 def	26,9 a
A66	88,15 c	91 a	64,1 e	58,46 c	81,78 cdef	27,92 a
A67	81,3 e	78,5 cb	70,55 b	58,03 c	83,21 bcde	24,48 ab

PH: Peso hectolítrico. **PCG:** Peso de cien granos. **IF:** Índice de flotación. **LG:** Luminosidad en grano. **HueG:** Ángulo de tono en grano. **CG:** Cromaticidad en grano. Medias con letras iguales entre columnas indican no diferencia estadística significativa (Tukey, $p \leq 0,05$). / **PH:** Test weight. **PCG:** 100-grain weight. **IF:** Flotation index. **LG:** Grain luminosity. **HueG:** Grain hue angle. **CG:** Grain chroma. Means with the same letter between columns indicate no statistically significant difference (Tukey, $p \leq 0.05$).

En cuanto a las variables de color, la luminosidad (L^*) de los granos estuvo en el intervalo de 40,4 a 75,8; el ángulo de tono varió entre 38,82° y 88,12°, y la cromaticidad, entre 6,72 y 27,9. La mayor diferencia entre medias se presentó en la variable HueG. Los valores más bajos correspondieron a las poblaciones de granos pigmentados (A10Az y A55Ro).

Composición estructural del grano

Los resultados del análisis de varianza mostraron significancia estadística en todas las variables de la composición estructural ($p < 0,0001$). A excepción del pedicelo, el resto de las variables presentaron un alto ajuste de los datos al modelo ($R^2 > 0,92$) y bajos coeficientes de variación (2,82-11,61 %). En el contenido de pedicelo solo se formaron dos grupos y la población A01 fue la única con diferencias relevantes ($p \leq 0,05$), con un valor de 2,69 %.

Respecto al contenido de pericarpio y germen, aunque se encontraron diferencias significativas, la mayoría de las poblaciones fueron estadísticamente similares entre sí de acuerdo con el análisis de medias. Por su parte, el endospermo harinoso y el endospermo córneo presentaron el mayor número de grupos. En el primero, A67 y A01 obtuvieron los valores más altos y similares entre sí ($p > 0,05$); mientras que, en el segundo, la población A12 exhibió el mayor valor, pero fue estadísticamente semejante a A66 y A52 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición estructural de los granos de maíz de la raza Ancho del estado de Guerrero, México, del ciclo de producción primavera-verano 2022.

Table 2. Structural composition of Ancho maize race kernels from Guerrero, Mexico, during the spring–summer 2022 production cycle.

Población	PED	PER	GER	EH	EC
A01	2,69 a	5,24 ab	13,28 a	53,92 ab	24,99 d
A02	1,31 b	4,94 abc	11,41 bc	43,89 cd	38,46 bc
A03	1,56 b	4,67 abcd	11,50 bc	48,71 bc	33,56 c
A10Az	1,39 b	4,18 cd	11,41 bc	44,63 cd	38,40 bc
A12	1,28 b	3,89 d	10,74 bc	38,74 d	45,37 a
A51	1,50 b	4,62 abcd	10,21 c	49,26 bc	34,62 c
A52	1,50 b	4,22 bcd	11,57 bc	43,37 cd	39,36 abc
A55Ro	1,50 b	4,26 bcd	10,97 bc	48,21 bc	35,08 bc
A65	1,58 b	4,39 abcd	11,97 ab	45,29 cd	36,78 bc
A66	1,58 b	5,29 a	11,58 bc	39,81 d	41,75 ab
A67	1,45 b	4,54 abcd	11,77 abc	57,07 a	25,18 d

PED: Pedicelo. **PER:** Pericarpio. **GER:** Germen. **EH:** Endospermo harinoso. **EC:** Endospermo córneo. Medias con letras iguales entre columnas indican no diferencia estadística significativa (Tukey, $p \leq 0,05$). / **PED:** Pedicel. **PER:** Pericarp. **GER:** Germ. **EH:** Floury endosperm. **EC:** Vitreous endosperm. Means with the same letter between columns indicate no statistically significant difference (Tukey, $p \leq 0,05$).

Calidad del grano floreado

En cuanto a la calidad del grano floreado, el análisis de varianza mostró que solo en la variable pérdida de materia seca no hubo diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$). A pesar de que los coeficientes de variación fueron bajos (2,21-12,74 %), el ajuste de los datos al modelo también lo fue ($R^2 = 0,66-0,80$) para las variables volumen de grano floreado, rendimiento, humedad de grano floreado y pérdida de materia seca.

El tiempo para la cocción del grano floreado (TF) fue ampliamente variable (80 a 314 min) (Cuadro 3). El TF más alto se registró en A01, población estadísticamente diferente a las demás ($p \leq 0,05$). En segundo lugar se ubicó el genotipo A51, seguido de A55Ro, A02, A52 y A12, los cuales no presentaron diferencias entre sí ($p > 0,05$) y registraron tiempos entre 152,5 y 172,5 min. El volumen del grano floreado osciló entre 327,5 a 430,0 cm³ 100 g⁻¹ (Cuadro 3). Solo las poblaciones A55Ro y A67 fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Cuadro 3. Características de calidad pozolera de maíces de la raza Ancho del estado de Guerrero, México, del ciclo de producción primavera-verano 2022.

Table 3. Quality traits for pozole of Ancho maize from Guerrero, Mexico, during the spring–summer 2022 production cycle.

Población	TF (min)	VGF (cm ³ /100 g)	REND (kg de GF/kg de maíz)	HGF (%)	PMS (%)
A01	314 a	400 ab	2,37 ab	68,69 a	7,90 a
A02	154 bc	420 ab	2,39 ab	65,37 ab	7,05 a
A03	140 cd	408 ab	2,08 b	59,36 ab	6,95 a
A10Az	105 ef	345 ab	2,32 ab	50,66 b	6,49 a
A12	150 bcd	377,5 ab	2,32 ab	55,47 ab	6,95 a
A51	172.5 b	372,5 ab	2,20 ab	62,4 ab	6,46 a
A52	152.5 bc	387,5 ab	2,35 ab	60,76 ab	6,43 a
A55Ro	165 bc	327,5 b	2,35 ab	60,76 ab	7,59 a
A65	120 de	420 ab	2,43 a	66,71 ab	6,61 a
A66	80 f	390 ab	2,33 ab	61,27 ab	7,50 a
A67	98 ef	430 a	2,49 a	64,45 ab	6,21 a
Población	Firmeza (N)	LGF (%)	HueGF (°)	CromaGF	
A01	1,12 bcd	64,88 ab	89,36 a	16,68 b	
A02	0,92 cd	58,38 d	91,46 a	16,04 b c	
A03	1,55 abc	65,16 ab	88,17 a	23,03 a	
A10Az	1,55 abc	33,44 f	49,52 b	4,74 d	
A12	2,17 a	63,53 abcd	91,45 a	15,44 bc	
A51	1,79 ab	65,16 ab	96,52 a	13,55 c	
A52	1,28 bcd	61,61 bcd	93,16 a	15,85 bc	
A55Ro	0,71 d	46,15 e	49,23 b	13,66 c	
A65	1,33 bcd	67,09 a	92,30 a	16,39 b	
A66	1,48 bc	63,92 abc	89,39 a	17,95 b	
A67	1,12 bcd	59,57 cd	90,37 a	16,06 bc	

TF: Tiempo de floreado. **VGF:** Volumen del grano floreado. **REND:** Rendimiento de maíz a grano floreado. **GF:** Grano floreado. **HGF:** Humedad del grano floreado. **PMS:** Pérdida de materia seca. **Firmeza:** Firmeza del grano floreado. **LGF:** Luminosidad del grano floreado. **HueGF:** Ángulo de tono del grano floreado. **CromaGF:** Croma del grano floreado. Medias con letras iguales entre columnas indican que no existe diferencia estadística significativa (Tukey, $p \leq 0,05$). / **TF:** Flowering time. **VGF:** Flowered grain volumen. **REND:** Yield of maize to flowered grain. **GF:** Flowered grain. **HGF:** Flowered grain moisture. **PMS:** Dry matter loss. **Firmeza:** Firmness of flowered grain. **LGF:** Flowered grain luminosity. **HueGF:** Flowered grain hue angle. **CromaGF:** Flowered grain chroma. Means with the same letter between columns indicate no statistically significant difference (Tukey, $p \leq 0,05$).

En la variable rendimiento, los valores fluctuaron entre 2,08 y 2,49 kg de grano floreado por kg de maíz. Al igual que en el VGF, en la población A67 se registró el mayor valor, aunque solo difirió estadísticamente de A03. La humedad del grano floreado (HGF) presentó diferencias significativas solo en las poblaciones A01 y A10Az ($p \leq 0,05$), con valores de 50,66 y 68,69 %, respectivamente. En cuanto a la pérdida de materia seca (PMS), se obtuvieron valores de 6,43 a 7,90 %, sin diferencia entre poblaciones ($p > 0,05$).

La dureza del grano floreado varió entre 0,71 y 2,17 N. Los valores más bajos correspondieron a A55Ro y A02, sin grandes diferencias ($p > 0,05$), pero caracterizadas por tener el menor tamaño de grano. Los valores más

altos correspondieron a las poblaciones A12 y A51; no obstante, fueron estadísticamente similares ($p > 0,05$) a A03 y A10Az.

Respecto al color del grano floreado, la luminosidad disminuyó al pasar de maíz a grano floreado, con valores de 58,38 a 67,09 % para las colectas de grano blanco y de 33,44 a 46,15 % para las de grano pigmentado. Una tendencia similar se observó en el parámetro de croma; después del floreado, los granos perdieron pureza en el color. En contraste, el ángulo de tono incrementó, situándolos en los tonos amarillos (Hue = 90 °), donde A10Az y A55Ro difirieron del resto (Cuadro 3).

Se observó que parte del color de las poblaciones pigmentadas (A10Az y A55Ro) se mantuvo incluso después del proceso de floreado. Asimismo, las colectas presentaron forma triangular apastillada y granos grandes, características distintivas de la raza Ancho (Figura 1).

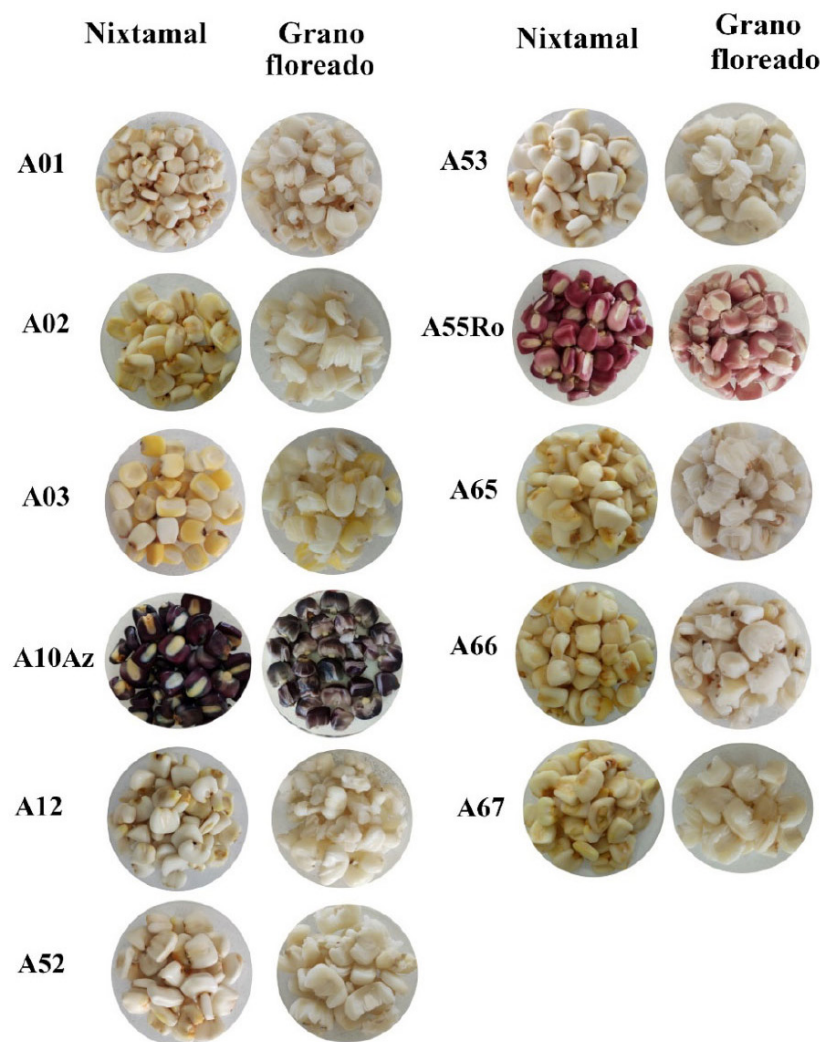


Figura 1. Aspecto del nixtamal y del grano floreado de once poblaciones de maíces de la raza Ancho del Estado de Guerrero, México. Ciclo de producción primavera-verano 2022.

Figure 1. Visual characteristics of nixtamal and flowered grain from eleven corn populations of the Ancho race from Guerrero, Mexico. Spring-summer 2022 production cycle.

Propiedades de formación de pasta del grano crudo y grano floreado

La temperatura de pastificación del grano crudo fluctuó de 72,9 a 77,3 °C (Figura 2). Los valores más altos correspondieron a A10Az, A12 y A01; las dos primeras coincidieron con maíces de endospermo suave (IF 73 y 77 %), y A01 con endospermo muy suave (índice de flotación = 99 %). El tiempo al pico de viscosidad osciló de 8,70 a 10,24 min (Figura 2). Se observó que las muestras con mayor temperatura también mostraron mayor tiempo al pico de viscosidad. En cuanto a la viscosidad máxima, los valores variaron entre 1809 y 3326 cP y destacaron las poblaciones A52 y A12 con VP de 3326 y 2881 cP, respectivamente. En el grano floreado no se detectó la formación de un pico de viscosidad.

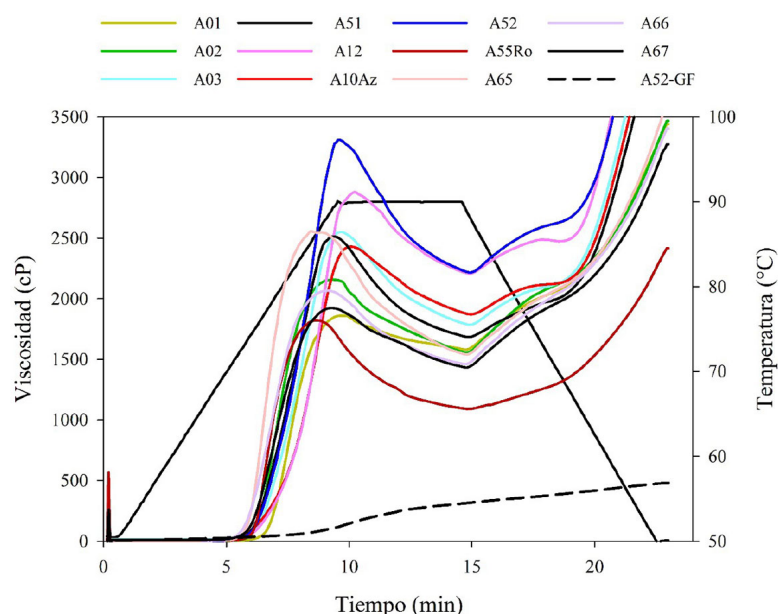


Figura 2. Propiedades de formación de pasta del grano crudo y grano floreado (A52-GF) de once poblaciones maíces de la raza Ancho del estado de Guerrero, México, del ciclo de producción primavera-verano 2022.

Figure 2. Pasting properties of raw grain and flowered grain (A52-GF) from eleven maize populations of the Ancho race in Guerrero, Mexico, during the spring-summer 2022 production cycle.

Fenoles solubles totales y antocianinas totales en maíz y grano floreado

En grano sin procesar, el contenido de fenoles solubles totales osciló de 91,25 a 136,89 mg EAF/100 g de muestra seca, con diferencias significativas ($p \leq 0,05$) (Figura 3A). La población A10Az, a pesar de mostrar el mayor valor, fue similar a A12. Por su parte, A55Ro, de color rosa-violeta, presentó un menor contenido fenólico que la población de color azul, aunque sin distinción estadística ($p > 0,05$) respecto a las poblaciones A01, A02, A03, A51, A65, A66 y A67. En grano floreado, los contenidos de FST disminuyeron en promedio en un 65 %; no obstante, resaltaron las poblaciones pigmentadas A10Az y A55Ro, con los valores más altos y diferentes entre sí ($p \leq 0,05$).

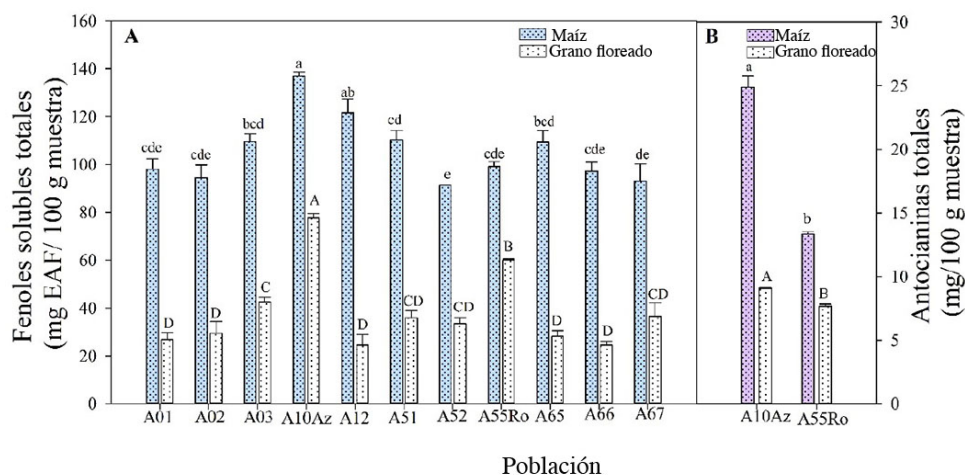


Figura 3. Contenido de fenoles solubles totales en maíz y grano floreado (A) y contenido de antocianinas totales en maíz y grano floreado (B) de once poblaciones de maíz de la raza Ancho, del estado de Guerrero, México, correspondientes al ciclo de producción primavera-verano 2022.

EAF: Equivalentes de ácido ferúlico. Las letras minúsculas iguales indican ausencia de diferencia estadística significativa en maíz, mientras que las letras mayúsculas iguales indican ausencia de diferencia estadística significativa en grano floreado (Tukey, $p \leq 0,05$).

Figure 3. Total soluble phenol content in maize and flowered kernels (A), and total anthocyanin content in maize and flowered kernels (B), evaluated in eleven populations of the Ancho maize race from Guerrero, Mexico, corresponding to the spring-summer 2022 production cycle.

EAF: Ferulic acid equivalents. Equal lowercase letters indicate no statistically significant differences among maize samples, whereas equal uppercase letters indicate no statistically significant differences among flowered kernel samples (Tukey test, $p \leq 0.05$).

El contenido de antocianinas totales (Figura 3B) en las poblaciones pigmentadas fue de $24,89 \pm 0,87$ y $13,34 \pm 0,17$ mg/100 g de muestra seca, expresados como equivalentes de cianidina y pelargonidina, respectivamente, y estadísticamente significativos ($p \leq 0,05$). Las AT en las poblaciones A10Az y A55Ro presentaron porcentajes de degradación de 63,5 y 42,5 %, respectivamente.

El análisis de componentes principales explicó el 61,7 % de la variabilidad de los datos (Figura 4). Las poblaciones A02, A03, A51, A52, A65, A66 y A67 se agruparon alrededor de las variables de color, PCG, IF y VGF. En contraste, las poblaciones pigmentadas se separaron del grupo y se situaron cerca de los vectores del contenido fitoquímico (Figura 4).

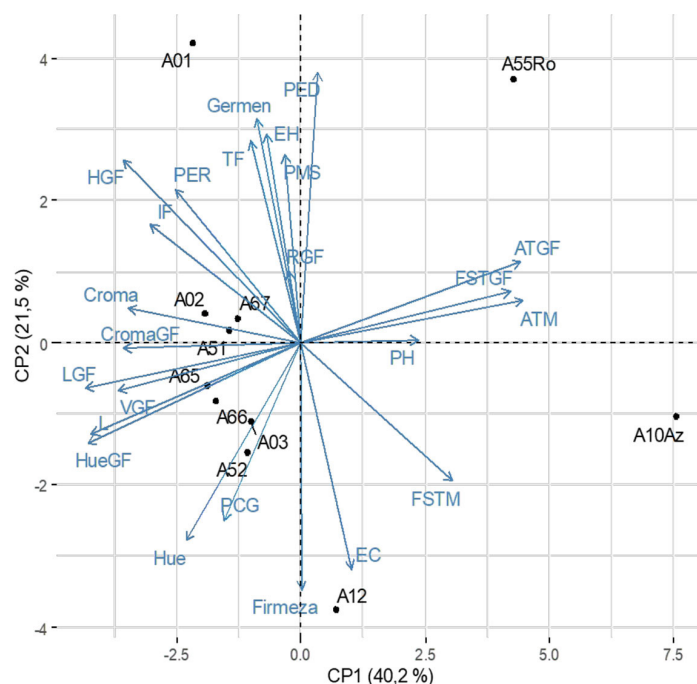


Figura 4. Análisis de componentes principales de las variables de caracterización física, calidad del grano floreado y contenido fitoquímico once poblaciones maíz de la raza Ancho provenientes del estado de Guerrero, México. Ciclo de producción primavera-verano 2022.

IF: Índice de flotación. **PCG:** Peso de cien granos. **PH:** Peso hectolítrico. **L:** Luminosidad. **Hue:** Ángulo de tono. **PED:** Pedicelo. **PER:** Pericarpio. **EH:** Endospermo harinoso. **EC:** Endospermo córneo. **TF:** Tiempo de floreado. **VGF:** Volumen del grano floreado. **RGF:** Rendimiento de maíz a grano floreado. **HGF:** Humedad del grano floreado. **PMS:** Pérdida de materia seca. **LGF:** Luminosidad del grano floreado. **HueGF:** Ángulo de tono del grano floreado. **CromaGF:** Cromo del grano floreado. **ATM:** Antocianinas totales en maíz. **ATGF:** Antocianinas totales en grano floreado. **FSTM:** Fenoles solubles totales en maíz. **FSTGF:** Fenoles solubles totales en grano floreado.

Figure 4. Principal component analysis of the physical characterization variables, flowering grain quality and phytochemical content of eleven maize populations of the Ancho race from the state of Guerrero, Mexico. Spring-summer 2022 production cycle.

IF: Flotation index. **PCG:** 100-grain weight. **PH:** Test weight. **L:** Luminosity. **Hue:** Hue angle. **PED:** Pedicel. **PER:** Pericarp. **EH:** Floury endosperm. **EC:** Vitreous endosperm. **TF:** Flowering time. **VGF:** Flowered grain volume. **RGF:** Yield of maize to flowered grain. **HGF:** Flowered grain moisture. **PMS:** Dry matter loss. **LGF:** Flowered grain luminosity. **HueGF:** Flowered grain hue angle. **CromaGF:** Chroma of the expanded grain. **ATM:** Total anthocyanins in corn. **ATGF:** Total anthocyanins in flowered grain. **FSTM:** Total soluble phenols in corn. **FSTGF:** Total soluble phenols in flowered grain.

Discusión

La raza Ancho se caracteriza por granos de gran tamaño (peso de cien granos > 45 g), suaves (índice de flotación > 73 %) y de forma triangular apastillada, rasgos que la distinguen como una raza de usos especiales, principalmente para la elaboración de pozole. Aunque son pocos los estudios sobre ella, los resultados coinciden con lo encontrado respecto a la amplia variabilidad en el tamaño del grano (Hernández Galeno et al., 2014; Vázquez-Carrillo et al., 2016; 2017).

La suavidad del grano está determinada por la proporción de endospermo harinoso. A diferencia de otras razas como la Cacahuacintle, cuyo endospermo es completamente harinoso (Flores-Hernández et al., 2023), la raza Ancho tiene grano dentado, por lo que el endospermo córneo siempre está presente. De acuerdo con el índice de flotación, las poblaciones A10Az, A12 y A67 correspondieron a endospermo suave, y el resto, a endospermo muy suave. El mayor contenido de endospermo harinoso se registró en A67 y A01 con 57,07 y 53,92 %, respectivamente. El porcentaje de esta característica es un factor importante en la elaboración del pozole, pues favorece una gelatinización del almidón más rápida; sin embargo, no es un factor definitivo.

En A12 y A66 los porcentajes de endospermo córneo fueron altos, lo que podría limitar la absorción de agua y, en consecuencia, el hinchamiento de los gránulos de almidón. En la calidad del grano floreado, las estructuras del grano de mayor importancia son el endospermo harinoso y córneo. No obstante, bajos porcentajes de pedicelo y pericarpio disminuyen la pérdida de sólidos, lo que podría favorecer el incremento del rendimiento.

El peso hectolítrico, al igual que el índice de flotación, es una medida indirecta de la suavidad del grano; a mayor peso, más duro es el grano. La dureza está determinada por el tamaño y el grado de empaquetamiento del gránulo de almidón. En los maíces harinosos, los gránulos son de forma esférica y más grandes que en los maíces dentados, lo que origina más espacios intracelulares y, por ende, menor densidad (Cui et al., 2014). En el caso de la raza Ancho, la presencia de endospermo córneo se refleja en valores de peso hectolítrico superiores a los de otras razas pozoleras como la raza Cacahuacintle, en la que se han reportado pesos inferiores a 63 kg hL⁻¹ (Flores-Hernández et al., 2023; Hernández Galeno et al., 2014).

La calidad del grano floreado se refiere a poblaciones en las que se han logrado altos volúmenes de grano floreado, humedad y rendimiento, junto con bajos tiempos de floreado y pérdida de materia seca; esta calidad depende de las características físicas del grano. De acuerdo con el análisis de componentes principales, los atributos físicos que más influyeron sobre esta variable fueron el IF y el peso de cien granos. Sin embargo, se deben considerar otros parámetros, pues la combinación de ellos es lo que aumenta este factor.

La población A67, pese a presentar un bajo IF (78,5 %), registró el valor más alto de volumen del grano floreado (430 cm³/100 g), debido, posiblemente, a su elevada proporción de endospermo harinoso (57,07 %) y a su tamaño de grano elevado (81,3 g). Las poblaciones con VGF superiores a 400 cm³/g comparten características como granos grandes, alto índice de flotación (>96 %) y elevada proporción de endospermo harinoso (>45 %). Resultados similares de volumen del grano floreado se han reportado en razas como Elotes Occidentales y Cacahuacintle (384-440 cm³/100 g) (Vázquez-Carrillo et al., 2024).

Las poblaciones con volúmenes de grano floreado superiores a 400 cm³/g tuvieron altos rendimientos debido a la mayor absorción de agua durante la etapa de floreado (humedad > 64,4 %) y a la menor pérdida de sólidos durante la nixtamalización y el floreado. La excepción fue A03, que, a pesar de su alto VGF, mostró el rendimiento más bajo (2,08 kg de GF/kg de maíz). La elevada humedad del grano floreado provocó granos suaves, con valores de firmeza inferiores a 1,33 N, ya que, a mayor humedad, mayor gelatinización de los almidones. Sin embargo, en poblaciones de la raza Cacahuacintle se han reportado valores entre 0,47 y 0,58 N (Flores-Hernández et al., 2023).

Otros factores que pueden afectar el volumen del grano floreado son los contenidos de amilosa y amilopectina, y el grosor de la capa de aleurona, la cual actúa como una barrera que evita la entrada de agua y el hinchamiento de los gránulos de almidón (Bonifacio Vázquez et al., 2005). Además, el tamaño, forma y grado de empaquetamiento del gránulo de almidón (Narváez-González et al., 2007), así como su estabilidad a la gelatinización, afectan el volumen y el tiempo de floreado. Por lo tanto, para un mayor entendimiento de la calidad del grano floreado y su impacto en los almidones, futuras investigaciones deben complementarse con estudios de microscopía.

El análisis del perfil de viscosidad es una herramienta útil para identificar una mayor calidad del GF. Se ha reportado que la mejor calidad pozolera en maíces de la raza Cacahuacintle se obtiene con un pico de viscosidad superior a 3600 cP (Vázquez-Carrillo et al., 2016). En la raza Ancho, al tener granos con endospermo tanto harinoso como córneo, los picos de viscosidad son menores. No obstante, las muestras con la mayor estabilidad de sus

almidones (*breakdown* entre 280 y 600 cP) presentaron volúmenes de GF superiores a 400 cm³/g (A01, A02, A03, A65 y A67), debido a que dicha estabilidad permitió mantener su estructura hinchada y generar un mayor volumen. Además, estas poblaciones también presentaron bajas temperaturas de pasta y menor tiempo al pico de viscosidad, lo que indica una rápida cocción de sus almidones.

El procesamiento modificó el color del grano floreado, perdiendo su luminosidad e incrementando el ángulo de tono hacia colores amarillos. El primero se atribuye a la ausencia del pericarpio y a la gelatinización de los almidones, mientras que el segundo pudo deberse al efecto de la cal (Muñoz-Hernández et al., 1999). Las poblaciones pigmentadas A10Az y A55Ro conservaron parte de su color debido a que la capa de aleurona permaneció aun después del proceso de floreado (Figura 1). Además, las antocianinas de la capa no se degradan en su totalidad, sino que se lixivian al caldo de cocción (García-Cruz et al., 2023; Peralta-Veran et al., 2022). Por lo tanto, el uso de poblaciones pigmentadas en la elaboración de pozole puede favorecer un mayor consumo de antioxidantes.

Las propiedades tecnológicas, en conjunto con el contenido fitoquímico en el alimento final, aportan más información para la selección de genotipos sobresalientes. Como era de esperarse, las poblaciones pigmentadas presentaron el mayor contenido fenólico, seguidas de A12, A03, A65 y A51. Las poblaciones A67 y A03 destacaron por exhibir la mejor calidad del grano floreado y un elevado contenido fenólico. Las investigaciones futuras deben orientarse a la caracterización de la raza Ancho en otras zonas de distribución.

Conclusiones

Se encontró una amplia variabilidad en las características físicas, de pastificación, de calidad del grano floreado y del contenido fitoquímico de la raza Ancho proveniente del estado de Guerrero, México. Esta raza se caracterizó por granos dentados, apastillados de forma triangular y con una alta proporción de endospermo córneo (24-45 %). Aunque no se identificaron altos picos de viscosidad (1809-3326 cP), la estabilidad de los almidones (*breakdown*) se asoció con el alto volumen del grano floreado.

Las poblaciones de grano blanco A65, A67 y A03 obtuvieron la mejor calidad del grano floreado, así como los mayores rendimientos, volúmenes de grano floreado y retención de compuestos fenólicos. Por su parte, las poblaciones pigmentadas son una alternativa en la elaboración de pozole debido al creciente interés en el consumo de antioxidantes.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por financiar esta investigación a través del proyecto “Mejoramiento genético y registro de variedades de maíz para el trópico bajo de México y sus nichos ecológicos” (n.º 10295635543).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Aguilar Juárez, J. A. (2016). *La diversidad genética de maíz Ancho en México* [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. Repositorio del Colegio de Postgraduados. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/3433>
- Bonifacio Vázquez, E. I., Salinas Moreno, Y., Ramos Rodríguez, A., & Carrillo Ocampo, A. (2005). Calidad pozolera en colectas de maíz cacahuacintle. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 28(3), 253-260. <https://doi.org/10.35196/rfm.2005.3.253>
- Caballero-García, M. A., Córdova-Téllez, L., & López-Herrera, A. de J. (2019). Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 42(4), 357-366. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.357-366>
- Cereals & Grains Association. (2020). Approved methods of analysis (11.^a ed.).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (s. f.). *Ancho*. Recuperado el 20 de octubre de 2025 de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/OchoH/Ancho>
- Cui, L., Dong, S., Zhang, P., & Liu, P. (2014). Starch granule size distribution and morphogenesis in maize (*Zea mays* L.) grains with different endosperm types. *Australian Journal of Crop Science*, 8(11), 1560-1565. https://www.cropj.com/cui_8_11_2014_1560_1565.pdf
- Flores-Hernández, L. A., Castillo-González, F., Vázquez-Carrillo, M. G., Livera-Muñoz, M., Benítez-Riquelme, I., Nieto-Sotelo, J., & Ramírez-Hernández, A. (2023). Composition and flowering quality of Cacahuacintle maize populations from the high valleys of Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*, 78, 351-357. <https://doi.org/10.1007/s11130-023-01062-w>
- García-Cruz, L., Vázquez-Carrillo, M. G., & Preciado-Ortiz, R. E. (2023). Flowered grain quality and phytochemical content of non-conventional maize hybrids from the Mexican Subtropics across three growing cycles. *Plants*, 12(14), Artículo 2691. <https://doi.org/10.3390/plants12142691>
- Gómez-Montiel, N. O., Cantú-Almaguer, M. Á., Hernández-Galeno, C. del Á., Vázquez Carrillo, M. G., Aragón Cuevas, F., & Palemón Alberto, F. (2014). V-237 AN, cultivar mejorado de maíz “Ancho Pozolero” para la región semicálida de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7), 1315-1319. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i7.1114>
- Hernández Galeno, C. del Á., Salinas Moreno, Y., Antonio López, P., Santacruz Varela, A., Castillo González, F., & Corona Torres, T. (2014). Calidad pozolera en poblaciones de maíz Cacahuacintle de los Valles Altos de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(4), 703-716. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i4.932>
- Muñoz-Hernández, R. A., Calderón, A., Cruz-Orea, A., Tomas, S., Sánchez-Sinécio, F., & Peña-Rodríguez, G. (1999). Caracterización óptica de centros absorbentes en películas biopoliméricas obtenidas de pericarpio de maíz. *Superficies y Vacío*, 8, 89-93.
- Narváez-González, E. D., Figueroa Cárdenas, J. de D., Suketoshi, T., Castaño Tostado, E., & Martínez Peniche, R. Á. (2007). Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 30(3), 269-277. <https://doi.org/10.35196/rfm.2007.3.269>
- Peralta-Veran, L., Espinosa-Leal, C., Escalante-Aburto, A., Preciado-Ortiz, R. E., Puente-Garza, C. A., Serna-Saldivar, S. O., & García-Lara, S. (2022). Effects of pozole broth production on phenolic acids and antioxidant activity of specialty maize landraces. *Journal of Cereal Science*, 107, Artículo 103543. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103543>

- Preciado-Ortiz, R. E., Ochoa-Centeno, N. J., Vázquez-Carrillo, M. G., Santiago-Ramos, D., & Terrón-Ibarra, A. D. (2022). Grain yield, physical and pasting properties, and anthocyanins of non-conventional pigmented corn hybrids for pozole end-use adapted to subtropical regions. *Applied Food Research*, 2(2), Artículo 100180. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100180>
- Salinas, Y., & Vázquez, M. G. (2006). *Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz* (Folleto Técnico Núm. 24). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Sant'Anna, V., Gurak, P. D., Ferreira Marczak, L. D., & Tessaro, I. C. (2013). Tracking bioactive compounds with colour changes in foods - A review. *Dyes and Pigments*, 98(3), 601-608. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2013.04.011>
- Vázquez-Carrillo, M. G., Hernández-Montes, A., Palacios-Rojas, N., García-Cruz, L., Rosales-Nolasco, A., Molina, A., & Palacios-Pola, G. (2024). Comparing traditional and commercial nixtamalization of three maize landraces: impact on pozole quality and consumer acceptance. *Journal of Ethnic Foods*, 11, Artículo 11. <https://doi.org/10.1186/s42779-024-00227-5>
- Vázquez-Carrillo, M. G., Palos-Hernández, A., González-Paramás, A. M., Santos-Buelga, C., García-Cruz, L., Arellano-Vázquez, J. L., & Rojas-Martínez, I. (2025). Blue maize with pigmented germ: Phytochemical compounds and tortilla color. *Food Chemistry*, 463(1), Artículo 141109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141109>
- Vázquez Carrillo, M. G., & Santiago Ramos, D. (2013). Características físicoquímicas y calidad del pozole del maíz cacahuacintle procesado mediante tres métodos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(Supl. 3-A), 357-366. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-S3-A.357>
- Vázquez-Carrillo, M. G., Santiago-Ramos, D., Domínguez-Rendón, E., & Audelo-Benites, M. A. (2017). Effects of two different pozole preparation processes on quality variables and pasting properties of processed maize grain. *Journal of Food Quality*, 2017(1), Artículo 8627363. <https://doi.org/10.1155/2017/8627363>
- Vázquez-Carrillo, M. G., Santiago-Ramos, D., & Palacios-Rojas, N. (2016). *Calidad industrial y nutricional de razas mexicanas de maíz pozolero*. Biblioteca Básica de Agricultura.