



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 en once poblaciones de maíz de la raza Ancho provenientes del estado de Guerrero. **Materiales y métodos.** Las colectas se llevaron a cabo en cinco municipios del estado de Guerrero, México, durante el ciclo de producción primavera-verano 2022. Se determinaron las características físicas del grano y se realizó la nixtamalización por el método tradicional para evaluar la calidad del grano floreado. Las variables se compararon mediante análisis de varianza, seguido de la prueba de comparación múltiple Tukey ($p \leq 0,05$). Adicionalmente, se realizó un análisis de componentes principales. **Resultados.** Las poblaciones mostraron amplia variabilidad en características físicas como peso de cien granos (47,8-99,85 g), dureza de endospermo (73,5-99 %), color, propiedades de pastificación y contenido fenólico. En términos de calidad del grano floreado (GF), destacaron las poblaciones A67, A65 y A02 por sus altos rendimientos y volumen del grano floreado, así como bajos tiempos de cocción. El contenido fenólico en GF se redujo en algunos casos hasta 79,8 %. La mayor retención de fenoles solubles totales y antocianinas totales en GF se encontró en la población A10Az, de grano 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 con 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), dentro de las cuales existen maíces denominados “de especialidad”, debido a que se utilizan para la preparación de alimentos específicos. El pozole es un platillo cuya base es el maíz. Para su elaboración se han descrito dieciséis razas nativas que pueden emplearse con este propósito, debido a que presentan granos grandes y harinosos (Vázquez-Carrillo et al., 2016). Por su alto volumen de demanda, la raza Ancho ocupa el segundo lugar para la elaboración de pozole, solo después de la raza Cacahuacintle, y aunque la comercialización en su mayoría es de manera local, en zonas cercanas a los lugares de producción, también se distribuye ampliamente en el centro del país (Vázquez-Carrillo et al., 2016).

La raza Ancho se encuentra clasificada 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 también 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 se compone de 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 realiza un lavado destinado a eliminar el exceso de cal y a desprender el pericarpio. La segunda fase corresponde al “descabezado” del grano, que implica la remoción manual del pedicelo. Finalmente, se desarrolla el proceso de “floreado”, en el cual el grano previamente descabezado se cuece nuevamente en agua (Vázquez-Carrillo et al., 2024).

Durante la etapa de floreado, la hidratación provoca la expansión del grano y su fractura progresiva, lo que le confiere una morfología semejante a una flor. A partir de esta característica deriva la denominación “grano floreado” (Vázquez-Carrillo et al., 2016). La calidad de este grano está determinada 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 los rasgos propios de dicha raza. No obstante, poco se conoce 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 en 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, provenientes de los municipios de Huitzoco (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) del estado de Guerrero, México. Nueve poblaciones fueron de color blanco-cremoso (A01, A02, A03, A12, A52, A53, 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 2022.

Características físicas del grano

De cada población se trabajó con 1 kg de grano limpio, sin daños físicos ni por plagas. Se evaluó el peso hectolítrico (PH) 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, para descender paulatinamente a 50 °C hasta 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 la viscosidad mínima).

Proceso de nixtamalización y floreado del grano

Se siguió el proceso tradicional de obtención del grano floreado para 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 nixtamalización se asignó de acuerdo con el IF: 25 min y 30 min para maíces muy suaves y suaves, respectivamente. Después de 14 h de reposo, el nixtamal se lavó con 250 mL de agua hasta remover 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, al tomar 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 determinó 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 determinó en un analizador de textura usando una sonda de aguja TA9 (1,0 mm de diámetro y 43 mm de longitud) a una distancia de penetración de 0,5 mm y una velocidad de 2 mm s^{-1} con valor meta del 50 %. La prueba se realizó en la cara opuesta a la ubicación del germen; 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 que 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). La cuantificación de FST se realizó con 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 maíz azul. La cuantificación se llevó a cabo con curvas estándar de las agliconas de cianidina y pelargonidina. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de cianidina (ECy) o pelargonidina (EPg) por 100 g de muestra seca.

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron con 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 determinar la diferencia entre las colectas. La caracterización del grano y la calidad pozolera se determinaron por duplicado, y 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 evaluadas 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 ($p \leq 0,05$), a excepción de A52 y A67. El mayor valor lo 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 A55 y A02.

En la variable índice de flotación las poblaciones con los valores superiores a 89,5 % no presentaron diferencia estadística significativa ($p > 0,05$) (Cuadro 1). El peso hectolítrico, por su parte, osciló de 64,1 a 72,2 kg hL⁻¹, donde las poblaciones A10Az y A12 fueron las que mostraron más altos valores de medias, estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$) al resto. 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 de luminosidad, ángulo de tono y cromaticidad correspondieron a las poblaciones de granos pigmentados (A10Az y A55Ro).

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. Physical traits of Ancho maize race kernels 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, $p \leq 0,05$).

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 de la variable 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, donde la población A01 fue la única estadísticamente diferente ($p \leq 0,05$), con un valor de 2,69 %.

En las variables de contenido de pericarpio y germen, aunque se encontraron diferencias estadísticas significativas, la mayoría de las poblaciones fueron estadísticamente similares entre sí de acuerdo con el análisis de medias. Por su parte, las variables endospermo harinoso y endospermo córneo presentaron el mayor número de grupos. En el contenido de endospermo harinoso, las poblaciones A67 y A01 presentaron los valores más altos, y

estadísticamente similares entre ambos ($p > 0,05$); mientras que en el contenido de endospermo córneo 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:** Flouy 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 las variables relacionadas con la calidad del grano floreado, el análisis de varianza mostró que solo en la variable pérdida de materia seca no se encontraron 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 ($R^2 = 0,66-0,80$) en 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 y osciló de 80 a 314 min (Cuadro 3). El TF más alto se registró en la población A01 y fue estadísticamente diferente a las demás poblaciones ($p \leq 0,05$). En segundo lugar se ubicó el genotipo A51, seguido de A55Ro, A02, A52 y A12, los cuales no presentaron diferencias estadísticas entre sí ($p > 0,05$), con valores entre 152,5 y 172,5 min. El volumen del grano floreado (VGF) se encontró en el intervalo de 327,5 a 430,0 cm^3 100 g^{-1} (Cuadro 3); solo los genotipos A55Ro y A67 fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

En la variable rendimiento, los valores se encontraron en el intervalo de 2,08 a 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 fue estadísticamente similar a todas las poblaciones excepto a la A03 (Cuadro 4). La humedad del grano floreado (HGF) presentó diferencias estadísticamente 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 estadística significativa entre poblaciones ($p > 0,05$).

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 no 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, $p \leq 0.05$).

La dureza del grano floreado se ubicó entre 0,71 y 2,17 N. Los valores de dureza más bajos correspondieron a las poblaciones A55Ro y A02, sin diferencia estadística significativa ($p > 0,05$), las cuales se caracterizaron 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 las poblaciones A03 y A10Az (Cuadro 4).

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

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

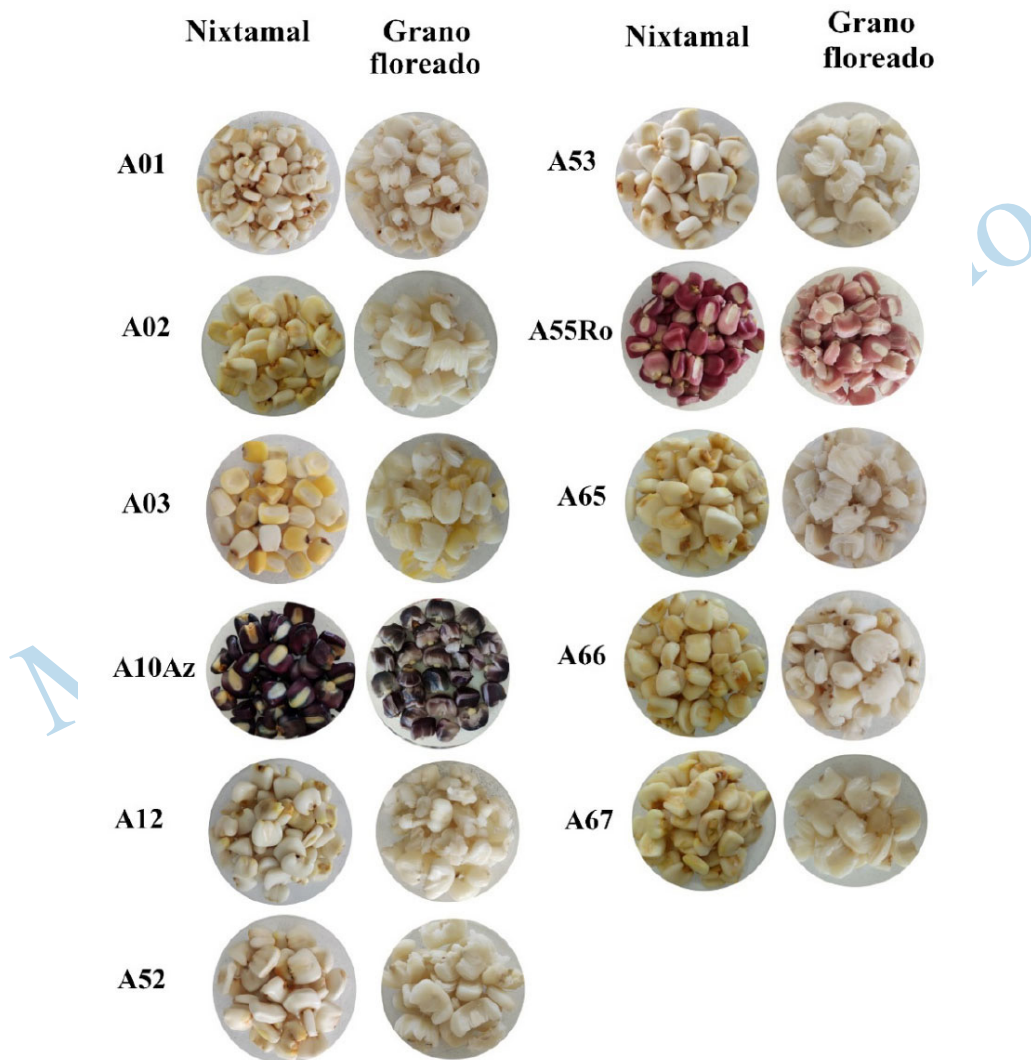


Figura 1. Aspecto del nixtamal y del grano floreado de once poblaciones maíces de la raza Ancho del estado de Guerrero, México, del ciclo de producción primavera-verano 2022.

Figure 1. Visual characteristics of nixtamal and flowered grain from eleven corn populations of the Ancho variety in Guerrero, Mexico, during the 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). Las temperaturas de pastificación más altas correspondieron a las poblaciones A10Az, A12 y A01; las primeras dos correspondieron a maíces de endospermo suave (IF 73 y 77 %), en tanto que la colecta A01 fue un maíz de 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 que presentaron mayor temperatura de pastificación también mostraron mayor tiempo al pico de viscosidad. En cuanto a la viscosidad máxima, los valores estuvieron en un intervalo de 1809 a 3326 cP; destacaron las poblaciones A52 y A12 con VP de 3326 y 2881 cP, respectivamente. En el grano floreado, no se observó la formación de un pico de viscosidad.

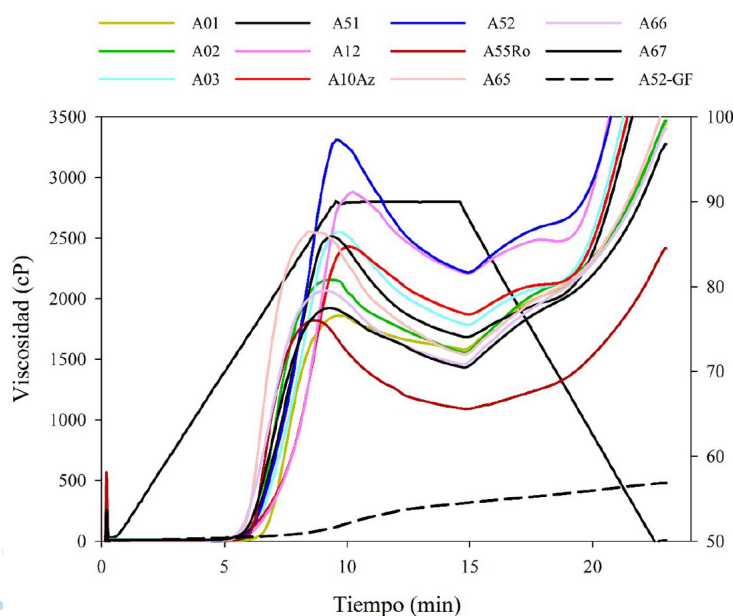


Figura 2. Propiedades de formación de pasta del grano crudo y grano floreado (A52-GF) de once poblaciones maíces de la raza Ancho del estado de Guerrero, México, del ciclo de producción primavera-verano 2022.

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 en las poblaciones estudiadas osciló de 91,25 a 136,89 mg EAF/100 g de muestra seca, con diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) (Figura 3A). La población A10Az, a pesar de mostrar el mayor valor, fue estadísticamente similar a A12. La población A55Ro, de color rosa-violeta, presentó un menor contenido fenólico que la población de color azul, aunque sin diferencias

estadísticas ($p > 0,05$) 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, significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

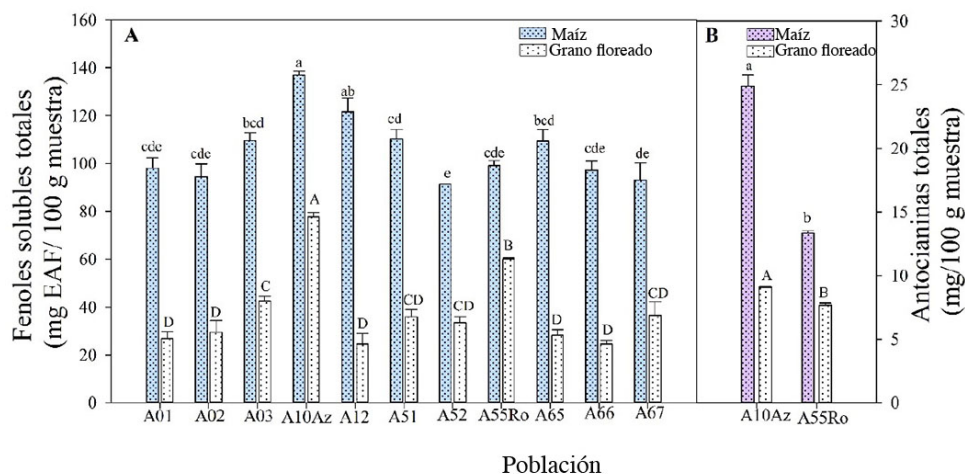


Figura 3. Contenido de fenoles solubles totales en maíz y grano floreado (A) y contenido de antocianinas totales en maíz y grano floreado (B) de once poblaciones de maíz de la raza Ancho, del estado de Guerrero, México, del ciclo de producción primavera-verano 2022.

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, in 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 AT (Figura 3B) en las poblaciones pigmentadas A10Az y A55Ro 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, siendo ambos 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. Las poblaciones pigmentadas se separaron del grupo y se situaron cerca de los vectores de las variables del contenido fitoquímico (Figura 4).

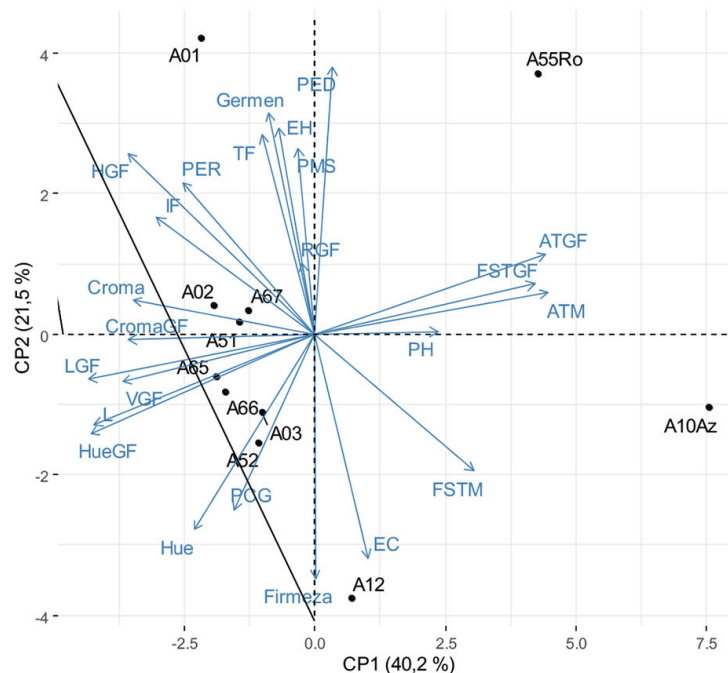


Figura 4. Análisis de componentes principales de las variables de caracterización física, calidad del grano floreado y contenido fitoquímico once poblaciones maíces de la raza Ancho del estado de Guerrero, México, del ciclo de producción primavera-verano 2022.

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:** Croma 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 variables related to physical characterization, quality of flowered grain, and phytochemical content in eleven maize populations of the Ancho race from Guerrero, Mexico, during the 2022 spring–summer 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 volumen. **RGF:** Yield of maize to flowered grain. **HGF:** Flowered grain moisture. **PMS:** Dry matter loss. **LGF:** Flowered grain luminosity. **HueGF:** Flowered grain hue angle. **GF chroma:** 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 presentar granos de gran tamaño (peso de cien granos > 45 g) y suaves (índice de flotación > 73 %), de forma triangular apastillada, que hacen que sobresalgan como una raza de usos especiales, principalmente para la elaboración de pozole. Existen pocos estudios sobre la raza Ancho; sin embargo, 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 que, a diferencia de otras razas como Cacahuacintle donde el 100 % del endospermo es harinoso (Flores-Hernández et al., 2023), en la raza Ancho el tipo de grano es dentado, por lo que el endospermo córneo siempre está presente. De acuerdo con el índice de flotación, las poblaciones A10Az, A12 y A67 fueron de endospermo suave, y el resto correspondió a endospermo muy suave. Las poblaciones que mostraron el mayor contenido de endospermo harinoso fueron A67 y A01 con 57,07 y 53,92 %, respectivamente. El porcentaje de endospermo harinoso es un factor importante en la elaboración del pozole, pues de este depende que la gelatinización del almidón ocurra en menor tiempo; sin embargo, no es un factor definitivo.

En dos poblaciones (A12 y A66) los porcentajes de endospermo córneo fueron altos, lo que podría limitar la absorción de agua y con ello 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 disminuyeron la pérdida de sólidos y podrían 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 valor de peso hectolítrico, más duro es el grano. La dureza del grano 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 traduce en un mayor peso hectolítrico respecto a otras razas pozoleras como el Cacahuacintle, donde se reportan valores de peso hectolítrico inferiores a 63 kg hL⁻¹ (Hernández-Galeno et al., 2014; Flores-Hernández et al., 2023).

La calidad del grano floreado se refiere a aquellas poblaciones con las que se logran altos volúmenes de grano floreado, humedad y rendimiento, 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, las características físicas que más influyeron sobre las variables de calidad del grano floreado fueron el índice de flotación y el peso de cien granos. Sin embargo, no deben ser los únicos parámetros a considerar, pues es la combinación de factores lo que conduce a una mayor calidad del grano floreado.

La población A67, aun cuando presentó un bajo índice de flotación (78,5 %), tuvo el valor más alto de volumen del grano floreado (430 cm³/100 g), lo que pudo deberse a la más alta proporción de endospermo harinoso (57,07 %) y a un tamaño de grano elevado (81,3 g). Las poblaciones con volúmenes de grano floreado superiores a 400 cm³/g comparten características como granos grandes, alto índice de flotación (>96 %) y elevada proporción de endospermo harinoso (>45%). Resultados similares respecto al 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 la población A03, que, a pesar de su alto volumen del grano floreado, 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 barrera que evita que el agua entre al grano y con ello causar 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, también 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 mayor calidad del grano floreado. Se ha reportado que la mejor calidad pozolera en maíces de la raza Cacahuacintle se tiene con 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 de 3600 cP. No obstante, se identificó que las muestras con la mayor estabilidad de sus almidones (breakdown entre 280 y 600 cP) presentaron volúmenes de grano floreado superiores a 400 cm³/g (poblaciones 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 mostraron bajas temperaturas de pasta y menor tiempo al pico de viscosidad, lo que indica una rápida cocción de sus almidones.

El color del grano floreado se modificó por efecto del procesamiento; perdió luminosidad y se incrementó el ángulo de tono. La pérdida de luminosidad fue causada por la ausencia del pericarpio y la gelatinización de los almidones, mientras que los incrementos del ángulo de tono hacia tonos amarillos pudieron originarse por el efecto de la cal (Muñoz-Hernández et al., 1999). Las poblaciones A10Az y A55Ro de grano pigmentado mantuvieron parte de su color en grano floreado, debido a que la capa de aleurona permaneció en el grano aun después del proceso de floreado (Figura 1). Además, las antocianinas de la capa de aleurona no se degradan en su totalidad, sino que se lixivian al caldo de cocción (Peralta-Veran et al., 2022; García-Cruz et al., 2023). 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 toma de decisiones en la selección de genotipos sobresalientes. Como era de esperarse, las poblaciones pigmentadas presentaron el mayor contenido fenólico, seguidas de las poblaciones 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 tener granos dentados, apastillados de forma triangular, con una alta proporción de endospermo córneo (24-45 %). No se identificaron altos picos de viscosidad (1809-3326 cP). Sin embargo, la estabilidad de los almidones (*breakdown*) se asoció con el alto volumen del grano floreado.

La mejor calidad del grano floreado se encontró en las poblaciones de grano blanco A65, A67 y A03. Estas, además de tener los mayores rendimientos y volumen del grano floreado, presentaron mayor retención de compuestos fenólicos. Las poblaciones pigmentadas pueden ser una opción 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/bitstream/handle/10521/3433/Aguilar_Juarez_JA_MC_Genetica_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 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, 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. d. 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-Sinecio, 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 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/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, 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.