



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Caracterización de granos y harinas de maíz raza Jala (*Zea mays* L.) del estado de Nayarit Characterization of Jala landrace maize grains and flours (*Zea mays* L.) from Nayarit, Mexico

Bello-Lara, J.^{a,b}, León-Fernández A.^{a,b*}, Jiménez-Zurita, J.^c, Balois-Morales, R.^c, López-Guzmán, G.^c, Zamora-Gazga, V.^d, Martínez-Ortíz, M.^e, Alcaraz-González, A.^f

^a Estancias Posdoctorales-Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología, Coordinación de Apoyos.

^b Unidad de Tecnología de Alimentos, Secretaría de Investigación y Posgrado; Universidad Autónoma de Nayarit; Ciudad de la Cultura S/N, C. P. 63000, Tepic, Nayarit, México.

^c Unidad Académica de Agricultura, Programa de Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias; Universidad Autónoma de Nayarit; Carretera Tepic-Compostela km 9, C. P. 63780, Xalisco, Nayarit, México.

^d Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tepic, Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, División de Estudios de Posgrado, Av. Tecnológico No 2595, Col. Lagos del Country CP 63175, Tepic, Nayarit México, México.

^e Programa de Maíz. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Av. Biodiversidad 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. C.P. 47600. México. Departamento/Facultad, División, Campus, Universidad/Institución.

^f Centro de estudios tecnológico industrial y de servicios No. 100. Puerto Rico No 36, Miravalles CP 63184, Tepic, Nayarit.

juan.bello@uan.edu.mx; andres_leon@uan.edu.mx*; jose-jimenez@uan.edu.mx; rmbalois@uan.edu.mx; graciela.lopez@uan.edu.mx; vzamora@tepic.tecnm.mx; martinez.miguel@inifap.gob.mx; alejandro.alcaraz.ce100@dgeti.sems.gob.mx

Innovación tecnológica: Caracterización fisicoquímica, nutrimental y funcional del maíz raza Jala de Nayarit, generando insumos científicos para su valorización y potencial en desarrollos agroindustriales.

Área de aplicación industrial: Aplicación en la industria alimentaria y biotecnológica para obtención de harinas diferenciadas, productos nutraceuticos y biopolímeros de valor agregado.

Recibido: 10 abril 2025

Aceptado: 29 noviembre 2025

Abstract

Corn tortillas are a staple food in Mexico; in rural areas, the average consumption is 217.9 g per person per day (8 tortillas), whereas in urban areas it is 155.4 g (6 tortillas). In the state of Nayarit, the Jala maize landrace—known locally as “maíz de húmedo”—is traditionally cultivated and valued for its floury texture and sweet flavor. However, this landrace has undergone genetic drift associated with a shrinking cultivated area, farmland abandonment, and climate change, which have reduced ear size and threaten the conservation of native maize varieties.

To assess its agrifood potential, the morphological, physical, and physicochemical characteristics of the grain and flours produced from maize harvested in Jala and Compostela, Nayarit, were evaluated. Morphological parameters (ear length, number of rows and kernels, ear and cob diameters and weights), physical traits (test weight, flotation index, and 100-kernel weight), and flour properties (particle size, pH, titratable acidity, moisture, ash, lipid, and protein content) were analyzed.

Maize from Coapan exhibited longer ears, more rows, and a higher number of kernels per row, whereas maize from La Meseta showed larger ear and cob diameters, higher cob weight, and greater test weight. In the flours, La Meseta had higher moisture (10.7%) and lipid content, while Coapan had higher protein content (14.7%). These differences reflect the intra-race diversity of the Jala maize landrace and confirm that, despite variation between localities, this maize retains valuable nutritional and functional attributes that support its potential use and application in the food industry.

Keywords: Jala maize, Physicochemical characterization, Native maize, Nutritional value, Food industry.

Resumen

Las tortillas de maíz son un alimento esencial en México; en zonas rurales el consumo promedio es de 217.9 g por persona al día (8 tortillas) y en zonas urbanas de 155.4 g (6 tortillas). En Nayarit se cultiva el maíz raza Jala, conocido como “maíz de húmedo”, apreciado por su textura harinosa y sabor dulce. No obstante, esta raza ha experimentado deriva genética asociada a la disminución de la superficie cultivada, el abandono del campo y el cambio climático, factores que han reducido el tamaño de sus mazorcas y puesto en riesgo la conservación de los maíces nativos.

Con el objetivo de valorar su potencial agroalimentario, se evaluaron las características morfológicas, físicas y fisicoquímicas del grano y de las harinas obtenidas de maíces cosechados en Jala y Compostela, Nayarit. Se analizaron parámetros morfológicos (longitud de mazorca, número de hileras y granos, diámetros y pesos de mazorca y olote), físicos (peso hectolítrico, índice de flotación y peso de 100 granos) y de harinas (tamaño de partícula, pH, acidez titulable, humedad, cenizas, lípidos y proteínas).

Los maíces de Coapan mostraron mayor longitud de mazorca, más hileras y mayor número de granos por hilera, mientras que los de La Meseta presentaron mayores diámetros y peso de olote, así como un peso hectolítrico superior. En las harinas, La Meseta registró mayor humedad (10.7%) y contenido lipídico, mientras que Coapan destacó por un mayor contenido de proteína (14.7%). Estas diferencias reflejan la diversidad intra-raza y confirman que, a pesar de la variación entre localidades, el maíz Jala conserva atributos nutricionales y funcionales valiosos para su aprovechamiento y su potencial aplicación en la industria alimentaria.

Palabras clave: Maíz Jala, Caracterización fisicoquímica, Maíces nativos, Valor nutricional, Industria alimentaria.

Introducción

En México existe una gran diversidad de maíces, lo que se refleja en una amplia variación morfológica asociada a su tipo de polinización y a la adaptación a condiciones ambientales y ecológicas particulares de cada región (Torres-Morales *et al.*, 2022). La diversidad morfológica y agronómica de maíces nativos ha sido documentada en Tamaulipas (González-Martínez *et al.*, 2023), Morelos (Romero-Portillo *et al.*, 2018) y Chiapas (Torres-Morales *et al.*, 2022). En el estado de Nayarit se cultivan distintas variedades, entre las cuales destaca el maíz raza Jala por la longitud de sus mazorcas y su característico sabor dulce (Aguilar-Castillo *et al.*, 2006; Rice *et al.*, 2006). En el pasado, sus mazorcas alcanzaban hasta 60 cm de longitud; sin embargo, reportes recientes señalan un máximo de 45 cm, atribuible a un proceso de deriva genética que ha reducido la variabilidad y favorecido la fijación de alelos, con el consecuente aumento de homocigosis (Montes *et al.*, 2014).

La calidad organoléptica del maíz Jala lo convierte en un ingrediente con valor culinario en la elaboración de platillos y productos tradicionales de la región (Valdivia-Bernal *et al.*, 2010); constituye además una fuente energética importante, debido al almidón en el grano, que representa entre el 70 y 75 % del peso, seguido por las proteínas (8–12 %) y los lípidos (3–5 %) (López-Vázquez *et al.*, 2021). De acuerdo con la fracción del grano, se aprovechan distintas propiedades nutricionales: el endospermo está conformado en un 85–90 % por almidón, con pequeñas proporciones de proteína; el germen concentra la mayor parte de los lípidos (30–35 %) y proteínas (18–20 %), además de azúcares; mientras que el pericarpio aporta principalmente fibra dietaria (6–7 %) (Sánchez & Pérez, 2014). Adicionalmente, al igual que otros maíces criollos mexicanos como los de las razas

Chalqueño, Cónico y Tuxpeño, el maíz Jala presenta ventajas industriales asociadas a su textura, composición y rendimiento, características que han favorecido su uso tradicional y su preservación en sistemas agrícolas locales (González-Hernández *et al.*, 2018; Wellhausen *et al.*, 1952).

El proceso de transformación del maíz en harina, masa y finalmente tortilla depende tanto del tipo de grano como de factores tecnológicos, tales como molienda, adición de agua o aditivos, tiempo de remojo y tratamiento térmico. Estos influyen en la estructura del grano, en su composición química, en propiedades funcionales y valor nutricional (Rodríguez-Méndez *et al.*, 2013). Entre los métodos más relevantes destaca la nixtamalización, un procedimiento ancestral de origen mesoamericano que hoy en día se utiliza ampliamente para la producción de tortillas y otros alimentos tradicionales como el pozole (Fernández *et al.*, 2013). En comparación con el maíz de grano amarillo; el grano del maíz blanco sobresale en proteína, hierro, fósforo, calcio y tiamina, mientras que presenta valores menores en niacina, riboflavina y carotenoides, estos últimos precursores de vitamina A (Martínez-Damián *et al.*, 2018).

El maíz es considerado una de las principales fuentes de nutrientes en la dieta, con contenidos de proteína entre 9 y 10 % y niveles relevantes de magnesio, potasio y calcio (Chan-Chan *et al.*, 2021). No obstante, persisten pocos estudios orientados a razas nativas como el maíz Jala, lo cual limita el conocimiento sobre su potencial nutricional y funcional. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue caracterizar de manera morfológica, física y químico-proximal el grano, las harinas y los productos derivados de maíz raza Jala recolectados en cuatro localidades de los municipios de Jala y Compostela, Nayarit. Este estudio descriptivo y comparativo busca generar información que

contribuya a la revalorización y aprovechamiento de esta raza nativa en la industria alimentaria.

Materiales y equipos

Material vegetal

El material vegetal consistió en mazorcas de maíz raza Jala recolectadas durante la temporada de cosecha 2020 en cuatro parcelas particulares: tres en el municipio de Jala (Jala, Coapan y La Meseta) y una en el municipio de Compostela, Nayarit. La selección de parcelas se basó en disponibilidad de siembra de la raza Jala y acceso directo a productores; en cada parcela se muestrearon aleatoriamente 20 mazorcas ($N = 80$), evitando daño visible por plagas o enfermedades. Las mazorcas fueron entregadas por los productores y trasladadas el mismo día al Laboratorio de Análisis Especiales de la Unidad de Tecnología de Alimentos de la UAN para su caracterización.

En laboratorio, las mazorcas se registraron y desgranaron manualmente. Una fracción de grano por localidad se reservó para mediciones físicas (peso hectolítrico, índice de flotación y peso de 100 granos). El grano restante se molió en molino de cuchillas y la harina se tamizó ($< 250 \mu\text{m}$; malla 60) para asegurar homogeneidad. Las muestras se almacenaron en recipientes herméticos, a temperatura ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$) y protegidas de luz, hasta su análisis fisicoquímico y bromatológico.

Caracterización morfológica del maíz

La caracterización morfológica se realizó siguiendo los descriptores establecidos por el Proyecto Global de Maíces Nativos (Rincón-Sánchez *et al.*, 2010) y la base de datos de la CONABIO (2021). Las características evaluadas fueron: longitud de la mazorca, número de hileras, número de granos por hilera, diámetro de mazorca, diámetro de olote, peso de mazorca y peso de olote.

Para cada localidad se seleccionaron de manera aleatoria 20 mazorcas representativas por parcela ($N = 80$). La longitud de la mazorca y el número de hileras y de granos por hilera se determinaron con cinta métrica graduada en milímetros. El diámetro de la mazorca y del olote se midió con vernier digital ($\pm 0.01 \text{ mm}$). Los pesos de mazorca y olote se registraron en balanza analítica de precisión ($\pm 0.001 \text{ g}$). El peso de mazorca y olote se registró en base húmeda, es decir, con el contenido de humedad presente al momento de la cosecha. Todas las mediciones se realizaron por triplicado para garantizar reproducibilidad.

Caracterización física del grano

El peso hectolítrico se determinó en una balanza analítica compacta HR-250A siguiendo el método 55-10 de la AACC (2005), expresado como el peso del grano por unidad de volumen (kg hL^{-1}). El índice de flotación se evaluó de acuerdo con Salinas *et al.* (1992), mediante la inmersión de granos en una solución salina de densidad controlada y registrando el porcentaje de granos flotantes. El peso de 100 granos se obtuvo contando manualmente 100 granos al azar y pesándolos en una balanza OHAUS SP 6001, siguiendo la metodología de Salinas-Moreno *et al.* (2010).

Para la obtención de harinas, los granos se sometieron a trituration en seco en un molino de martillos (VEYCO, MPV-150) equipado con malla de $250 \mu\text{m}$ (malla 60), de acuerdo con la técnica descrita por Salinas-Moreno *et al.* (2010). La harina obtenida se homogenizó y almacenó en recipientes herméticos a temperatura ambiente hasta su análisis.

Nixtamalización

El proceso de nixtamalización se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Salinas-Moreno *et al.* (2010), con ligeras modificaciones. El grano de maíz se coció en

agua (relación 1:3 p/v) con la adición de 1% de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, p/v). La mezcla se llevó a ebullición y se mantuvo en cocción durante 45 minutos, para posteriormente dejarse en reposo por 12 horas a temperatura ambiente. Transcurrido este tiempo, el grano se lavó con agua corriente hasta eliminar el exceso de cal y pericarpio, y se dejó escurrir hasta alcanzar humedad superficial mínima.

El maíz nixtamalizado se molió en seco en un molino de martillos (VEYCO, MPV-150) con malla de 250 μm , obteniéndose la harina nixtamalizada. Las muestras se almacenaron en recipientes herméticos a temperatura ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$), protegidas de la luz hasta su análisis.

Análisis fisicoquímico y bromatológico de la harina de maíz

Las harinas se obtuvieron a partir de dos tipos de molienda: seca y nixtamalizada (procedimiento descrito en el subapartado de Nixtamalización). En ambos casos, el grano se molió en un molino de martillos (VEYCO, MPV-150) con malla de 250 μm , y las harinas se almacenaron en recipientes herméticos a temperatura ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$), protegidas de la luz hasta su análisis.

En las determinaciones fisicoquímicas, se evaluó el rendimiento de harina, considerado un índice de aprovechamiento del grano durante la molienda (Ponce-Ramírez *et al.*, 2016), la distribución de tamaño de partícula (ISI, 1999; modificado por Fernández-Muñoz *et al.*, 2008), el índice de blancura (García-Tejeda *et al.*, 2011) y la acidez titulable (ISI, 1999b). Además, se determinaron las propiedades de adhesión y dureza en masas elaboradas con harinas rehidratadas (Martínez-Flores *et al.*, 2014).

En el análisis bromatológico, correspondiente a la composición química, se determinaron

cenizas (AOAC 923.03, 2005), humedad (AOAC 925.45, 2005), lípidos (AOAC 945.38, 2005), fibra cruda (NMX-F-046-S-1980; actualizada NMX-F-804-SCFI-2018) y proteína (AOAC 990.03, 2005).

Diseño experimental y Análisis estadístico

Para cada variable de respuesta se empleó un diseño completamente al azar. En los rasgos físico-funcionales ($n = 13$: peso hectolítrico, índice de flotación, peso de 100 granos, rendimiento de harina, distribución de tamaño de partícula, acidez titulable) se ajustó un ANOVA de dos factores (Molienda $\times$ Localidad) con 2 niveles de molienda (seca y nixtamalización) y 4 localidades (Jala, Coapan, La Meseta, Compostela). De forma análoga, para las variables bromatológicas ($n = 6$) se aplicó ANOVA de dos factores (Molienda $\times$ Localidad) bajo el mismo arreglo 2×4 . En aquellos casos en que solo se evaluó molienda seca, se utilizó ANOVA de un factor (Localidad). Cada determinación analítica se realizó por triplicado ($n = 3$ por localidad y por tipo de molienda), y estos valores individuales se utilizaron para los análisis estadísticos, con lo cual se garantiza un número suficiente de datos por combinación de factores.

Cuando el ANOVA resultó significativo ($\alpha = 0.05$), se efectuaron comparaciones múltiples Tukey HSD. Los resultados se reportan como media $\pm$ desviación estándar (n indicado en cada tabla/figura). Los análisis se realizaron en Minitab® 21.3 (Minitab LLC, State College, PA, USA). La representación gráfica de los resultados se efectuó en Microsoft Excel (Microsoft 365).

Resultados

Caracterización morfológica del grano

En la longitud de las mazorcas de maíz raza Jala se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 1). El valor más alto se presentó en

Coapan (30.5 cm), seguido de Jala (29.5 cm) y La Meseta (28.83 cm), mientras que el valor más bajo correspondió a Compostela (25.67 cm). Estos resultados confirman que se evaluó exclusivamente la raza Jala cultivada en distintas localidades de Nayarit, lo que permite atribuir las diferencias observadas al efecto del ambiente y no a variabilidad entre razas. Wellhausen *et al.* (1951) describieron para la raza Jala una longitud promedio de 34.5 cm, con variaciones reportadas desde 30 cm hasta más de 50 cm en casos excepcionales. En comparación, los valores obtenidos en este estudio se encuentran por debajo del promedio histórico, lo que podría reflejar un proceso de deriva genética y cambios en las condiciones de cultivo a lo largo de las décadas. Otros autores han reportado longitudes menores en maíces nativos 18-22 cm (Montes *et al.*, 2014) y 19-22 cm (López *et al.*, 2017), lo que resalta el carácter distintivo de la raza Jala aún bajo condiciones menos favorables.

Las diferencias entre localidades se explican por las condiciones edafoclimáticas contrastantes. Jala y Coapan se encuentran entre 1050 y 1150 m.s.n.m., con clima cálido subhúmedo (C(w)) y precipitaciones de 800–1200 mm, aunque con suelos distintos: limo-arenosos en Jala y cambisoles en Coapan. Estas condiciones favorecen mazorcas más largas y un mayor número de hileras, como se observó en ambas localidades. En cambio, La Meseta presenta altitudes significativamente mayores (1400–1700 m.s.n.m.) y suelos andosoles húmicos, asociados a temperaturas ligeramente menores (22–26 °C) y buena retención de humedad, lo que se reflejó en granos con mayor densidad, harinas con mayor humedad (10.7%) y contenido lipídico (6.6%). Compostela, por su parte, presenta un clima más cálido, con altitudes de 1200–1500 m, suelos feozem y mayor precipitación anual (1200–1600 mm), condiciones que influyen en la composición proximal del grano. En

cereales como el maíz se ha documentado que la altitud, el régimen hídrico y la textura del suelo modulan rasgos como el tamaño de mazorca, peso de olote y características fisicoquímicas (López *et al.*, 2017). Por tanto, la expresión fenotípica del maíz Jala está estrechamente ligada al ambiente local, lo que confirma la importancia de caracterizar las condiciones específicas de cada sitio para su conservación y aprovechamiento.

En el diámetro de la mazorca no se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 1). Los valores oscilaron entre 5.36 cm (Jala y Coapan) y 5.63 cm (La Meseta), mientras que Compostela presentó 5.56 cm. Estos resultados son consistentes con los reportados por Ramírez-Mandujano *et al.* (2018), quienes observaron valores de 5.6 cm en retrocruzas 1/4 Jala y de 4.9 cm en Jala puro, lo que indica que el diámetro de mazorca en la raza Jala tiende a mantenerse estable en un rango de 5–6 cm, independientemente de la localidad de cultivo. Esta estabilidad sugiere un fuerte control genético en la expresión de esta característica, con menor influencia de las condiciones ambientales. En contraste, el diámetro del olote presentó diferencias estadísticas significativas entre localidades ($\alpha = 0.05$) (Figura 2). Compostela registró el mayor valor (3.50 cm), seguido de La Meseta (3.47 cm), mientras que Jala y Coapan mostraron 3.03 y 2.97 cm, respectivamente. Wellhausen *et al.* (1951) reportaron un diámetro de olote promedio de 2.8 cm para la raza Jala, valor similar al observado en Coapan. Estas diferencias indican que, a diferencia del diámetro de mazorca, el diámetro del olote puede estar más influenciado por las condiciones edafoclimáticas locales, reflejando la plasticidad fenotípica de este carácter en la raza Jala.

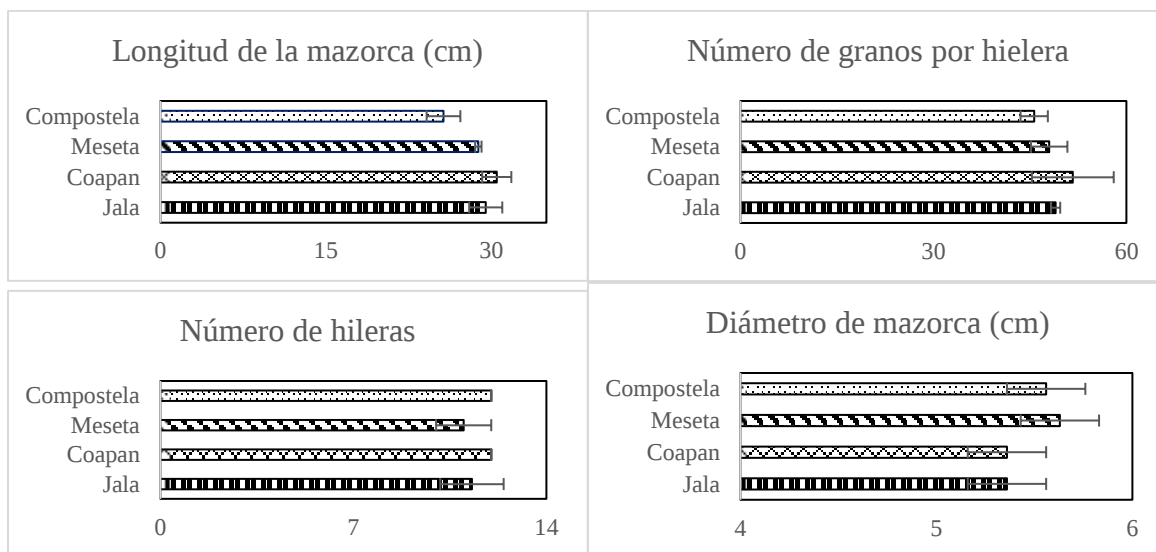


Figura 1. Análisis de los caracteres morfológicos de cuatro muestras de maíz raza jala cultivadas en diferentes zonas geográficas del estado de Nayarit. Las barras de error representan desviación estándar (DE); n = 3.

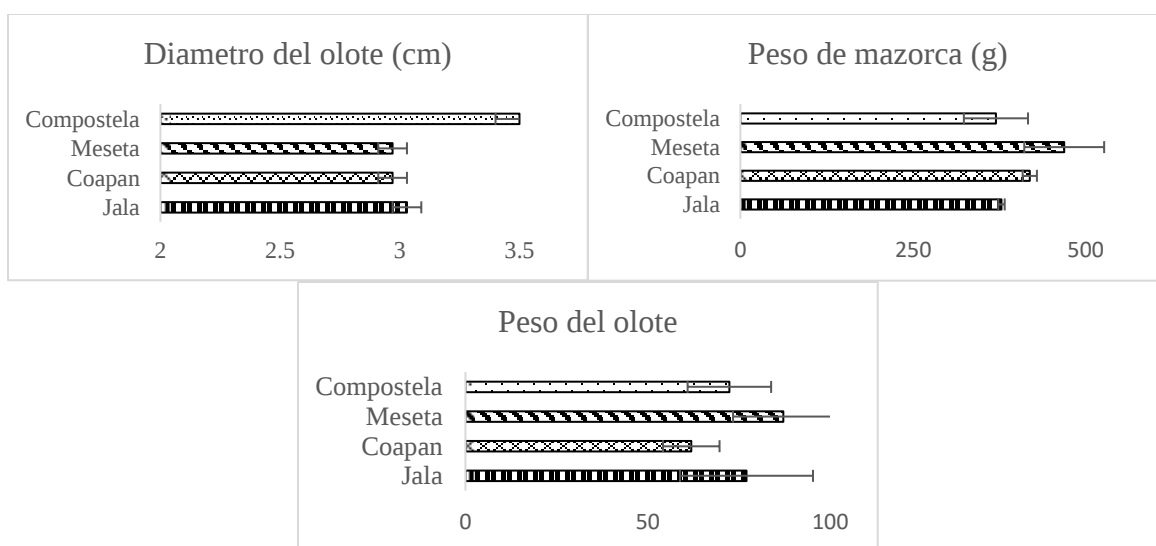


Figura 2. Análisis de los caracteres morfológicos de cuatro muestras de maíz raza jala cultivadas en diferentes zonas geográficas del estado de Nayarit. Las barras de error representan desviación estándar (DE); n = 3.

De acuerdo con López-Guzmán *et al.* (2018), las diferencias morfológicas entre muestras de maíz pueden atribuirse a condiciones ambientales asociadas con el estado hídrico del suelo, la radiación solar, temperatura, tipo de suelo y sistema de producción. En este estudio, las muestras de La Meseta y Compostela presentaron valores más altos de diámetro de olote, lo que se relaciona con sus condiciones edafoclimáticas favorables: mayor precipitación anual, suelos profundos

y fértiles, y temperaturas más cálidas. En Jala y Coapan, localizados a altitudes de 1,100–1,300 msnm con régimen de temporal (INEGI, 2020; SMN, 2021), la menor disponibilidad hídrica condiciona un menor diámetro de olote. En contraste, en Compostela, con mayor humedad relativa y suelos aluviales profundos (CONABIO, 2021), se registraron valores superiores, lo que confirma el efecto del ambiente sobre la expresión morfológica del maíz.

En el peso de la mazorca se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 2). El mayor valor correspondió a La Meseta (468.97 g), seguido de Coapan (405.91 g) y Jala (378.1 g), mientras que el más bajo se registró en Compostela (370.08 g). Estos valores son notablemente superiores a los reportados por Ramírez-Mandujano *et al.* (2018), quienes documentaron pesos de 118 g en Jala puro y 271 g en una cruz $\frac{1}{2}$ Jala, así como a los reportados por López *et al.* (2017) con 104 g para la raza Jala. Las diferencias observadas pueden atribuirse a factores edafoclimáticos y de manejo agronómico, tales como la disponibilidad de nutrientes y agua en el suelo, la densidad de siembra que puede limitar el llenado del grano y la sincronía floral, fuertemente influenciada por la altitud y temperatura del sitio (Ramírez-Mandujano *et al.*, 2018). El hecho de que los valores obtenidos en este estudio superen a los reportados previamente sugiere que, bajo condiciones locales de Nayarit, la raza Jala conserva un alto potencial productivo, lo que refuerza su importancia en programas de conservación y aprovechamiento agroindustrial.

En el número de hileras por mazorca no se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 1). Se registraron valores de 12 hileras en Coapan y Compostela, 11.3 en Jala y 11 en La Meseta. Estos resultados coinciden con lo reportado por Ramírez-Mandujano *et al.* (2018), quienes documentaron un promedio de 12.4 hileras en la raza Jala, lo que confirma que este carácter se mantiene relativamente estable.

El número de hileras en la raza Jala (11–12 en este estudio) se encuentra dentro del rango característico reportado históricamente para esta raza (Wellhausen *et al.*, 1951; Ramírez-Mandujano *et al.*, 2018). En comparación con

otras razas de maíz mexicano, los valores son inferiores a los observados en razas de grano grande como Tuxpeño o Chalqueño, que alcanzan de 12 a 18 hileras (Kato *et al.*, 2009), pero superiores a los de razas de mazorca corta como Olotillo o Cacahuacintle, que presentan de 8 a 10 hileras (Sánchez *et al.*, 2000). Estas diferencias confirman el carácter intermedio de la raza Jala, en la cual la expresión de este rasgo es relativamente estable y menos susceptible a la variación ambiental, pero vulnerable al deterioro genético por pérdida de selección tradicional.

En el número de granos por hilera no se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 1). Coapan presentó el mayor promedio con 51.67 granos, seguido de Jala (49), La Meseta (48) y Compostela con 45.67 granos. Estos valores son superiores a los reportados por Ramírez-Mandujano *et al.* (2018), quienes documentaron entre 31.4 y 39.5 granos por hilera, así como a los informados por López *et al.* (2017) con 34.3 granos en promedio. El hecho de que no se observaran diferencias significativas entre localidades sugiere que este carácter, al igual que el número de hileras, se encuentra fuertemente determinado por el genotipo y es menos influenciado por el ambiente (Ramírez-Mandujano *et al.*, 2018). Esta estabilidad genética constituye un atributo importante para la raza Jala, ya que asegura la consistencia en el llenado de mazorca y contribuye a su potencial de rendimiento, independientemente de las condiciones edafoclimáticas locales.

En el peso del olote no se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 2). El mayor valor correspondió a La Meseta con 87.16 g y el menor a Coapan con 61.92 g, mientras que Jala y Compostela presentaron 77.06 g y 72.37 g, respectivamente. Aunque no hubo diferencias significativas, se observa una

variación numérica importante (≈ 25 g) entre localidades. Los valores reportados en este estudio, expresados en base húmeda, son considerablemente superiores a los documentados por Quiroz-Mercado *et al.* (2017), quienes evaluaron diez cultivares en el Estado de México y registraron pesos de olote de 16.59 a 18.63 g, lo cual refleja la marcada diferencia entre la raza Jala y otras variedades comerciales de menor tamaño. Córdoba *et al.* (2013) señalan que factores como el momento de cosecha, las condiciones de secado y el contenido de humedad ambiental influyen en el peso del olote, lo que explica las variaciones observadas entre diferentes estudios. En este caso, la ausencia de diferencias significativas puede atribuirse a que las mazorcas fueron almacenadas bajo condiciones similares, reduciendo el efecto de esas variables. El mayor peso de olote observado en la raza Jala confirma una de sus características distintivas y repercute en la relación grano/olote, aspecto relevante para su aprovechamiento en la industria alimentaria y para la selección.

Características físicas del grano

En el valor del peso hectolítrico no se observaron diferencias estadísticas significativas entre localidades ($\alpha = 0.05$) (Figura 3). El valor más elevado correspondió a La Meseta con 83.77 kg hL^{-1} , mientras que el más bajo fue el de Jala con 80.94 kg hL^{-1} ; Coapan y Compostela mostraron valores similares (81.77 y 81.78 kg hL^{-1} , respectivamente). Godínez-Galán *et al.* (2014) reportaron para la raza Jala un valor de 68.1 kg hL^{-1} , inferior al obtenido en este estudio. Este parámetro, empleado comúnmente en la industria de cereales, refleja la densidad aparente del grano y depende del acomodo en el recipiente y de la composición del endospermo. En este caso, la similitud entre localidades sugiere que no existen diferencias marcadas en el contenido

y organización de almidones, lípidos y proteínas (Agama-Acevedo *et al.*, 2013).

En el índice de flotación no se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre las muestras (Figura 3), registrándose en su mayoría valores de cero (Compostela, La Meseta y Coapan), mientras que Jala presentó un valor de 0.67%. Estos resultados contrastan con los reportados para otras razas: Agama-Acevedo *et al.* (2011) señalaron índices de 32 a 100% en maíces Chalqueño y Tabloncillo, mientras que Salinas-Moreno *et al.* (2013) documentaron valores de 7.16 a 73 % en maíces tropicales y subtropicales de Oaxaca. La ausencia de flotación en la mayoría de las localidades confirma el carácter de grano duro de la raza Jala, lo que se asocia con un alto contenido de amilosa y una fuerte compactación de los gránulos de almidón en la matriz proteica (Agama-Acevedo *et al.*, 2013). Esta característica dificulta la flotación, pero constituye una ventaja tecnológica en procesos de nixtamalización y molienda seca, al favorecer un mayor rendimiento en harina y una mejor calidad de masa.

En el peso de 100 granos no se observaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 3). El valor más alto correspondió a La Meseta con 58.93 g, mientras que el más bajo fue Jala con 55.3 g; Coapan y Compostela presentaron valores intermedios de 57.88 g y 56.13 g, respectivamente. Estos resultados son superiores a los reportados por Godínez-Galán *et al.* (2014) para la misma raza (49.9 g), lo cual refleja una expresión favorable del potencial genético del maíz Jala en las localidades evaluadas. El peso de 100 granos es un indicador del llenado y desarrollo del grano, influido por factores como el suministro de nutrientes y la densidad de siembra. En este caso, los valores elevados sugieren condiciones de cultivo adecuadas y menor competencia entre plantas, lo que

permitió un mejor llenado de los granos y, por ende, un mayor peso promedio.

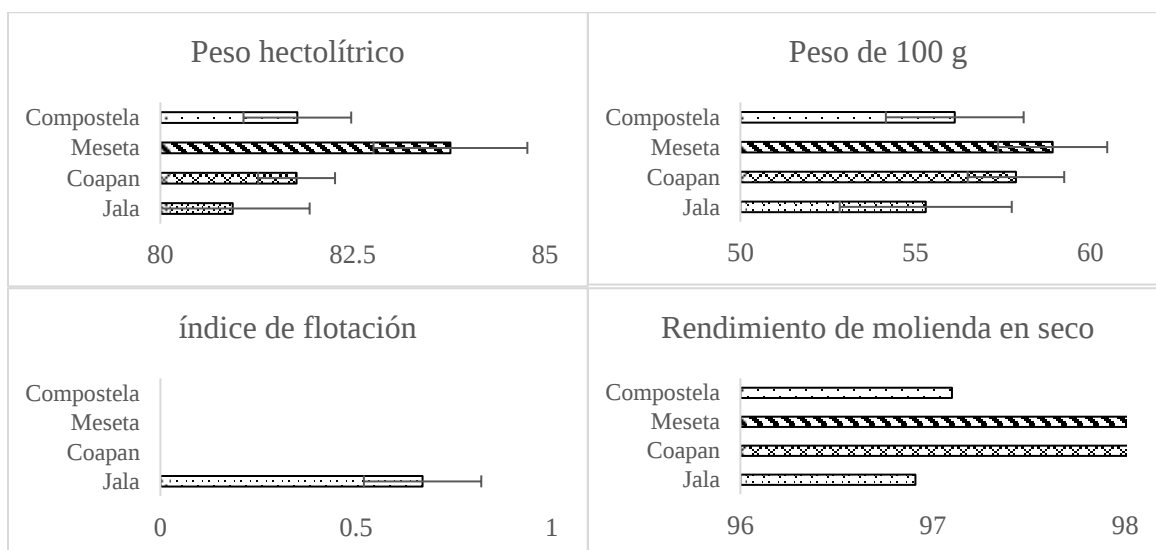


Figura 3. Propiedades físicas del grano de maíz de cuatro muestras de maíz raza Jala cultivadas en diferentes zonas geográficas del estado de Nayarit. Las barras de error representan desviación estándar (DE); $n = 3$.

Agama-Acevedo *et al.* (2011) reportaron pesos de 31.07 a 50.98 g, valores inferiores a los obtenidos en este estudio, lo que confirma que la raza Jala se distingue por granos de mayor tamaño. La similitud observada entre localidades se debe a la homogeneidad en el tamaño de los granos, lo cual confiere un peso consistente cuando se evalúan 100 granos (Salinas *et al.*, 1992). Esto sugiere que el ambiente no tuvo un efecto determinante sobre la expresión del genotipo responsable de esta característica.

En cuanto al rendimiento de la molienda en seco, no se observaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 3), con valores de 98.32, 98.14, 97.1 y 96.91 % para Coapan, La Meseta, Compostela y Jala, respectivamente. Dichos valores se encuentran por encima del rango establecido por la FAO (1993) para harinas de maíz (86–95 %), lo que refleja la buena calidad tecnológica de los granos de la raza Jala. Factores como el estado del grano (impurezas y humedad), así como las

condiciones del molino, influyen en el rendimiento; sin embargo, la ausencia de diferencias estadísticas indica que los granos presentaron características fisicoquímicas similares de dureza y resistencia a la molienda (Cirilo & Izquierdo, 2023).

Análisis granulométrico de la harina

El análisis granulométrico (Figura 4) mostró que en las cuatro muestras más del 55% de la harina fue retenida en el tamiz 20 (850 μm), lo cual indica un predominio de partículas de gran tamaño. Los tamices 30, 40, 100 y 140 (600, 425, 150 y 106 μm) concentraron entre 10 y 4.6 % del material restante, con resultados consistentes entre localidades. La representación gráfica permite visualizar con mayor claridad que la Meseta presentó una retención ligeramente superior en el tamiz 20, aunque sin diferencias estadísticas frente a las otras localidades.

De acuerdo con el Codex CXS 154-1985 (enmendado en 2019), que establece que la harina integral debe cumplir con fracciones

mínimas de paso a tamices de 1700 μm (95%), 710 μm (45%) y 212 μm (35% máximo), las harinas obtenidas cumplen con tales parámetros y pueden considerarse integrales. Esto es relevante porque tales

harinas conservan fibra, vitaminas y minerales de las distintas fracciones del grano, aportando ventajas nutricionales y funcionales (Mansilla, 2018).

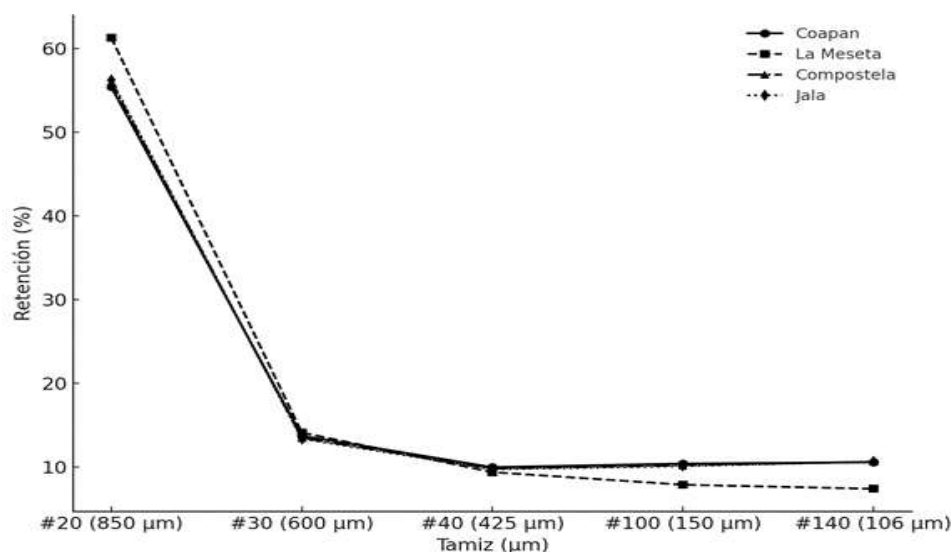


Figura 4. Distribución granulométrica de harina de maíz raza Jala.

Análisis bromatológico

En el valor de pH no se observaron diferencias estadísticas significativas entre las muestras ($\alpha = 0.05$) (Figura 5). El valor más alto correspondió a La Meseta con 6.50, mientras que el más bajo se presentó en Jala con 6.43; Coapan y Compostela registraron valores intermedios de 6.47 y 6.48, respectivamente. Estos resultados coinciden con lo reportado por Anaya-Esparza *et al.* (2024) en harinas de maíz azul de Oaxaca y Chihuahua, quienes registraron valores de 6.3 a 6.4. Por otra parte, Urías-Corona *et al.* (2016) identificaron la presencia de ácidos fenólicos como ferúlico y cumárico en el salvado de maíz, compuestos que pueden influir en los valores de pH al modificar la acidez intrínseca de las muestras.

En la determinación de acidez titulable se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) (Figura 5). La muestra de Jala presentó el valor más alto con

0.1054%, mientras que Coapan registró el más bajo con 0.0939%; La Meseta y Compostela mostraron valores intermedios de 0.1025% y 0.1021%, respectivamente. Anaya-Esparza *et al.* (2024) reportaron un valor superior (0.19%) para maíces azules, lo que resalta la variabilidad entre razas. Estas diferencias pueden atribuirse al contenido de ácidos grasos en el germen del grano, los cuales quedan expuestos tras la molienda (FAO, 2007). En particular, el mayor valor de acidez en Jala puede relacionarse con un contenido más elevado de ácidos libres, probablemente influenciado por la proporción de fibra que modifica la granulometría y la compactación de las partículas, aumentando la retención de humedad (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019). Esto coincide con los valores más altos de humedad y acidez encontrados en las muestras de Jala y La Meseta.

Desde el punto de vista alimentario, la acidez titulable en harinas de maíz es un parámetro

relevante porque influye en la estabilidad del producto, la calidad de la masa y el desarrollo de compuestos aromáticos durante la cocción. Un incremento en la acidez puede acelerar reacciones de hidrólisis lipídica y favorecer notas sensoriales ligeramente ácidas, además de reducir la vida útil por mayor susceptibilidad a rancidez oxidativa. En productos derivados, como la tortilla, niveles

más altos de acidez pueden modificar la textura, elasticidad y firmeza de la masa, debido a que alteran la interacción entre almidón, proteínas y compuestos solubles. Por ello, las diferencias de acidez observadas entre localidades pueden traducirse en variaciones funcionales y sensoriales en los alimentos elaborados a partir de estas harinas.

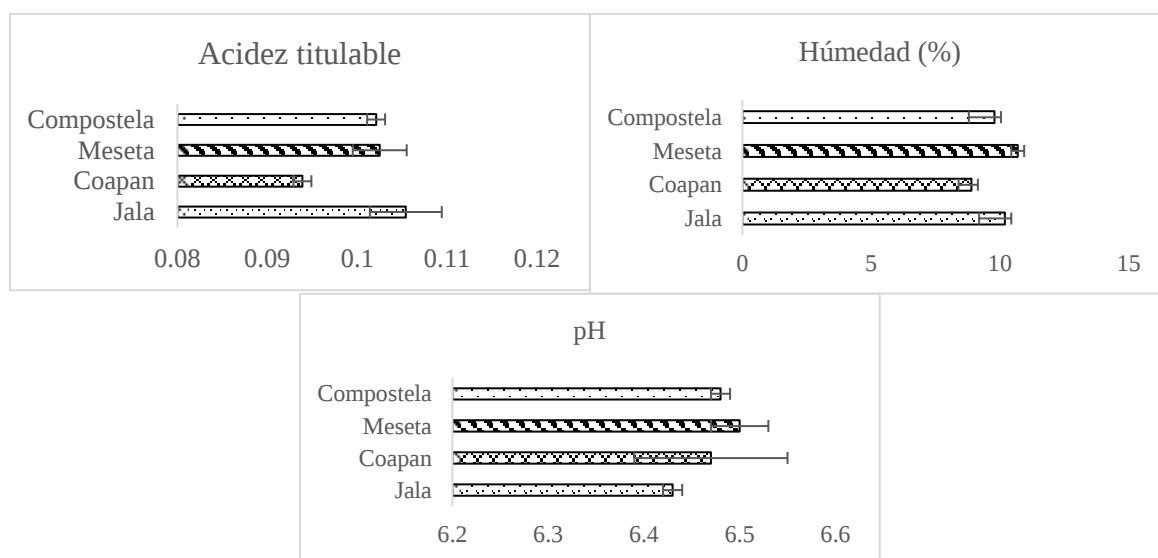


Figura 5. Valores proximales (pH, acidez titulable y humedad) en harinas de maíz raza Jala. Las barras de error representan desviación estándar (DE); $n = 3$.

Para el porcentaje de humedad se observaron diferencias estadísticas significativas entre las muestras ($\alpha = 0.05$) (Figura 5). El valor más alto correspondió a La Meseta con 10.7%, mientras que el más bajo fue registrado en Coapan con 8.9%. Jala y Compostela presentaron valores intermedios de 10.2% y 9.8%, respectivamente. Chan-Chan *et al.* (2021) reportaron valores de 6.68 a 8.48 % en variedades de maíz híbrido y predecesor, mientras que Antuna *et al.* (2008) documentaron en la raza Jala un valor de 10.9%, similar al observado en La Meseta y Jala. Agama-Acevedo *et al.* (2011) señalaron un rango de 7.22 a 10.67 % y Montoya-López *et al.* (2014) registraron un valor de 11.6% en harina de maíz amarillo. Las diferencias entre muestras pueden atribuirse al momento de

cosecha (Valdivia *et al.*, 2010), ya que las de La Meseta fueron recolectadas en diciembre de 2019, Jala en septiembre, y Coapan y Compostela en agosto del mismo año.

En el contenido de cenizas totales se observaron diferencias estadísticas significativas entre las muestras ($\alpha = 0.05$) (Figura 6). Compostela presentó el valor más alto con 2.3%, mientras que el más bajo correspondió a Coapan con 1.7%. Jala y La Meseta mostraron valores similares de 2.2%. Chan-Chan *et al.* (2021) reportaron contenidos de cenizas entre 1.29 y 1.50% en variedades de maíz híbrido y predecesor. Agama-Acevedo *et al.* (2011) informaron valores de 1.4 a 1.82 %, mientras que Anaya-Esparza *et al.* (2024) documentaron entre

1.09 y 1.16 % en maíz azul de distintas regiones de México (Oaxaca y Chihuahua). Por su parte, Miranda *et al.* (2015) reportaron 1.94% en harina de maíz nicaragüense. La variación entre muestras puede atribuirse a factores edáficos, como el tipo de suelo, el contenido de nutrientes y su biodisponibilidad para ser absorbidos por la planta (Below, 2002). En este sentido, la menor proporción de cenizas en Coapan sugiere una posible disminución en el contenido mineral del suelo de esa localidad. De acuerdo con el Codex CXS 154-1985, el contenido máximo permitido de cenizas en harinas integrales de maíz es de 3%, por lo que todas las muestras evaluadas cumplen con este estándar internacional.

El contenido de cenizas es un indicador de la fracción mineral de la harina, lo cual resulta relevante no solo como criterio de calidad nutricional, sino también en la formulación de alimentos, ya que aporta elementos esenciales como calcio, magnesio y potasio. Por lo tanto, el cumplimiento de los valores normativos y la variación entre localidades reflejan tanto la calidad de la materia prima como las condiciones agronómicas del sitio de origen.

En el contenido de lípidos se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) (Figura 6). La Meseta presentó el valor más alto con 5.8%, mientras que el más bajo lo presentó Jala con 3.6%; Coapan y Compostela registraron valores intermedios de 4.4 y 5.4 %, respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro de los rangos reportados por Chan-Chan *et al.* (2021) para

variedades de maíz híbrido y predecesor (5–7 %) y son comparables con lo señalado por Anaya-Esparza *et al.* (2024) en maíces azules nativos de México (3.97–4.16 %). Otros autores han descrito valores superiores, como Montoya-López *et al.* (2014) con 7.7% y Miranda *et al.* (2015) con 6.58%.

Desde una perspectiva práctica, el contenido de lípidos constituye un parámetro relevante tanto para la calidad tecnológica como para el valor nutricional de la harina. Por un lado, los lípidos aportan energía y ácidos grasos esenciales, además de participar en la estructura del endospermo y en la capacidad de absorción de agua durante la elaboración de masa (Serna-Saldívar, 2016). Por otro, influyen en la estabilidad de almacenamiento, ya que niveles elevados pueden incrementar la susceptibilidad al enranciamiento hidrolítico y oxidativo, reduciendo la vida útil del producto (FAO, 2007; Martínez-Flores *et al.*, 2012). También se ha reportado que el contenido lipídico modifica propiedades funcionales como la extensibilidad, cohesión y firmeza en masas nixtamalizadas, impactando la textura final de tortillas y otros derivados (Martínez-Flores *et al.*, 2012).

Así, las variaciones observadas entre localidades no solo reflejan diferencias genotípicas y ambientales, sino que también implican ajustes potenciales en el manejo poscosecha, en las condiciones de almacenamiento y en las aplicaciones industriales de estas harinas, especialmente en productos donde la calidad de la masa y la estabilidad oxidativa son determinantes.

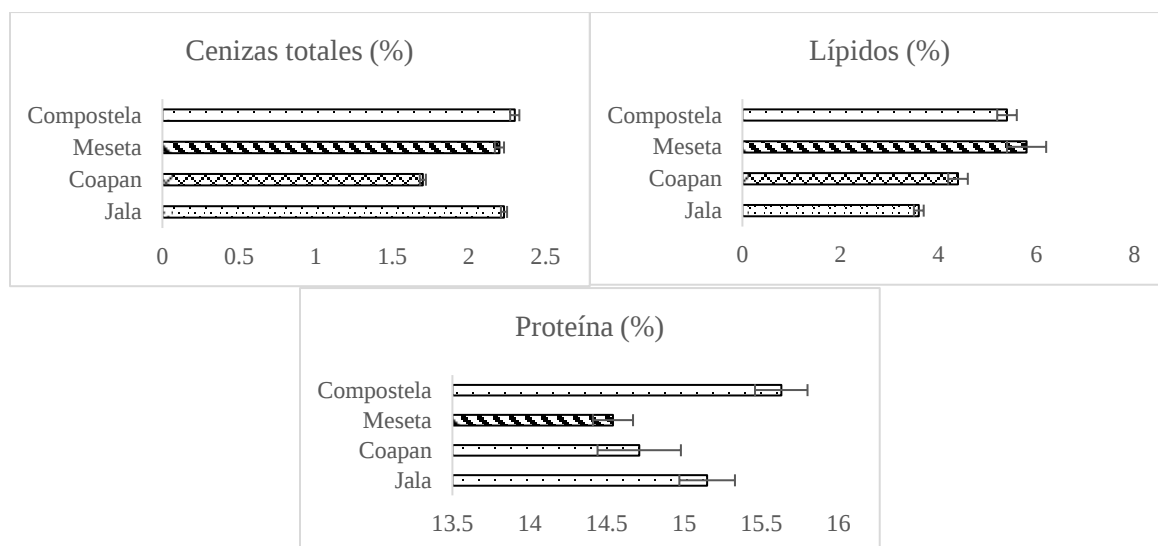


Figura 6. Valores proximales (Cenizas, contenido de lípidos y proteína) en harinas de maíz raza Jala. Las barras de error representan desviación estándar (DE); n = 3.

Las diferencias entre muestras pueden deberse a la disponibilidad y contenido de nutrientes en el suelo, además de las condiciones climáticas en las que se desarrolló la planta. En particular, se ha documentado que ciertos tipos de estrés ambiental pueden inducir un aumento en la acumulación de ácidos grasos, como respuesta adaptativa de la planta (Aguilar *et al.*, 2015; Kränzlein *et al.*, 2023). La similitud entre Compostela y La Meseta podría estar relacionada con condiciones similares de nutrición en el suelo, o bien con un efecto del genotipo, que favorece una mayor acumulación de nutrientes grasos cuando la planta crece fuera de su área de adaptación óptima (Aguilar *et al.*, 2015; Jin *et al.*, 2023).

En comparación con estudios previos, Chan-Chan *et al.* (2021) reportaron porcentajes de proteína de 9.77 a 11.37 % en variedades de maíz híbrido y predecesor cultivadas en Yucatán. De manera similar, López-Alarcón *et al.* (2018) informaron un valor de 8.40% en maíz amarillo, mientras que otros autores han documentado un rango de 7 a 12 % en diferentes razas de maíz, reflejando la influencia tanto genética como ambiental (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2010). En este

estudio, los valores obtenidos fueron ligeramente superiores, lo que sugiere un aporte potencialmente más elevado de aminoácidos en las harinas evaluadas.

Las variaciones observadas entre localidades no solo reflejan diferencias genóticas y ambientales, sino que también tienen implicaciones para el manejo poscosecha y la estandarización industrial. En este contexto, preservar la diversidad genética de los materiales criollos, como la raza Jala, resulta fundamental para mantener su variabilidad bioquímica y su potencial de uso, ya que estudios recientes han documentado una reducción en su variabilidad genética y señalan la necesidad de emprender estrategias de conservación para evitar su erosión (Suárez-González *et al.*, 2025).

Conclusiones

Los maíces de la raza Jala de Coapan y La Meseta destacaron en sus características morfológicas y en atributos físicos del grano, confirmando su relevancia como recurso genético regional. Tecnológicamente, las harinas obtenidas cumplieron con los criterios del Codex para considerarse integrales, con rendimientos altos, granulometría adecuada y

composición proximal dentro de rangos reportados, con variaciones asociadas a factores edafoclimáticos.

En términos nutricionales, las harinas mostraron un aporte significativo de proteínas y minerales, lo que respalda su valor como ingrediente para alimentos de calidad. Además, las propiedades tecnofuncionales observadas indican que la raza Jala posee potencial para aplicaciones industriales como tortillas artesanales, productos nixtamalizados y mezclas para panificación.

De manera práctica, fortalecer su aprovechamiento en los mercados locales y en la alimentación de las familias productoras puede contribuir tanto a la autosuficiencia alimentaria como a la conservación de este material criollo, al mantener vigente su uso económico y cultural.

Agradecimientos

A los productores de maíz raza Jala de Coapan y La Meseta por su colaboración, y a la Lic. Magdalia Elizabeth Ibarra Palomares por el apoyo brindado en la coordinación y logística de las visitas a las regiones productoras.

Referencias

1. Torres-Morales, B., Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., Coutiño-Estrada, B., & López-Sánchez, H. (2022). Diversidad morfológica y agronómica de siete razas de maíz del estado de Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(4), 687-699. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2956>

2. González-Martínez, J., Rocandio-Rodríguez, M., Contreras-Toledo, A. R., Joaquín-Cancino, S., Vanoye-Eligio, V., Chacón-Hernández, J. C. & Hernández-Bautista, A. (2020). Diversidad morfológica y agronómica de maíces nativos del altiplano

de Tamaulipas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4): 361-370. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4.361>

3. Romero-Portillo, J. F., Castillo-Gutiérrez, A., Carapia-Ruiz, V. E., Andrade-Rodríguez, M., Ortega-Paczka, R., Gómez-Montiel, N. O. Perdomo-Roldan, F. y Suárez-Rodríguez, R. (2018). Variación morfológica en colectas de maíz ancho nativo del estado de Morelos, México. *Pensamiento Actual*, 18(31): 35-45. <https://doi.org/10.15517/pa.v18i31.35637>

4. Aguilar-Castillo, J. A., Carballo-Carballo, A., Castillo-González, F., Santacruz-Varela, A., Mejía-Contreras, J.A., Crossa-Hiriarte J., & Baca-Castillo, G. (2006). Diversidad fenotípica y variantes distintivas de la raza Jala de maíz. *Agricultura Técnica en México*, 32, 57-66. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172006000100006&script=sci_arttext

5. Rice, E. B., Smith, M. E., Mitchell, S. E., & Kresovich, S. (2006). Conservation and change: a comparison of in situ and ex situ conservation of Jala maize germplasm. *Crop Science*, 46(1), 428-436. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.06-0116>

6. Montes, L. A., Hernández, J. A., López, S. H., Santacruz, V. A., Vaquera, H. H., & Valdivia, B. R. (2014). Expresión fenotípica in situ de características agronómicas y morfológicas en poblaciones del maíz raza Jala. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 363-372. <https://doi.org/10.35196/rfm.2014.4.363>

7. Valdivia-Bernal, R., Caro-Velarde, F., Medina-Torres, R., Ortiz-Catón, M., Espinosa-Calderón, A., Vidal-Martínez, V. A., & Ortega-Corona, A. (2010). Contribución genética del criollo Jala en variedades eloteras de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33(4), 63-67.

<https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial4.63>

8. López-Vázquez, D. E., Aguirre-Mandujano, E., Lobato-Calleros, C., & Hernández-Rodríguez, L. (2021). Propiedades fisicoquímicas y funcionalidad de almidón de maíz cacahuacintle. In *Congreso Internacional de Investigación de Ciencias Básicas y Agronómicas*. (pp. 31-41). https://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2021/10/Memoria_2021_Mesa4-Quimica.pdf

9. Sánchez-Ortega, I., & Pérez-Urría, E. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología Serie Botánica*, 7(2), 151-171. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/33739>

10. González-Hernández, J., Morales-Ramos, V., Salinas-Moreno, Y., López-Martínez, L., & Arellano-Velázquez, K. (2018). Caracterización física, industrial y nutricional de maíces nativos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 351-365. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.816>

11. Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., & Xolocotzi, E. H. (1951). Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México.

12. Rodríguez-Méndez, L. I., Figueroa-Cárdenas, J. D., Ramos-Gómez, M., & Méndez-Lagunas, L. L. (2013). Nutritional properties of flour and tortillas made with an ecological nixtamalization process. *Journal of Food Science*, 78(10), C1529-C1534. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12241>

13. Fernández-Suárez, R., Morales-Chávez, L.A., & Gálvez-Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Fitotecnica Mexicana*, 36(3),

275-283.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36s3-a/v36s3-aa4.pdf>

14. Martínez-Damián, M. A., Téllez-Delgado, R., & Mora-Flores, J. S. (2018). Maíz blanco y maíz amarillo sustitutos o complementos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(4), 879-885. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i4.1404>

15. Chan-Chan, M., Moguel-Ordóñez, Y., Gallegos-Tintoré, S., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México. *Biotecnia*, 23(2), 11-21. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1334>

16. Rincón-Sánchez, F., Castillo-González, F., & Ruíz-Torres, N. A. (2010). Diversidad y distribución de los maíces nativos en Coahuila, México. SOMEFI, Chapingo, México.

17. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). (2021). *Maíces*. México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices>

18. American Association of Cereal Chemists (AACC). (2005). *Approved methods of the AACC*. 10th edit. St. Paul M.N.

19. Salinas, M. Y., Martínez, B. F., & Gómez, E. J. (1992). Comparación de métodos para medir dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 42(1), 59-63. <https://www.alanrevista.org/ediciones/1992/1/art-11/>

20. Salinas-Moreno, Y., Gómez-Montiel, N. O., Cervantes-Martínez, J.E., Sierra-Macías,

M., Palafox-Caballero, A., Betanzos-Mendoza, E., & Coutiño-Estrada, B. (2010). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(4), 509-523. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v1n4/v1n4a5.pdf>

21. Ponce-Ramírez, J. C., Málaga-Juárez, J. A., Huamani-Huamani, A. L., & Chuqui-Diestra, S. R. (2016). Optimización de la concentración de la α -amilasa y lactosuero en el mejoramiento de las características tecnológicas, nutricionales y sensoriales del pan francés. *Agroindustrial Science*, 6(2), 185-194. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2016.02.03>

22. International Starch Institute (ISI). (1999). Determination of starch size distribution by screening. ISI 32-1e. In: Laboratory methods. Science Park, Aarhus, Dinamarca.

23. Fernández-Muñoz, J. L., San Martín-Martínez, E. I., Díaz-Góngora, J. A., Calderón, A., & Ortiz, H. (2008). Evaluación de las distribuciones de tamaño de partícula de harina de maíz nixtamalizado por medio de RVA. *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales*, 21(3): 25-30. <https://www.scielo.org.mx/pdf/sv/v21n3/v21n3a4.pdf>

24. García-Tejeda, Y. V., Zamudio-Flores, P. B., Bello-Pérez, L. A., Romero-Bastida, C. A., & Solorza-Feria, J. (2011). Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: caracterización física, química, térmica y morfológica. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(3), 125-135. [https://reviberpol.org/wp-](https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2019/07/2011-garcia-tejana.pdf)

[content/uploads/2019/07/2011-garcia-tejana.pdf](https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2019/07/2011-garcia-tejana.pdf)

25. International Starch Institute (ISI). (1999b). Determination of pH in starch and syrup. ISI 26-5e. In: Laboratory methods. Science Park, Aarhus, Dinamarca.

26. Martínez-Flores, H. E., Martínez-Bustos, F., Figueroa, C. J. D., & González-Hernández, J. (1998). Tortillas from extruded masa as related to corn genotype and milling process. *Journal Food Science*, 63, 130-133. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15692.x>

27. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2005). Official Methods of Analysis. Gaithersburg, MA, USA.

28. NMX-F-090-S-1978 actualizada por NMX-F-804-SCFI-2018. Determinación de fibra cruda en alimentos. Food stuff determination of crude fiber. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. Secretaria de Economía. Diario Oficial.

29. López-Guzmán, J. A., Aguilar-Castillo, J. A., García-Zavala, J. J., Lobato-Ortiz, R., & Sánchez-Guzmán, P. (2017). Comportamiento agronómico de poblaciones de maíz raza Jala en Nayarit y Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1537-1548. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.510>

30. Ramírez-Mandujano, C. A., González-Cortés, J. C., & Gómez-Santiz, J. A. (2018). Longitud de mazorca en cruces de maíz Jala con una variedad criolla mejorada. *Ciencia Nicolaita*, 75, 147-163. <https://doi.org/10.35830/cn.vi75.431>

31. López-Guzmán, J. A., Aguilar-Castillo, J. A., García-Zavala, J. J., & Lobato-Ortiz, R. (2018). Adaptabilidad y estabilidad de

longitud de mazorca de maíz raza Jala en cinco ambientes. *Revista Bio Ciencias*, 5(3), 1-14.

<http://dx.doi.org/10.15741/revbio.05.03.02>

32. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2020. Anuario estadístico y geográfico de Nayarit 2020. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx>. Consultado el 15 de agosto de 2025.

33. SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2021. Normales climatológicas por estado: Nayarit (1981–2010). Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx>. Consultado el 15 de agosto de 2025.

34. Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A., & Bye, R. A. (2009). Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

35. Sánchez, G. J. J., Goodman, M. M., & Stuber, C. W. (2000). Isoenzymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*, 54(1), 43–59. <https://doi.org/10.1007/BF02866601>

36. Quiroz-Mercado, J., Pérez-López, D. de J., González-Huerta, A., Rubí-Arriaga, M., Gutiérrez-Rodríguez, F., Franco-Martínez, J. R. P., & Ramírez-Dávila, J. F. (2017). Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1521-1535. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.508>

37. Córdoba, J. A., Salcedo, E., Rodríguez, R., Zamora, J. F., Manríquez, R., Contreras, H., & Delgado, E. (2013). Caracterización y valoración química del olote: degradación hidrotérmica bajo condiciones subcríticas.

Revista Latinoamericana de Química, 41(3), 171-184.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/rlq/v41n3/v41n3a4.pdf>

38. Godínez-Galán, R. Y., García-Rodríguez, J. G., Raya-Pérez, J. C., Morales-Rodríguez, I., Ramírez-Pimentel, J. G., Torres-Castillo, J. A., & Aguirre-Mancilla, C. L. (2014). Caracterización física, fisiológica y de las proteínas de semillas de maíz (*Zea mays* L.) de Guanajuato e Hidalgo, México. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México*, 2, 17-23.

39. Agama-Acevedo, E., Juárez-García, E., Evangelista-Lozano, S., Rosales-Reynoso, O. L., & Bello-Pérez, L. A. (2013). Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia*, 47(1), 01-12. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n1/v47n1a1.pdf>

40. Salinas-Moreno, Y., Aragón-Cuevas, F., Ybarra-Moncada, C., Aguilar-Villarreal, J., Altunar-López, B., & Sosa-Montes, E. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 23-31. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n1/v47n1a1.pdf>

41. Agama-Acevedo, E., Salinas-Moreno, Y., Pacheco-Vargas, G., & Bello-Pérez, L. A. (2011). Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 317-329. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S09342011000300002&script=sci_arttext&utm

42. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1993). El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición, N°25. Roma, Italia.
43. Cirilo, A.G., Izquierdo, N., 2023. Capítulo 15: Calidad de grano. En: Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz (eds. Andrade, F., Otegui, M.E., Cirilo, A., Uhart, S.). Versión digital, pp 385-408.
44. CXS 154-1985. (2019). Norma para harina integral de maíz. Codex alimentarius. Normas Internacionales de los Alimentos. p. 1-4.
45. Mansilla, P. S. (2018). Evaluación del valor nutricional de maíces especiales (*Zea mays* L.): selección para calidad agroalimentaria. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Córdoba, Argentina.
46. Anaya-Esparza, L. M., Gómez-Rodríguez, V. M., Ramírez-Vega, H., Hernández-Estrada, S., Hernández-Villaseñor, L. A., & de la Mora-Villagrana, B. Z. (2024). Propiedades nutricionales, fisicoquímicas, funcionales, compuestos fenólicos y actividad antioxidante de harinas de tres accesiones de maíz azul nativo de México. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 11(1), 23-39. <https://doi.org/10.26495/z1k1kc46>
47. Urías-Corona, V., Basilio Heredia, J., Muy-Rangel, D., & Niño-Medina, G. (2016). Ácidos fenólicos con actividad antioxidante en salvado de maíz y salvado de trigo. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(7), 43-50. <https://www.scielo.org.mx/pdf/era/v3n7/v3n7a5.pdf>
48. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO N°163. Roma, Italia.
49. Contreras-Jiménez, B., Torres-Vargas, O. L., & Rodríguez-García, M. E. (2019). Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. *Food Chemistry*, 298, 124982. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124982>
50. Antuna-Grijalva, O., Rodríguez-Herrera, S. A., Arámbula-Villa, G., Palomo-Gil, A., Gutiérrez-Arías, E., Espinosa-Banda, A., Navarro-Orona, E.F., & Andrio-Enríquez, E. (2008). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 31(3), 23-27.
51. Montoya-López, J., Quintero-Castaño, V. D., & Lucas-Aguirre, J. C. (2014). Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Acta Agronómica*, 64(1), 11-21. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n1.38814>
52. Miranda, C. S., Esquivel, Q. J., Ruíz, U. J., & Rivers, C. E. (2015). Análisis proximal de granos de arroz, frijol, maíz y café comercializados en el mercado Roberto Huembes de Managua. *Revista Universidad y Ciencia*, 8(13), 41-46. [10.5377/uyc.v9i14.4560](https://doi.org/10.5377/uyc.v9i14.4560)
53. Below, F. E. (2002). Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada del maíz. *Informaciones Agronómicas*, 54, 3-9.
54. Serna-Saldívar, S. O. (2016). *Cereals: Processing and nutritional quality*. CRC Press. 132-134 pp.
55. Martínez-Flores, H. E., Martínez-Bustos, F., & Figueroa-Cárdenas, J. D. (2012).

Changes on the physical and chemical properties of extruded corn flour during storage. *Journal of Food Engineering*, 108(3), 603–609. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.015>

56. Kränzlein, M., Schmöckel, S. M., Geilfus, C.-M., Schulze, W. X., Altenbuchinger, M., Hrenn, H.; Roessner, U., & Zörb, C. (2023). Lipid remodeling of contrasting maize (*Zea mays* L.) hybrids under repeated drought. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1050079. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1050079>

57. Jin, Y., Li, X., Yu, W., Liu, X., Chen, Z., Zhao, J., & Xu, Y. (2023). Complex genetic architecture underlying the plasticity of multiple agronomic traits in maize across environments. *Plant communications*, 4(3), 1-14. [10.1016/j.xplc.2022.100473](https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100473)

58. López-Alarcón, M., Montalvo-Velarde, I., Bernal-Gracida, L., & Barbosa-Cortés, M.D.L. (2018). Maíz nixtamalizado

suplementado con un concentrado de proteínas de sardina para mejorar el valor biológico de las tortillas. *Gaceta Médica de México*, 154(3), 327-334. <https://doi.org/10.24875/GMM.17003373>

59. Vázquez-Carrillo, M. G.; Pérez-Cruz, J. P.; Hernández-Chávez, J. M.; Marrufo, M. L.; Martínez-Ramos, E. (2010). Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y valle del Mezquital, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(Especial): 49–56. <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial4.49>

60. Suárez-González, G., López-Guzmán, G., León-Fernández, A., & Bautista-Rosales, P. (2025). Diversidad genética de maíz (*Zea mays* L.) raza Jala mediante marcadores moleculares ISSR. *RIIT Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 13(73), 25-39. <https://revistas.uadec.mx/index.php/RIIT/article/view/101>