

Palomitas de maíces nativos de endospermo normal obtenidas mediante cañón de expansión

María Gricelda Vázquez-Carrillo

Leticia García-Cruz*

Ramón Jiménez-Regalado

Cástulo Sánchez-Hernández

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias-Campo experimental Valle de México. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Texcoco, Estado de México, C. P. 56250, México.

*Autor para correspondencia: letygc_1189@hotmail.com

Resumen

El maíz es el cereal más producido a nivel mundial y constituye la base para el desarrollo de diversos productos procesados, como las botanas y los cereales. Entre las tecnologías utilizadas para transformar granos enteros destaca el cañón de expansión; sin embargo, su aplicación en el reventado de maíz ha sido poco estudiada. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad de reventado de maíces nativos con diferentes durezas de endospermo mediante un cañón de expansión, para validar el funcionamiento de un equipo semiindustrial. Se evaluaron maíces nativos reventadores y de endospermo normal, bajo diferentes condiciones de procesamiento. Se determinó el volumen de expansión (VE), el porcentaje de granos no reventados (GNR) y



semireventados, la forma de expansión, el contenido de humedad y la dureza del grano. Las mejores condiciones de procesamiento se obtuvieron con granos sin acondicionamiento de humedad y una presión de trabajo de 1.03 MPa en el cañón de expansión. Bajo estas condiciones se obtuvieron cero granos sin reventar (GNR) y un VE medio de $11.8 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$, con forma de hongo y baja humedad. El maíz inflado representa una alternativa de botana saludable, la cual permite agregar valor a maíces nativos independientemente de la dureza de su endospermo.

Palabras clave: forma del maíz inflado, índice de flotación, presión de trabajo, volumen de expansión.

Recibido: 07/04/2025

Aceptado: 18/06/2025

Introducción

El maíz es el cereal de mayor producción a nivel mundial y constituye la base de una amplia variedad de productos alimenticios. Tan solo en México, se han reportado aproximadamente 600 alimentos y bebidas elaborados a base de maíz (Pérez-Ruiz et al., 2024). En la industria de las botanas y los cereales para desayuno, el maíz desempeña un papel fundamental, al ser la materia prima principal para su elaboración (Fast et al., 2020; Serna-Saldivar & Chuck-Hernandez, 2019). En este sentido, una de las tecnologías más empleadas para procesar el maíz es mediante extrusión, la cual utiliza sémola de maíz mezclada con agua (15-18 %) y otros ingredientes saborizantes. Esta mezcla se pasa por un extrusor, donde se somete a altas presiones y cortos tiempos de residencia (Sharifi et al., 2021).

Una alternativa para procesar el grano de maíz es mediante el uso de un cañón de expansión (Lee et al., 2019), el cual permite procesar granos enteros como arroz, trigo, cebada y avena. En este



método, los granos se acondicionan previamente a una humedad entre 13 y 15 % (Lee et al., 2019; Mariotti et al., 2006) y se introducen a la cámara del cañón, donde se calientan y se someten a presiones de entre 0.5 y 1.5 MPa (Jia et al., 2021; Lee et al., 2019). Posteriormente, la apertura súbita de la cámara genera una descompresión que provoca la expansión de los granos.

El principio de esta tecnología radica en la generación de vapor sobrecalentado dentro del grano, donde el pericarpio actúa como una microcámara de presión que retiene el vapor. El calentamiento intenso induce una transición vítrea en la matriz del grano, volviéndolo más extensible y permitiendo que el vapor se difunda internamente. Durante la apertura de la cámara de expansión, el vapor escapa bruscamente y expande el grano, lo cual genera una nueva estructura interna (Mounir et al., 2023).

El procesamiento de maíz mediante cañón de expansión ha sido poco explorado en la literatura. Al respecto, Mrad et al. (2014) y Rajha et al. (2021) han trabajado con maíces de origen peruano, pero no mencionan las características del grano. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad de reventado de maíces nativos con diferentes durezas de endospermo mediante un cañón de expansión, para validar el funcionamiento de un equipo semiindustrial fabricado por el Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México.

Materiales y métodos

Se establecieron tres experimentos con el fin de identificar las mejores condiciones para procesar maíz mediante un cañón de expansión (JCK-Baomihua, JVSUFUIK, China) de laboratorio. En el primer experimento se utilizaron tres razas de maíces nativos (Palomero Toluqueño, Chapalote y Arrocillo), los cuales se caracterizan por su elevada dureza y por su capacidad para reventar con los métodos tradicionales (sartén, microondas y aire caliente). Se probaron dos niveles de humedad (13 y 14 %), seleccionados con base en reportes previos que indican que estas condiciones son las



óptimas para obtener mayores volúmenes de expansión (Sweley et al., 2013). La presión de trabajo en el cañón de expansión fue de 0.98 MPa (Jia et al., 2021).

En el segundo experimento, se evaluó si era posible obtener maíz inflado a partir de maíces con endospermo de menor dureza. Para ello, se seleccionaron maíces nativos clasificados por la dureza de su endospermo en tres categorías: duros (D), intermedios (I) y suaves (S). Todos los materiales se acondicionaron a 14 % de humedad (valor óptimo encontrado en el primer experimento) y se procesaron a 0.98 MPa. Finalmente, en el tercer experimento se utilizaron maíces sin acondicionar, con contenidos de humedad entre 11 y 13 %, y se utilizó una presión de 1.18 MPa. Se incluyeron maíces con endospermo duro (D), intermedio (I), suave (S) y muy suave (MS). No se utilizaron maíces acondicionados a 14 % de humedad, ya que a esta presión se observó que los granos no conservan la forma hongo, más bien adquieren una forma de tipo mariposa (Figura 1).



Figura 1. Formas del grano de maíz de endospermo normal obtenidas a partir del procesamiento en cañón de expansión.

En los tres experimentos se utilizó un cañón de expansión de laboratorio con capacidad de 80 mL. En todos los casos, el tamaño de muestra fue de 70 g por lote. Una vez que se identificaron las condiciones de procesamiento a nivel laboratorio, se extrapolaron a un cañón semiindustrial (Figura 2). En esta etapa, se trabajó con maíces nativos sin acondicionamiento de humedad, a una



presión de 1.03 MPa (Oscoco-Quispe, 2013) y con un tamaño de muestra de 1 kg. Todas las determinaciones en los cañones (laboratorio y semiindustrial) se realizaron por duplicado.

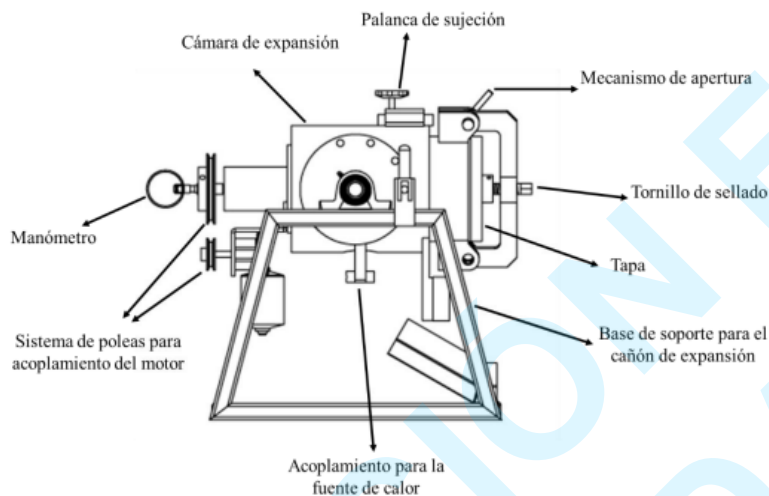


Figura 2. Diagrama del cañón de expansión fabricado por el Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola.

Caracterización del grano y calidad de reventado

En los granos se determinó la humedad (HG), el índice de flotación (IF) y el peso de 100 granos (PCG) (Vázquez-Carrillo et al., 2023). En cuando al IF, los valores de 0 a 12 corresponden a maíces muy duros, de 13 a 37 a maíces duros, de 38 a 62 a maíces intermedios, de 63 a 87 a maíces suaves y >88 a maíces muy suaves. Por su parte, los PCG mayores a 38 g indican maíces grandes, de 33 a 38 g maíces medianos y menores a 33 g maíces pequeños. Para evaluar la calidad de reventado, se estimó el volumen de expansión (VE; $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) a partir del volumen total del grano inflado en una probeta de 1 000 mL (García-Pinilla et al., 2019). Asimismo, se contabilizaron los granos no reventados (GNR) y los semireventados (GSR) (Figura 1) para calcular sus porcentajes (Sweley et



al., 2013). Los granos expandidos se separaron de acuerdo con su forma (hongo o mariposa) y se estimó su porcentaje. El contenido de humedad del maíz inflado se determinó con el método 44-15.02 de la *American Association of Cereal Chemists* (AACC, 2020). Para evaluar la textura, se seleccionaron al azar 10 granos y se analizaron en un texturómetro (mod. CT3, Brookfield, EUA) con una sonda esférica de 25.4 mm de diámetro. La velocidad del ensayo fue de $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ y la deformación objetivo 10 mm. Los resultados se expresaron en Newtons (N).

Análisis de datos

En el experimento uno se utilizó un diseño factorial, anidado en un diseño completamente al azar, con dos factores de variación: genotipo (tres variables) y humedad de acondicionamiento (dos niveles). En los experimentos subsecuentes se estableció un diseño completamente al azar con un solo factor (genotipo). En todos los casos se realizó un análisis de varianza seguido de una comparación de medias de Tukey, con un nivel de significancia de 5 %. Los datos se analizaron en el programa SAS (SAS Institute Inc., 2002).

Resultados y discusión

Maíces nativos reventadores



Las razas Palomero Toluqueño, Arrocillo y Chapalote pertenecen al grupo de maíces indígenas antiguos y se caracterizan por su capacidad para reventar (Wellhausen et al., 1951). Sin embargo, debido a la combinación de su germoplasma con maíces de otro tipo, dicho rasgo se ha ido perdiendo (Bautista-Ramírez et al., 2020). Además, se encuentran en riesgo de extinción debido a su baja productividad (Gámez-Vázquez et al., 2014).

El análisis del factor genotipo mostró que el procesamiento mediante cañón de expansión permitió obtener volúmenes de expansión superiores (Cuadro 1) a los reportados previamente para granos de las mismas razas (Bautista-Ramírez et al., 2020; Vázquez-Carrillo et al., 2019), con bajos porcentajes de granos no reventados y predominio de la forma de mariposa. En cuanto a la humedad final, los valores fueron similares a los reportados en palomitas procesadas por microondas o aire caliente (Ranathunga et al., 2016). Las diferencias significativas ($p < 0.05$) encontradas en las variables de calidad de reventado se pueden atribuir a las características propias de cada raza, aunque también influyen factores como las condiciones edafoclimáticas, las prácticas de cosecha y poscosecha, y la composición del grano (Sweley et al., 2013).

Cuadro 1. Comparación de medias de las variables de calidad de reventado en maíces nativos acondicionados y procesados en un cañón de expansión.

Genotipo	VE (cm ³ ·g ⁻¹)	GNR (%)	FH (%)	FM (%)	Humedad (%)
Toluqueño	19.45 b	2.85 b	8.64 c	79.6 a	2.97 b
Arrocillo	21.14 a	0.36 b	26.86 a	69.5 b	5.07 a
Chapalote	17.43 c	19.44 a	18.13 b	57.2 c	5.0 a
DMSH	1.35	2.9	7.73	8.36	0.32
Acondicionamiento					
13 %	18.56 b	9.26 a	17.09 a	68.98 a	4.55 a
14 %	20.12 a	5.83 b	18.66 a	68.6 a	4.15 b
DMSH	0.878	1.89	5.04	5.44	0.21

VE: volumen de expansión; GNR: granos no reventados; FH: forma de hongo; FM: forma de mariposa; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Letras diferentes dentro de cada columna y cada fuente de variación indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

La humedad de acondicionamiento tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el VE, los GNR y la humedad del producto. Con la humedad inicial del grano de 14 % se obtuvo el mayor VE, así como los valores más bajos de GNR y humedad en el grano inflado (Cuadro 1). En diversos estudios realizados con híbridos de maíces palomeros se ha reportado que la humedad de acondicionamiento es un factor crítico para obtener las mejores características de reventado (altos VE y pocos GNR), ya que humedades inferiores a 12 % y superiores a 15 % disminuyen el VE (Cañizares et al., 2024; Gökmen, 2004). Además, este parámetro también influye en la forma de la roseta (García-Pinilla et al., 2019).

Por otro lado, también se demostró que es posible reventar maíces de endospermo muy duro (MD, IF de 0 a 9 %) mediante el uso del cañón de expansión. Los mejores resultados, en términos de mayor VE y menos GNR, se alcanzaron con 14 % de humedad de acondicionamiento, por lo que esta condición fue empleada en el segundo experimento.

Maíces nativos con diferente dureza de endospermo acondicionados

El inflado de maíces por el método de cañón de expansión ha sido poco explorado. Al respecto, Oscco-Quispe (2013) trabajó con maíz amarillo duro, mientras que Rajha et al. (2021) evaluaron diferentes muestras de maíces peruanos (Morado, Chulpe y Cancha). En ambos trabajos, los granos fueron acondicionados entre 25 y 30 % de humedad. Sin embargo, el maíz presenta una amplia variabilidad en cuanto a forma, tamaño y dureza del endospermo (López-Morales et al., 2023). Por ello, en esta etapa se evaluó la viabilidad de obtener maíz inflado a partir de maíces con diferente dureza del endospermo.

Los resultados mostraron que es posible reventar maíces dentados clasificados como D, I y S, con IF entre 28.5 y 75 %, y distinto peso de 100 granos (Cuadro 2). En todos los casos, la proporción de GSR fue superior a la de GNR (Cuadro 2). Además, se tuvieron altos VE (19.4 a 21.89 cm³·g⁻¹



¹), y no se detectó una relación directamente proporcional entre la dureza del endospermo y el VE. Esto contrasta con la hipótesis de que los maíces duros generan mayores VE, mientras que los maíces suaves producen menores volúmenes. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en los porcentajes de GNR ni en la morfología de la roseta, donde predominó la forma de mariposa. La humedad del maíz inflado osciló entre 2.57 y 5.28 %, con diferencias significativas.

Cuadro 2. Comparación de medias de las características del grano y las variables de calidad de reventado en maíces nativos con diferente dureza de endospermo y procesados en un cañón de expansión.

Dureza	IF (%)	PCG (g)	VE (cm ³ ·g ⁻¹)	GSR (%)	GNR (%)	FH (%)	FM (%)	HI (%)
D1	28.5 e	33.85 ab	20.81 ab	0.24 b	1.01 a	34.56 a	64.4 a	3.18 cd
D2	33.5 de	26.31 b	19.88 ab	1.79 ab	0.45 a	19.22 ab	79.02 a	2.57 d
I1	56.5 bc	30.64 b	17.42 c	5.55a	1.32 a	26.45 ab	71.75 a	3.5 c
I2	47.0 cd	30.40 b	20.08 ab	3.26 ab	0.0 a	15.83 b	81.75 a	5.28 a
S1	75.0 a	33.89 ab	19.4 bc	1.04 b	0.69 a	21.21 ab	76.52 a	4.98 ab
S2	67.0 ab	45.22 a	21.89 a	0.66 b	0.33 a	19.09ab	77.67 a	4.35 b
DMSH	15.54	11.52	2.36	4.46	3.09	15.78	27.26	0.72

D: duro; I: intermedio; S: suave; IF: índice de flotación; PCG: peso de 100 granos; VE: volumen de expansión; GSR: granos semireventados; GNR: granos no reventados; FH: forma de hongo; FM: forma de mariposa; HI: humedad en maíz inflado; 1 y 2: corresponden a la población analizada; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

De esta etapa se concluye que con el uso de un cañón de expansión es posible reventar maíces de diferente tamaño y dureza de endospermo, los cuales no reventarían con métodos convencionales (sartén, microondas y aire caliente). No obstante, no predominó la forma de hongo, la cual es típica del maíz inflado.

Maíces nativos sin acondicionar

Los resultados de esta prueba demostraron que es posible obtener maíz inflado a partir de granos con diferente dureza del endospermo (Cuadro 3), desde muy duros (MD) hasta muy suaves (MS), con IF de 5 a 95.5 %. No obstante, en pruebas realizadas con maíces altamente harinosos (IF > 98 %), como los de las razas Cacahuacintle y Cónico, se observó que no es posible expandir el grano, sino que únicamente se tuesta (datos no mostrados).

Los VE oscilaron entre 11.07 y 25.72 cm³·g⁻¹, lo cual concuerda con lo reportado en algunos híbridos de maíces palomeros (Zulkadir & İdikut, 2021). Asimismo, se obtuvieron valores bajos de GSR y GNR (Cuadro 3), incluso inferiores a lo reportado con el método de reventado en sartén, uno de los más eficientes en la transferencia de calor para inducir el reventado (Gökmen, 2004). No se encontró una relación directa entre la dureza del endospermo y el PCG con el VE. Sin embargo, la forma que adopta el grano al expandirse (hongo o mariposa) podría influir en el VE. Lo anterior debido a que las rosetas en forma de mariposa presentan apéndices que impiden su compactación en la probeta de medición, lo cual deja espacios vacíos, mientras que las de forma de hongo son más compactas (Figura 1) y genera menor cantidad huecos.

García-Pinilla et al. (2019) mencionan que, en las rosetas con forma de hongo, el gránulo de almidón presenta una expansión mínima, mantiene su estructura y presenta el hilio, a través del cual migró el agua. En contraste, las rosetas en forma de mariposa y más de un apéndice probablemente se forman debido a la presencia de dos sitios principales de liberación de vapor, lo que además genera cavidades más grandes.

Cuadro 3. Comparación de medias de las características del grano y las variables de calidad de reventado en maíces nativos con diferente dureza de endospermo, sin acondicionamiento de humedad y procesados en un cañón de expansión.



	IF (%)	PCG (g)	VE (cm ³ ·g ⁻¹)	GSR (%)	GNR (%)	FH (%)	FM (%)	HI (%)	DI (N)
MD1	5.0 g	27.19 h	22.93 ab	0.31 a	1.5 a	66.12 cd	33.88 ab	4.23 a	21.5 e
MD2	9.0 g	29.43 g	19.86 bc	0.0 a	0.0 c	84.98 ab	15.02 cd	3.53 ab	47.61 bc
D1	13.5 fg	31.26 f	25.72 a	0.0 a	0.0 c	65.95 cd	34.06 ab	3.54 ab	62.90 a
D2	29.0 ef	21.45 i	14.11 de	1.3 a	0.45 bc	69.27 bcd	30.73 abc	2.55 cde	65.61 a
I1	55.0 d	38.95 e	16.27 cd	0.0a	0.96 abc	77.74 abc	22.27 bcd	2.11 de	33.52 d
I2	41.0 de	56.74 c	11.07 e	0.84 a	0.42 bc	91.68 a	8.32 d	2.96bcd	50.38 b
S1	73.5 c	42.28 d	25.0 a	0.0 a	0.0 c	72.10 bc	21.91 bc	3.22 bc	47.53 bc
S2	75.5 bc	62.55 b	21.72 ab	0.93 a	0.0 c	64.41 cd	35.60 ab	3.38 abc	43.87 c
MS1	95.5 a	81.72 a	18.42 bcd	0.0 a	0.12 c	69.33 bcd	30.67 abc	3.38 abc	43.67 c
MS2	91.5 ab	42.45 d	15.50 cde	0.0 a	1.41 ab	54.60 d	45.41 a	1.82 e	37.26 d
DMSH	17.98	0.53	4.58	2.31	1.0004	17.12	17.12	0.94	4.31

MD: muy duro; D: duro; I: intermedio; S: suave; MS: muy suave; IF: índice de flotación; PCG: peso de 100 granos; VE: volumen de expansión; GSR: granos semireventados; GNR: granos no reventados; FH: forma de hongo; FM: forma de mariposa; HI: humedad en maíz inflado; DI: dureza del maíz inflado; 1 y 2: corresponden a la población analizada; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

En el grano sin acondicionar y con mayor presión de trabajo predominó la forma de hongo (Cuadro 3), la cual es típica de productos inflados (Mariotti et al., 2006). La humedad del maíz inflado (HI) fue ligeramente menor en comparación con la obtenida en los granos acondicionados a 14 % de humedad (Cuadro 2 y 3), con una dureza de 21.5 a 65.61 N, lo que indica una textura porosa y crujiente.

Maíces nativos procesados en cañón semiindustrial

Con base en los resultados anteriores, que demostraron la posibilidad de inflar granos con diferente dureza de endospermo (desde muy duros hasta muy suaves), se seleccionaron maíces con dureza similar para su procesamiento en un cañón semiindustrial (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación de medias de las características del grano y las variables de calidad de reventado en maíces nativos con diferente dureza de endospermo, sin acondicionamiento de humedad y procesados en un cañón de expansión semiindustrial.

	IF (%)	PCG (g)	HG (%)	Tiempo de proceso (min)	VE (cm ³ ·g ⁻¹)	FH (%)	HI (%)	DI (N)
MD	9.0 e	26.13 e	13.15 a	11.19 a	11.58 a	100	3.08 b	47.84 b
D	36.0 d	30.97 d	12.15 bc	11.28 a	11.98 a	100	3.52 a	35.86 d
I	63.0 c	54.40 c	11.75 c	11.5 a	11.93 a	100	2.99 b	54.21 a
S	75.5 b	62.56 a	12.15 bc	11.36 a	12.0 a	100	3.09 b	41.49 c
MS	93.5 a	58.54 b	12.4 b	11.48 a	11.8 a	100	3.31 ab	38.12 cd
DMSH	7.39	3.71	0.51	0.51	0.52		0.39	3.41

MD: muy duro; D: duro; I: intermedio; S: suave; MS: muy suave; IF: índice de flotación; PCG: peso de 100 granos; HG: humedad del grano; VE: volumen de expansión; FH: forma de hongo;

HI: humedad en maíz inflado; DI: dureza del maíz inflado; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

Bajo esta modalidad, el 100 % de los granos se expandieron y conservaron la forma del hongo (Cuadro 4, Figura 3), en un tiempo medio de procesamiento de 11.36 min. La principal diferencia entre el procesamiento en el cañón semiindustrial y el cañón de laboratorio fue el VE, el cual se redujo casi a la mitad (Cuadros 3 y 4). Esto se puede atribuir a la forma del grano inflado, ya que, al no presentar los apéndices típicos de la forma de mariposa, el volumen ocupado por la muestra fue menor. Los valores de HI y DI oscilaron entre 2.99-3.52 % y 35.86-54.21 N, respectivamente, similares a los obtenidos con el cañón de laboratorio (Cuadro 3). Cabe resaltar que los granos



inflados se obtuvieron de maíces sin acondicionamiento de humedad, lo cual representa una ventaja en el procesamiento. Diversos estudios mencionan la necesidad de acondicionar el maíz a altos niveles de humedad para su procesamiento en cañones de expansión (Mrad et al., 2014; Osco-Quispe, 2013; Rajha et al., 2021). Este requerimiento implica etapas adicionales en el proceso y un mayor control, ya que el incremento en la humedad puede favorecer el riesgo de contaminación fúngica.

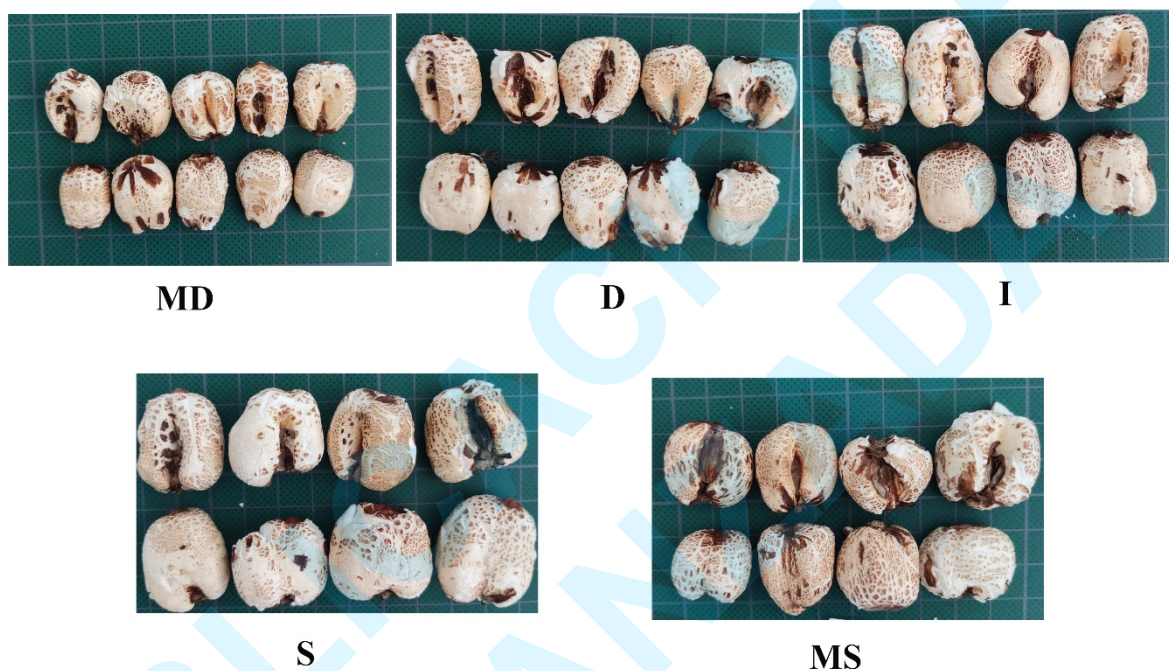


Figura 3. Maíces nativos con diferentes durezas de endospermo procesados en un cañón semiindustrial. La cuadrícula representa 1 cm². MD: muy duro; D: duro; I: intermedio; S: suave; MS: muy suave.

Conclusiones



Con el método de cañón de expansión, es posible obtener palomitas de maíz con bajos porcentajes de granos no reventados y con forma de mariposa a partir de maíces de razas indígenas antiguas que han perdido su capacidad reventadora.

El acondicionamiento de los granos a 14 % de humedad permitió alcanzar altos volúmenes de expansión ($19.4\text{--}21.9\text{ cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$) y granos inflados en forma de mariposa. Por otro lado, una mayor presión de trabajo, pero sin acondicionamiento del grano, favoreció la formación de granos con forma de hongo, típica del maíz inflado.

La expansión de maíces dentados nativos, con endospermo clasificado desde muy duro hasta muy suave (índices de flotación de 9.0 a 93.5 %) y diferente tamaño de grano, es posible con el uso de un cañón de expansión semiindustrial operado a 1.03 MPa. El producto obtenido presenta baja humedad, así como características deseables de porosidad y textura crujiente.

En el contexto de las nuevas políticas públicas que promueven la eliminación de comida chatarra en las escuelas, el maíz inflado representa una opción viable como botana saludable. Su elaboración a partir de maíces nativos sin un uso específico permite agregar valor mediante un proceso ágil que genera un alimento listo para el consumo.

Referencias

- American Association of Cereal Chemists (AACC). (2020) *International Approved Methods of Analysis*. AACC International.
- Bautista-Ramírez, E., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., López-Sánchez, H., & Esquivel-Esquivel, G. (2020). Rendimiento y capacidad de expansión del grano de maíz en la raza Palomero Toluqueño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(7), 1607–1618. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2130>
- Cañizares, L. C., Ziegler, V., da Silva-Timm, N., Ferreira, C. D., Eicholz, E. D., & de Oliveira, M. (2024). Effects of delayed drying interval and the drying temperature of popcorn on sensory and technological quality. *Journal of Cereal Science*, 120, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.104035>



- Fast, R. B., Perdon, A. A., & Schonauer, S. L. (2020). Breakfast-Forms, ingredients, and process flow. In A. A. Perdon, S. L. Schonauer, & K. S. Poutanen (Eds.), *Breakfast cereals and how they are made* (3rd ed., pp. 5–35). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/c2017-0-04647-5>
- Gámez-Vázquez, A. J., de la O-Olán, M., Santacruz-Varela, A., & López-Sánchez, H. (2014). Conservación in situ, manejo y aprovechamiento de maíz Palomero Toluqueño con productores custodios. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(8), 1519–1530. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i8.832>
- García-Pinilla, S., Gutiérrez-López, G. F., Hernández-Sánchez, H., Cáez-Ramírez, G., García-Armenta, E., & Alamilla-Beltrán, L. (2019). Quality parameters and morphometric characterization of hot-air popcorn as related to moisture content. *Drying Technology*, 39(1), 77–89. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1695626>
- Gökmen, S. (2004). Effects of moisture content and popping method on popping characteristics of popcorn. *Journal of Food Engineering*, 65(3), 357–362. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.01.034>
- Jia, L., Huang, R., Wang, S., Dong, Y., Lv, J., Zhong, W., & Yan, F. (2021). Effects of explosion puffing on the composition, structure, and functional characteristics of starch and protein in grains. *ACS Food Science and Technology*, 1(10), 1869–1879. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00232>
- Lee, H. J., Kim, S., Suh, H. J., & Ryu, D. (2019). Effects of explosive puffing process on the reduction of ochratoxin A in rice and oats. *Food Control*, 95, 334–338. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.08.004>
- López-Morales, F., Vázquez-Carrillo, M. G., Aragón-García, A., Pérez-Torres, B. C., Marrufo-Díaz, M. L., Hernández-Salinas, G., & Ibáñez-Martínez, A. (2023). Caracterización del grano y tortilla de razas nativas del Estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(4), 357–366. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.357>
- Mariotti, M., Alamprese, C., Pagani, M. A., & Lucisano, M. (2006). Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flours. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.007>



- Mounir, S., Ghandour, A., Farid, E., & Shatta, A. (2023). Popped and puffed cereal products. In M. A. Shah, K. V. Sunooj, & S. A. Mir (Eds.), *Cereal-Based Food Products* (pp. 169–196). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-40308-8_8
- Mrad, R., Debs, E., Maroun, R. G., & Louka, N. (2014). Multiple optimization of chemical components and texture of purple maize expanded by IVDV treatment using the response surface methodology. *Food Chemistry*, 165, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.087>
- Oscoco-Quispe, K. R. (2013). *Efecto de la variación de humedad, presión y cantidad de carga en la obtención del maíz amarillo duro (Zea mays L.) expandido*. [Tesis de licenciatura. Universidad Nacional José María Arguedas]. <https://hdl.handle.net/20.500.14168/204>
- Pérez-Ruiz, R. V., Aguilar-Toalá, J. E., Cruz-Monterrosa, R. G., Rayas-Amor, A. A., Hernández-Rodríguez, M., Camacho-Villasana, Y., & Herrera-Pérez, J. (2024). Mexican native maize: Origin, races and impact on food and gastronomy. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 37, 100978. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2024.100978>
- Rajha, H. N., Debs, E., Abi-Rached, R., El-Khoury, K., Al-Kazzi, M., Mrad, R., & Louka, N. (2021). Innovation in cannon puffing technology for the homogenization of bulk treatment: Half-popped purple corn, a new healthy snack. *Journal of Food Process Engineering*, 44(6), e13695. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13695>
- Ranathunga, R. A. A., Gunasekara, G. T. N., & Wijewardana, D. C. M. S. I. (2016). Quality performance, proximate composition and sensory evaluation of developed flavoured instant popcorn. *Procedia Food Science*, 6, 143–146. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2016.02.034>
- Serna-Saldivar, S. O., & Chuck-Hernandez, C. (2019). Food uses of lime-cooked corn with emphasis in tortillas and snacks. In S. O. Serna-Saldivar (Ed.), *Corn: Chemistry and Technology* (3rd edit, pp. 469–500). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00017-6>
- Sharifi, S., Majzoobi, M., & Farahnaky, A. (2021). Effects of particle size and moisture content of maize grits on physical properties of expanded snacks. *Journal of Texture Studies*, 52(1), 110–123. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12565>
- SAS Institute Inc. (2002). *SAS/STAT® user's guide, version 9.0*. SAS Institute Inc.



- Sweley, J. C., Rose, D. J., & Jackson, D. S. (2013). Quality traits and popping performance considerations for popcorn (*Zea mays* Everta). *Food Reviews International*, 29(2), 157–177. <https://doi.org/10.1080/87559129.2012.714435>
- Vázquez-Carrillo, M. G., Santiago-Ramos, D., & Figueroa-Cárdenas, J. D. (2019). Kernel properties and popping potential of Chapalote, a Mexican ancient native maize. *Journal of Cereal Science*, 86, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.010>
- Vázquez-Carrillo, M. G., Toledo-Aguilar, R., Aragón-Cuevas, F., Salinas-Moreno, Y., Palacios-Rojas, N., & Santiago-Ramos, D. (2023). From maize to tlayuda, a traditional big-flat leathery tortilla. Effect of two nixtamalization processes on some physicochemical and nutraceutical properties. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 31, 100661. <https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2023.100661>
- Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., & Hernandez, E. X. (1951). *Razas de maíz en México, su origen, características y distribución*. Secretaría de Agricultura y Ganadería de México. https://www.ars.usda.gov/ARSErrorFiles/50301000/Races_of_Maize/Raza_Mexico_0_Book.pdf
- Zulkadir, G., & İdikut, L. (2021). Determination of popping traits and grain quality of landraces popcorn populations. *Journal of Food Science and Technology*, 58(4), 1302–1312. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04639-4>