



**Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**

**Instituto de Ciencias Agropecuarias**

**Ciudad Universitaria de Tulancingo**

---

**ANÁLISIS DE DUREZA DEL GRANO DE MAÍZ  
NATIVO DEL ESTADO DE HIDALGO: PRUEBAS  
FÍSICAS E IMAGENOLOGÍA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**P R E S E N T A**

**ELIZABETH AMADOR GONZÁLEZ**

**DIRECTORA DE TESIS DRA. IRMA MORALES RODRÍGUEZ**

**TULANCINGO DE BRAVO HIDALGO, 2026**



# Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

*Institute of Agricultural Sciences*

Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos

*Academic Area of Agroindustrial engineering and Food Engineering*

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 09 de abril de 2026.

**Asunto:** Autorización de impresión

**Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado**  
**Directora de Administración Escolar de la UAEH**

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado al pasante de Licenciatura en Ingeniería Agroindustrial, **Amador González Elizabeth** quien presenta el trabajo de Tesis denominado "**Análisis de dureza del grano de maíz nativo del estado de Hidalgo: pruebas físicas e imagenología**", que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del comité revisor:

Dra. Irma Morales Rodríguez

Dr. Alberto Julián Valencia botín

Dr. Sergio Soto Simental

Dr. Juan Ocampo López

Dra. Gabriela Medina Pérez

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

**Atentamente**  
**"Amor, Orden y Progreso"**

**Dr. Yair Olovaldo Santiago Sáenz**  
**Coordinador del P.E. de Ingeniería Agroindustrial**

Av. Universidad No. 133, Col. San Miguel Huatengo, Santiago

Tulantepec. C.P. 43775. Hidalgo, Mexico.

Teléfono: 7717172000 Ext. 42021

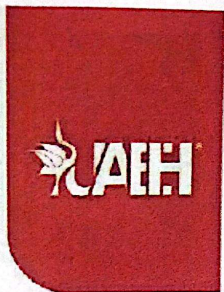
ricardo\_navarro@uaeh.edu.mx



"Amor, Orden y Progreso"



uaeh.edu.mx



**Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**  
**Instituto de Ciencias Agropecuarias**  
*Institute of Agricultural Sciences*  
**Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos**  
*Academic Area of Agroindustrial engineering and Food Engineering*

**Asunto:** Incorporación al repositorio de Tesis

**MTRO. JORGE E. PEÑA ZEPEDA**  
**DIRECTOR DE BIBLIOTECA CENTRAL**  
**PRESENTE**

Sea este el medio para hacerle llegar un cordial saludo, al tiempo que solicito su valioso apoyo para que la tesis con título **“Análisis de dureza del grano de maíz nativo del estado de Hidalgo: pruebas físicas e imagenología”** será incorporada al repositorio de la Biblioteca de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, la cual ha sido verificada en su versión digital, el documento fue elaborado por la egresada **Elizabeth Amador González**, con número de cuenta **355987** de la Licenciatura en Ingeniería Agroindustrial.

Sin más por el momento agradecemos su atención.

**ATENTAMENTE**

Santiago Tulantepec, Hidalgo a 9 de septiembre de 2025  
 “Amor, Orden y Progreso”



**Dr. Armando Peláez Acero**  
 Director

**Instituto de Ciencias Agropecuarias**

**Elizabeth Amador González**  
 Egresado de Ingeniería Agroindustrial

**Dr. Yair Olovaldo Santiago Sáenz**  
 Coordinador del Programa Educativo  
 Ingeniería Agroindustrial

“Amor, Orden y Progreso”

Av. Universidad No. 133, Col. San Miguel Huatengo, Santiago  
 Tulantepec. C.P. 43775. Hidalgo, Mexico.  
 Teléfono: 7717172000 Ext. 42021  
 ricardo\_navarro@uaeh.edu.mx



[uaeh.edu.mx](http://uaeh.edu.mx)

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir, por ayudarme a superar cualquier obstáculo por muy difícil que sea, el que siempre me guía por buen camino.

Agradezco profundamente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) y al Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP) por brindarme una formación académica de excelencia y un espacio en el que pude desarrollarme tanto profesional como personalmente.

A mis padres, José y Yolanda, quienes han sido mi principal pilar de apoyo, por todo su cariño, paciencia y motivación a lo largo de este camino. Gracias por creer en mí en cada etapa de este proceso.

A la Doctora Irma Morales Rodríguez, directora de esta tesis, mi guía y mentora. Su acompañamiento, su fe en mis capacidades y sus valiosas enseñanzas no solo enriquecieron este trabajo, sino también mi crecimiento como profesionista y ser humano. Gracias por su apoyo constante y por inspirarme a dar siempre lo mejor de mí.

Al Doctor Juan Capulín, por su importante colaboración en el análisis y correlación de datos. Su asesoría y disposición para compartir su conocimiento fueron fundamentales para alcanzar los objetivos de esta investigación.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Alberto Botín, al Dr. Sergio Soto y al Dr. Juan Ocampo, por su valiosa orientación y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. Su experiencia, conocimientos y aportaciones fueron fundamentales para fortalecer la calidad académica de este trabajo. Agradezco especialmente el tiempo dedicado a la revisión del manuscrito, así como sus observaciones y sugerencias, las cuales contribuyeron significativamente a la mejora del presente estudio.

A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento. Este logro es también suyo.

## DEDICATORIA

Con el corazón lleno de Alegría, dedico esta tesis a mi familia, cuyo amor y apoyo incondicional me han dado la fuerza para seguir adelante en cada paso de este camino. A mi padre, José, y a mi madre, Yolanda, gracias por ser mis pilares, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Su confianza en mí ha sido una luz que me ha guiado en los momentos de duda. A mis hermanos, Vane, José de Jesús y Mateo, gracias por ser mis cómplices y por siempre animarme a dar lo mejor de mí. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi vida, y este logro es tan suyo como mío.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la doctora Irma Morales Rodríguez, su guía y sabiduría han sido fundamentales en mi desarrollo académico y personal. Gracias por compartir su conocimiento y tiempo, por inspirarme a alcanzar mis metas, su apoyo constante y su fe en mí me han motivado a superar cada desafío que se ha presentado.

A mis amigos, Marco, Paulina y Kevin, gracias por estar siempre a mi lado. Ustedes han sido una fuente inagotable de risas y apoyo en los momentos más difíciles. Cada conversación, cada momento compartido, ha hecho que este viaje sea mucho más llevadero y lleno de alegría. Su amistad es un regalo invaluable que atesoro profundamente.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Sin su amor, apoyo y compañía, este logro no habría sido posible. ¡Gracias por ser parte de mi vida!

# Contenido

Índice de figuras .....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT .....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
OBJETIVOS .....	9
Revisión de literatura .....	10
Origen y domesticación del maíz .....	10
Maíces nativos de México .....	12
Maíz nativo en el estado de Hidalgo .....	15
Importancia del cultivo de Maíz .....	17
Importancia sociocultural.....	17
Importancia económica.....	18
Importancia agroindustrial.....	19
Clasificación taxonómica .....	21
Estructura del grano .....	22
Propiedades funcionales del almidón de maíz .....	25
Propiedades fisicoquímicas del grano.....	26
Humedad .....	26
Higroscopicidad .....	27
Dureza del grano.....	27
Métodos para determinar dureza .....	29
Materiales y Métodos.....	34
Área de estudio (estado de Hidalgo): .....	34
Colecta de muestras .....	35
Determinación de Peso de 1000 Granos (PMG) .....	37
Determinación de Peso Hectolitrico (PH) .....	38
Determinación de resistencia al quebrado .....	39
Procesamiento de imágenes .....	40
Resultados y Discusión.....	41
Peso específico de granos de maíz .....	41
Densidad aparente del grano de maíz .....	43

Resistencia mecánica del grano de maíz.....	45
Procesamiento de imágenes .....	46
Correlación entre métodos de determinación de dureza.....	48
Conclusión.....	49
Bibliografía .....	51
Anexos .....	54

## Índice de figuras

Figura 1. Fase evolutiva de maíz (Hernández, 2019).....	11
Figura 2 . Regiones del estado de Hidalgo con identificación de maíz nativo (González, 2015). .....	16
Figura 3 . Procesamiento de maíz, molienda seca, productos y subproductos (Rausch y Singh, 2014).....	20
Figura 4. Zea mays (Blanco,2016). .....	21
Figura 5 . Estructura del grano de maíz (Pomeranz, 1987). .....	24
Figura 6 . Cultivo de maíz de Atotonilco el Grande. ....	34
Figura 7 . Muestra primaria de maíz Blanco. ....	35
Figura 8. Determinador de humedad: Seedburo modelo 1200D .....	36
Figura 9. Determinación de PMG en maíz Menudita Azul y Amarillo.....	37
Figura 10. Balanza volumétrica modelo 64P, Seedburo .....	38
Figura 11. Prueba de resistencia al quebrado.....	39
Figura 12. Punto de inserción de la sonda. ....	39
Figura 13, Procesamiento de imágenes A) Lijado. B) Toma de fotografías. C) Procesamiento de imagen con el programa Image J Versión 1.53. ....	40
Figura 14. Imagenología de maíz nativo e híbridos del estado de Hidalgo. H-C 1 (Híbrido comercial 1), H-C 2 (Híbrido comercial 2, H-C 3 (Híbrido comercial 3). ....	47

## Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de maíces nativos, grupo, razas, principales características morfológicas y usos .....	13
Tabla 2. Escala de superficie, producción y rendimiento del cultivo de maíz .....	18
Tabla 3. Información geográfica de genotipos de maíz nativo e híbridos del estado de Hidalgo .....	35
Tabla 4. Diferenciación del PMG de 10 genotipos de maíz nativo del estado de Hidalgo.....	41
Tabla 5. PH de 10 genotipos de maíz nativo del estado de Hidalgo. ....	43
Tabla 6. Promedio de las variables de resistencia al quebrado en genotipos analizados; Fuerza en Newtons (N) y Trabajo en Joules (J).....	45
Tabla 7. Prueba de medias para área cristalina en genotipos analizados con procesamiento de imágenes.....	46

## RESUMEN

México es reconocido como el centro de origen y diversificación del maíz (*Zea mays* L.), albergando 59 de las 64 razas nativas presentes en el país. Estas presentan atributos gastronómicos y variabilidad en las características del endospermo, las cuales influyen directamente en la dureza del grano y, en consecuencia, en el rendimiento en harina, así como en las propiedades de cocción y en los procesos de molienda. No obstante, esta característica ha sido poco estudiada en maíces nativos. El objetivo del presente trabajo fue analizar la dureza del grano en maíces nativos del estado de Hidalgo mediante métodos físicos e imagenología para optimizar su aprovechamiento. Los materiales Amarillo, Blanco y Negro, fueron colectados en la localidad de La Lagunilla, Hgo. Blanco ancho, Menudita azul, Negro ancho y Villa, colectados en el municipio de Atotonilco el Grande, Hgo. Dos materiales híbridos comerciales colectados en el municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hgo. Y un material híbrido comercial colectado en Texcoco de Mora, CDMX. La dureza se determinó mediante análisis físicos e imagenología.

El mayor Peso hectolitrico (PH) lo mostraron los tres maíces comerciales, seguido el Blanco Ancho (76.2), después el Villa (75), el Amarillo, el Negro ancho (72), el Blanco, el Menudita azul (70) y el menor PH lo mostró el Negro (68.2). El mayor Peso de 1000 granos (PMG) correspondió al Negro ancho (50-60), seguido por el Blanco ancho (40-50), Amarillo, Negro, Blanco, Menudita, y el Villa junto con los tres híbridos (30-40) presentaron el menor PMS. La fuerza (HF) requerida para romper el grano fue superior para el genotipo Amarillo (1653.51), seguido por dos de los híbridos (1444.60-1557.22), Blanco Ancho, Blanco (984.75-1330.18), y el otro híbrido (844.16) e inferior para Menudita Azul, Negro Ancho y Negro (237.64-435.95). El mayor trabajo de ruptura del grano (HWF), fue para el Amarillo (174312.29), seguido por uno de los híbridos (13617.10), Blanco (130632.88), un híbrido junto con el Villa, Blanco Ancho, Menudita Azul (73614.40- 125862.93), y el menor valor de HWF fue para el Negro Ancho y Negro (42688.58- 47683.26). El área de endospermo cristalino fue mayor en dos de los híbridos (30-40), seguidas por Blanco Ancho, Blanco, Amarillo, Villa y el otro híbrido (10-20), y menor en Menudita azul, Negro y Negro ancho

(0-10). Valores debidos a la forma, tamaño, textura y tipos de endospermo de los genotipos estudiados.

## **ABSTRACT**

Mexico is the center of origin and diversification of corn (*Zea mays* L.) and has a wide diversity of native populations (59 races), with gastronomic attributes and different endosperm characteristics, which determine the hardness of the grain and indicate the flour yield, cooking properties and milling process. This characteristic, in native corn, has been studied little. The objective of this work was to determine, through physical methods and image processing (IP), the hardness of native corn from the state of Hidalgo: Yellow, White, Black collected in La Lagunilla; Wide white, Menudita blue, Wide black, Villa in Atotonilco el Grande and two commercial materials in the Mezquital Valley and another in the State of Mexico. Hardness was determined by physical analysis and endosperm type by PI from photographs of worn grains.

The highest Weight-Volume (PV) was shown, significantly, by one of the hybrids (78.5) followed by the other two, and the White Wide (76.2), then the Villa (75), Yellow, Black wide (72), White, Petite blue (70) and the lowest PV was shown by the Black (68.2). The highest 1000-Seed Weight (MSP) corresponded to the Broad Black (50-60), followed by the Broad White (40-50), Yellow, Black, White, Menudita, and Villa along with the three hybrids (30-40) presented the lowest PMS. The force (HF) required to break the grain was higher for the Yellow genotype (1653.51), followed by two of the hybrids (1444.60-1557.22), White Wide, White (984.75-1330.18), and the other hybrid (844.16) and lower for Menudita Blue, Black Wide and Black (237.64-435.95). The highest grain breaking work (HWF) was for Amarillo (174312.29), followed by one of the hybrids (13617.10), Blanco (130632.88), a hybrid along with Villa, Blanco Ancho, Menudita Azul (73614.40- 125862.93), and the lowest HWF, Negro Ancho and Negro (42688.58- 47683.26). The crystalline endosperm area was higher in two of the hybrids (30-40), followed by Blanco Ancho, Blanco, Amarillo, Villa and the other hybrid (10-20), and lower in Menudita azul, Negro and Negro ancho (0-10). Values due to the shape, size, texture and types of endosperm of the genotypes studied. The PI, unlike that used in the flour industry, is not destructive, an important factor for plant

breeding programs, and is also easily accessible due to the existence of different free software.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, estudios moleculares, botánicos y arqueológicos demuestran que México es el centro de origen y domesticación del maíz (*Zea mays* L.) (Piperno y Smith, 2012). El territorio mexicano alberga 59 poblaciones nativas (razas), de las 400 que existen en el mundo (Bellon y Berthaud, 2004; Kato *et al.*, 2009). La diversidad del maíz es conservada *in situ* principalmente en regiones de secano (Trejo *et al.*, 2004), donde la producción del grano se enfrenta a diversas limitantes ecológicas como la falta de agua, suelos carentes de nutrientes, plagas y pudriciones de mazorca ocasionadas por hongos principalmente. No obstante, resalta la adaptación de estos materiales a dichas adversidades en comparación con los materiales comerciales (Franco-Martínez *et al.*, 2015). Sin embargo, entre otros factores, los cambios culturales, económicos, de mercado, sociales y adopción de la semilla híbrida, son elementos que amenazan la conservación de dichas razas y se percibe también que la superficie de siembra está disminuyendo (Sangermán-Jarquín *et al.*, 2018). En el Estado de Hidalgo, el 95% de la superficie total es sembrada bajo condiciones de temporal, es ocupada para producir maíces nativos (Hernández-Baltazar *et al.*, 2014) y es Atotonilco el Grande, el municipio con mayor diversidad (39 razas) (Pérez-Camarillo, 2015) y donde los productores destinan la cosecha de grano para consumo y grano que ocupan para sembrar el siguiente ciclo de cultivo, resguardando así a las poblaciones de maíces nativos que poseen y que cuentan con características únicas por ser exclusivas de la región. No obstante, estos materiales no cuentan con una caracterización de atributos de calidad. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo es caracterizar la calidad de los maíces nativos de Atotonilco el Grande y La Lagunilla, Hidalgo, considerando métodos analíticos actualmente normados, esto para optimizar el uso de estas poblaciones y mejorar, prácticas agrícolas, comercialización, procesamiento y prevenir la pérdida de la biodiversidad de maíces nativos del estado de Hidalgo. El objetivo del presente trabajo fue analizar la dureza del grano en maíces nativos del estado de Hidalgo mediante métodos físicos e imagenología para optimizar su aprovechamiento.

## **OBJETIVOS**

### *Objetivo General*

Analizar la dureza del grano en maíces nativos del estado de Hidalgo mediante métodos físicos e imagenología para optimizar su aprovechamiento.

### *Objetivos específicos*

- Determinar la dureza del grano de maíces nativos del estado de Hidalgo mediante métodos físicos (peso de mil granos, peso hectolitrico y perfil de textura) para orientar su posible destino agroindustrial.
- Cuantificar la proporción de endospermo cristalino y harinoso utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes, para evaluar su influencia en la dureza del grano y su comportamiento tecnológico.
- Comparar los resultados obtenidos por métodos físicos tradicionales con los derivados del análisis digital de imágenes con el propósito de analizar la concordancia entre metodologías y su aplicabilidad como herramientas complementarias de evaluación.

## **HIPÓTESIS**

*Los maíces nativos del estado de Hidalgo presentan diferencias significativas en la dureza del grano, las cuales se relacionan con su estructura interna y pueden ser determinadas mediante métodos físicos y procesamiento digital de imágenes.*

## Revisión de literatura

### Origen y domesticación del maíz

Registros arqueológicos y evidencia genética sitúan a las zonas bajas del suroeste de México, en la cuenca del río Balsas, como el lugar donde ocurrió la domesticación primaria de esta especie (Van Heerwaarden *et al.*, 2023). Estudios moleculares indican que el maíz proviene de la domesticación del teocintle (*Zea mays* ssp. *parviglumis* L.), una subespecie silvestre endémica de dicha región, proceso que tuvo lugar hace aproximadamente 9,000 años calendario A. P. (antes del presente), en la Vertiente del Pacífico en los estados de Michoacán y Guerrero, donde esta planta se distribuye entre 400 a 1,800 msnm. (Matsuoka *et al.*, 2022; Sawers y Sánchez, 2021).

La evidencia botánica más antigua de maíz domesticado procede de la cueva de Guilá Naquitz, Oaxaca, donde se han identificado restos de mazorcas tempranas de *Zea mays* con una antigüedad aproximada de 6,250 años A. P. (Piperno *et al.*, 2009). La dispersión rápida del cultivo en Mesoamérica se respalda por el hallazgo de granos de polen en San Andrés, Tabasco, con una edad cercana a 7,000 años A. P., así como por la ausencia de poblaciones silvestres de teocintle en esa región, lo que sugiere que su introducción fue desde el lugar de su domesticación original en la cuenca del Balsas (Pohl *et al.*, 2007; Van Heerwaarden *et al.*, 2011). Evidencias adicionales del Valle de Tehuacán, Puebla, confirman el manejo y cultivo temprano del maíz en Mesoamérica hace aproximadamente 7,000 años (Galindo, 2022).

La domesticación del maíz implicó un proceso continuo de selección humana dirigido a características como el aumento del tamaño del grano, la reducción de la dispersión natural de las semillas y una mayor dependencia de la planta hacia el manejo agrícola para su reproducción (Doebley *et al.*, 2006). Como resultado de este proceso, el maíz se diversificó ampliamente en Mesoamérica y posteriormente en el continente americano, generando numerosas razas adaptadas a distintos climas, altitudes y sistemas agrícolas tradicionales. Esta prolongada historia de domesticación y diversificación explica la elevada variabilidad genética y fenotípica que caracteriza a las poblaciones de maíz actuales.

Además de su relevancia biológica y productiva, la domesticación del maíz tuvo profundas implicaciones socioculturales, al permitir la transición de grupos nómadas hacia sociedades sedentarias y consolidarlo como la base alimentaria y económica de las civilizaciones mesoamericanas (CONABIO, 2021., SADER, 2023). (Fig. 1).

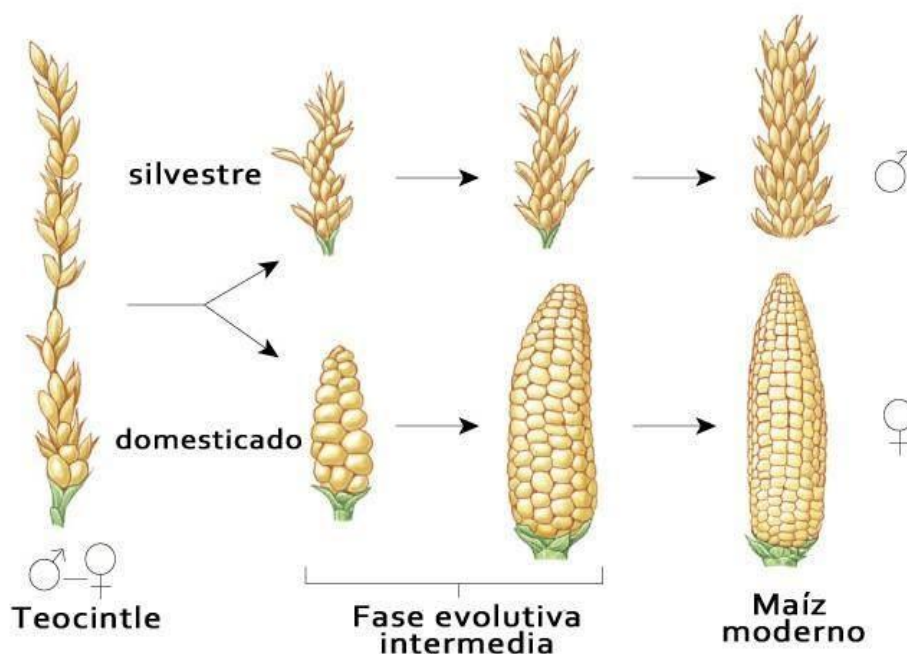


Figura 1. Fase evolutiva de maíz (Hernández, 2019).

Como resultado, el maíz desarrolló una elevada variabilidad genética y fenotípica, observable actualmente en los maíces nativos, particularmente en características del grano como tamaño, forma, composición del endospermo y dureza. Esta diversidad, reconocida como patrimonio biocultural por instituciones como la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), sustenta la importancia de estudiar las propiedades físicas del grano, ya que estas reflejan tanto su historia evolutiva como su potencial de aprovechamiento agroindustrial. En este contexto, la dureza del grano emerge como un rasgo clave para vincular el origen y la domesticación del maíz con su calidad, funcionalidad y valor agregado en los sistemas productivos actuales.

## Maíces nativos de México

México alberga mayor diversidad de maíz en el mundo, resultado de miles de años de domesticación, selección y manejo por parte de comunidades campesinas e indígenas en una amplia gama de ambientes ecológicos y climáticos. Estas variedades, conocidas como maíces nativos, constituyen un patrimonio biocultural y genético de gran valor para la seguridad alimentaria, la adaptación al cambio climático y el mejoramiento genético del cultivo (Álvarez *et al.*, 2022., CIAD, 2023).

Los maíces nativos son genotipos de *Zea mays* que han sido conservadas y reproducidas mediante la selección empírica de semillas realizada por los agricultores ciclo tras ciclo, en contraste con las variedades mejoradas, como líneas puras, híbridos y variedades de polinización libre desarrolladas mediante programas formales de mejoramiento (Álvarez *et al.*, 2022). La selección tradicional de semillas ha permitido la conservación de una elevada variabilidad genética, lo que confiere a los maíces nativos una alta capacidad de adaptación a condiciones ambientales variables, incluyendo sequía, suelos marginales y altitudes extremas.

La diversidad de los maíces nativos de México es el resultado de tres factores principales: el proceso inicial de domesticación, la continua selección bajo sistemas agrícolas tradicionales y la amplia diversidad cultural de más de 80 pueblos originarios que han manejado y utilizado el cultivo a lo largo del tiempo (SADER, 2023). Asimismo, la diversificación del maíz se ha visto influida por el flujo génico entre poblaciones cultivadas y parientes silvestres del género *Zea*, como *Z. mexicana*, *Z. luxurians*, *Z. nicaraguensis* y *Z. huehuetenangensis*, lo que ha contribuido a la generación de una amplia gama de formas adaptadas a condiciones locales específicas (Garcilazo, 2024).

Como resultado de estos procesos evolutivos y culturales, se originaron las razas de maíz, que representan conjuntos de poblaciones con características morfológicas, genéticas, ecológicas e históricas comunes. En América Latina se han descrito aproximadamente 220 razas de maíz, de las cuales 64 se han identificado en México, y al menos 59 de ellas pueden

considerarse nativas del país (Anderson, 1946; Wellhausen *et al.*, 1951; Hernández y Alanís, 1970; Goodman y Bird, 1977; Sánchez *et al.*, 2000). Estas razas se agrupan a su vez en complejos raciales asociados a regiones geográficas, condiciones climáticas y trayectorias evolutivas específicas (Anderson y Cutler, 1942; Harlan y de Wet, 1971; Ruíz *et al.*, 2008).

Desde una perspectiva agroindustrial, los maíces nativos representan una fuente estratégica de genes asociados a calidad nutricional, tolerancia a estrés abiótico y adaptación a sistemas de producción de bajos insumos, lo que los convierte en un recurso clave para el desarrollo de sistemas agrícolas resilientes y sostenibles frente al cambio climático (Álvarez *et al.*, 2022; CIAD, 2023).

De acuerdo con la clasificación propuesta por (Kato *et al.*, 2009), los maíces nativos de México se agrupan en siete grandes complejos o grupos raciales, definidos con base en características morfológicas, genéticas, geográficas y de uso tradicional (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de maíces nativos, grupo racial, razas de maíz nativo, principales características morfológicas (en planta, mazorca y grano) y usos

<b>Grupos raciales</b>	<b>Razas de maíz</b>	<b>Características morfológicas</b>	<b>Usos principales</b>
<b>1. Cónico</b>	Arrocillo, Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico, Cónico Norteño, Dulce, Elotes Cónicos, Mixteco, Mushito, Mushito de Michuacán, Negrito, Palomero Toluqueño, Uruapeño, Palomero de Chihuahua y Palomero de Jalisco.	Mazorcas cónicas, 14–20 hileras, granos 4–8 mm, textura variable (harinosa a palomera), raíces débiles, hojas pubescentes con antocianina	Tortilla, tamales, pozole, palomitas, antojitos, hoja para tamal y forraje
<b>2. Sierra de Chihuahua</b>	Apachito, Azul, Cristalino de Chihuahua, Complejo Serrano de Jalisco, Gordo, Mountain Yellow	Plantas pequeñas (140–200 cm), floración temprana, mazorcas delgadas y alargadas, granos redondeados y duros	Consumo local, forraje
<b>3. Ocho Hileras</b>	Harinoso de Ocho, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Bofo, Elotes Occidentales, Jala, Zamorano Amarillo, Ancho, Bolita, Blando,	Mazorcas con 8–12 hileras, granos grandes (10–12 mm), plantas de 200–250 cm, mazorcas largas	Elotes, tlayudas, pozole, tejate, galletas, forraje

	Onaveño, Tablilla de Ocho		
<b>4. Chapalote</b>	Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Elotero de Sinaloa, Reventador	Mazorcas alargadas tipo puro, granos cristalinos, harinosos o dulces	Palomitas, pinole, elotes, ponteduro
<b>5. Tropicales Precoces</b>	Conejo, Nal-Tel, Ratón, Zapalote Chico	Plantas cortas, resistentes al viento, floración temprana, maduración corta, mazorcas pequeñas	Totopos, atole nuevo, elote temprano, forraje
<b>6. Dentados Tropicales</b>	Celaya, Tepecintle, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Vandeño, Zapalote Grande, Pepitilla, Nal-Tel de Altura, Chiquito, Choapaneco, Cubano Amarillo	Plantas altas (250–320 cm), floración tardía (85–105 días), 12–16 hileras de granos dentados, endospermo suave a medio duro	Base de híbridos y programas de mejoramiento genético, tortillas, forraje
<b>7. Maduración Tardía</b>	Dzit Bacal, Comiteco, Coscomatepec, Motozinteco, Olotillo, Olotón, Tehua, Mixeño, Serrano Mixe, Negro de Chimaltenango, Quicheño	Plantas muy altas (320–380 cm), muy tardías (95–115 días), mazorcas largas (18–22 cm), 12–14 hileras, endospermo suave a medio duro	Consumo local, forraje; algunos con fijación natural de nitrógeno (Olotón)
<b>Total</b>	59 razas nativas		

(Kato *et al.*, 2009; CONABIO, 2014).

## **Maíz nativo en el estado de Hidalgo**

En Hidalgo se cosechan alrededor de 210 mil hectáreas de maíz bajo condiciones de temporal, el 95% corresponde a maíces criollos (SIAP,2023). Se han identificados nichos ecológicos que han sido aptos para el desarrollo de razas específicas, sin embargo, las condiciones de temporal se han limitado en los ciclos recientes (CONABIO,2020). Gracias a la importancia sociocultural, económica y de preferencia por los agricultores en regiones marginales, se siguen sembrando el maíz bajo condiciones de subsistencia, haciendo posible la conservación de las semillas (INIFAP,2021). Se cuenta con bancos de germoplasma que constituyen la reserva de la diversidad genética de los materiales nativos de maíz.

En el estado se tienen registradas colectas de materiales nativos que datan de 1943 a 1975, donde los materiales se caracterizaron y agruparon en las razas siguientes: Chalqueño, Elotes Cónicos, Cónico Norteño, Celaya, Tuxpeño, Cónico, Arrocillo, Mushito, Olotillo, Bolita, Cacahuacintle, Tuxpeño Norteño, Palomero Toluqueño y Pepitilla (INIFAP,2010). Se agrupan en 16 razas que aún prevalecen en las regiones que comprenden el Altiplano Hidalguense y el Valle del Mezquital (Fig.2). Las razas de mayor distribución son; Cónico (32%), Chalqueño (20%) y Elotes Cónicos (18%), éstas agruparon el 70% de las razas. El 30% restante correspondió a las razas: Celaya, Tuxpeño, Bolita, Arrocillo, Ratón, Olotillo, Tabloncillo, Cacahuacintle, Pepitilla y Palomero. En Hidalgo se determinan 39 razas de maíces nativos, de las cuales nueve son primarias: Elotes Cónicos, Cónico, Olotillo, Tuxpeño, Mushito, Negrito, Cacahuacintle, Bolita y Chalqueño, y 30 razas son razas compuestas, predominando la raza Cónico.

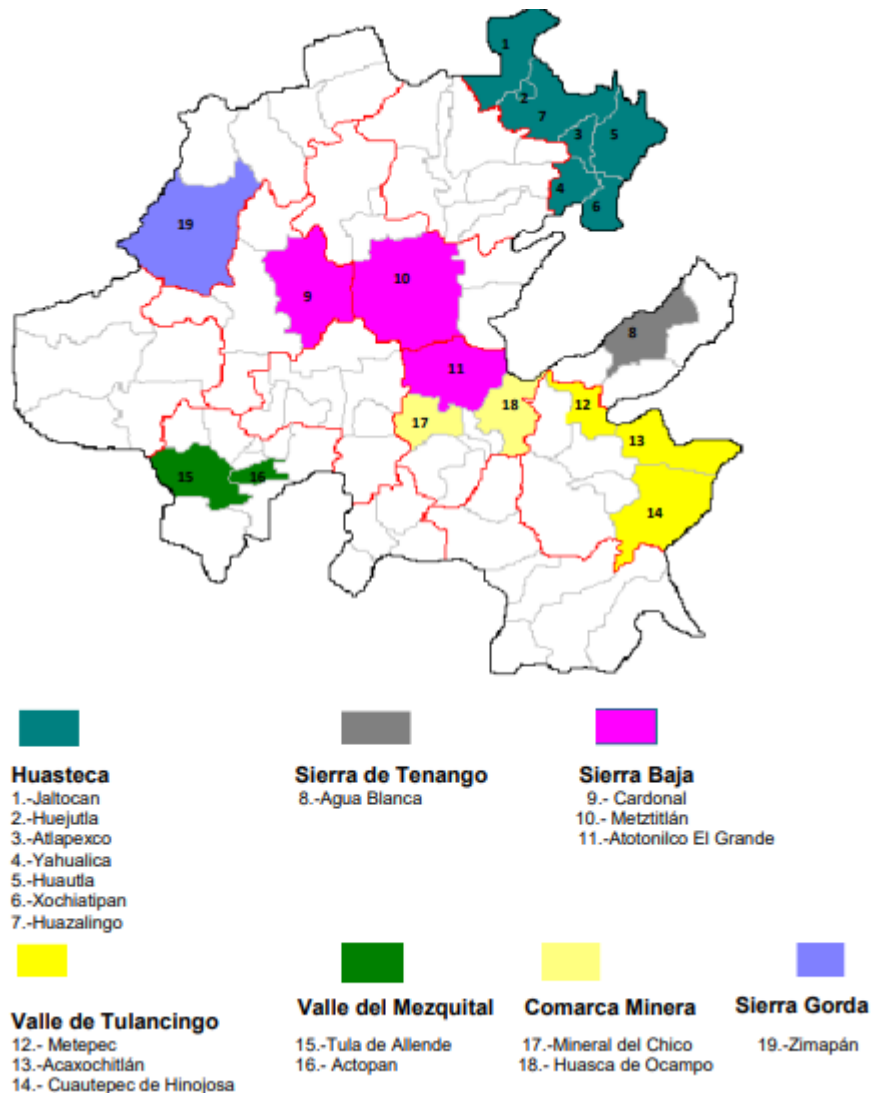


Figura 2 . Regiones del estado de Hidalgo con identificación de maíz nativo (González, 2015).

En el estado se han identificado 39 razas de maíces nativos, lo que evidencia la amplia diversidad genética presente en la región. De estas, nueve corresponden a razas primarias, entre las que destacan Elotes Cónicos, Cónico, Olotillo, Tuxpeño, Mushito, Negrito, Cacahuacintle, Bolita y Chalqueño. Los 30 restantes se clasifican como razas compuestas, resultado de procesos de hibridación natural y selección campesina a lo largo del tiempo, siendo la raza Cónico la que presenta mayor predominancia en el estado (CONABIO, 2009; INIFAP, 2010).

# Importancia del cultivo de Maíz

## Importancia sociocultural

El maíz constituye uno de los principales ejes de la identidad cultural, alimentaria y simbólica de México. Su siembra, uso y consumo están profundamente integrados en los rituales, festividades y economías familiares, especialmente en las comunidades rurales e indígenas (CONABIO, 2010). Este vínculo histórico ha dado lugar a un patrimonio biocultural construido a partir de la interacción entre la diversidad genética del maíz y los sistemas de conocimiento tradicional, lo que ha permitido la conservación de más de 60 razas nativas en el país (Kato *et al.*, 2009).

Este patrimonio se mantiene principalmente a través de sistemas agrícolas tradicionales como la milpa, un agroecosistema policultural que integra maíz, frijol, calabaza y otras especies, y que ha demostrado una alta resiliencia ecológica y cultural (Altieri y Toledo, 2011). La conservación *in situ* de semillas por parte de familias campesinas garantiza la continuidad de variedades adaptadas a condiciones ambientales específicas, lo que fortalece la seguridad alimentaria y la autonomía local (Bellon *et al.*, 2018).

Desde la época prehispánica, el maíz se considera una planta sagrada, asociada al origen de la humanidad y al orden del universo en diversas cosmovisiones mesoamericanas (Barros, 2019). Evidencias arqueológicas y documentales, como los códices Florentino y Mendocino, confirman su papel central en la dieta desde el periodo Preclásico Medio (Taube, 1989; López, 2007.). A lo largo del tiempo, el maíz se convirtió en el eje de la gastronomía mesoamericana, con productos como tortillas, tamales, atoles, pinole y pozole, cuya base tecnológica como la nixtamalización permitió mejorar su valor nutricional y digestibilidad (Ortega-Paczka, 2003; Paredes-López *et al.*, 2009).

A pesar de los cambios en los patrones alimentarios contemporáneos, caracterizados por el aumento en el consumo de productos industrializados, el maíz continúa siendo un elemento fundamental de la dieta y la identidad cultural mexicana, lo que resalta la importancia de su conservación tanto desde una perspectiva cultural como nutricional (Gálvez-Mariscal y Bourges-Rodríguez, 2012).

## Importancia económica

El maíz es uno de los cereales más importantes del mundo y ocupa el primer lugar en volumen de producción global, superando al trigo y al arroz (FAO, 2023) (Tabla 2). Su relevancia económica radica en su gran número de usos, que incluye alimentación humana, forraje, insumos industriales, biocombustibles y materiales biodegradables (Linares, 2021).

Tabla 2. Escala de superficie, producción y rendimiento del cultivo de maíz

Escala	Superficie (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Mundial	239,614,584 millones	1,228.1 millones	5.9
Nacional	39,444 millones	27,549,918 millones	9.5
Estatad (Hidalgo)	228,786	680,835	2.9

(FAOSTAT, 2023; SIAP, 2024).

En México, el maíz constituye la base energética de la dieta, aportando principalmente carbohidratos, proteínas y fibra, siendo la tortilla el principal vehículo de consumo, con un promedio per cápita de aproximadamente 85 kg por año (Ramos, 2018; SADER, 2023). La demanda nacional supera los 40 millones de toneladas anuales, lo que ha generado una fuerte dependencia de importaciones, particularmente de maíz amarillo destinado a la alimentación animal (SADER, 2024; INIFAP, 2024).

En el medio rural, los maíces nativos siguen siendo el sustento de millones de familias, ya que permiten la elaboración de una gran diversidad de alimentos tradicionales y aseguran la producción en ambientes de alta variabilidad climática. Además, representan una alternativa productiva estratégica frente a la dependencia de semillas comerciales y sistemas de alta inversión (Fernández, 2018).

## Importancia agroindustrial

El maíz es uno de los cultivos más versátiles de la agroindustria moderna, ya que constituye la materia prima para miles de productos alimenticios, químicos, farmacéuticos y energéticos. A partir de su grano se obtienen almidón, edulcorantes, aceites, proteínas, etanol y una amplia variedad de insumos industriales (Watson, 1988; Dowswell *et al.*, 1996).

Los dos principales procesos industriales para su transformación son la molienda seca y la molienda húmeda (Fig.3). La molienda seca permite la obtención de harinas, sémolas, hojuelas, copos y materias primas para la industria cervecera y de alimentos balanceados, además de subproductos como el germen para la extracción de aceite. Por su parte, la molienda húmeda se emplea para la separación del almidón, el germen, las proteínas y la fibra, lo que permite la producción de jarabes, dextrosa, fructosa, aceite de maíz y etanol (Watson, 1988; Dowswell *et al.*, 1996).

El almidón de maíz es uno de los derivados más importantes, con aplicaciones en las industrias alimentaria, papelera, textil, farmacéutica y de bioplásticos. Asimismo, los azúcares fermentables obtenidos del grano son la base para la producción de bioetanol y otros biocombustibles. En años recientes, el uso de biotecnología ha permitido mejorar la eficiencia de estos procesos mediante microorganismos capaces de convertir componentes estructurales del grano y residuos agrícolas en energía renovable (Elander y Russo, 1993).

Desde una perspectiva agroindustrial, el maíz representa un recurso estratégico por su elevada productividad, su capacidad de transformación y su contribución al desarrollo de cadenas de valor que integran agricultura, industria y energía.

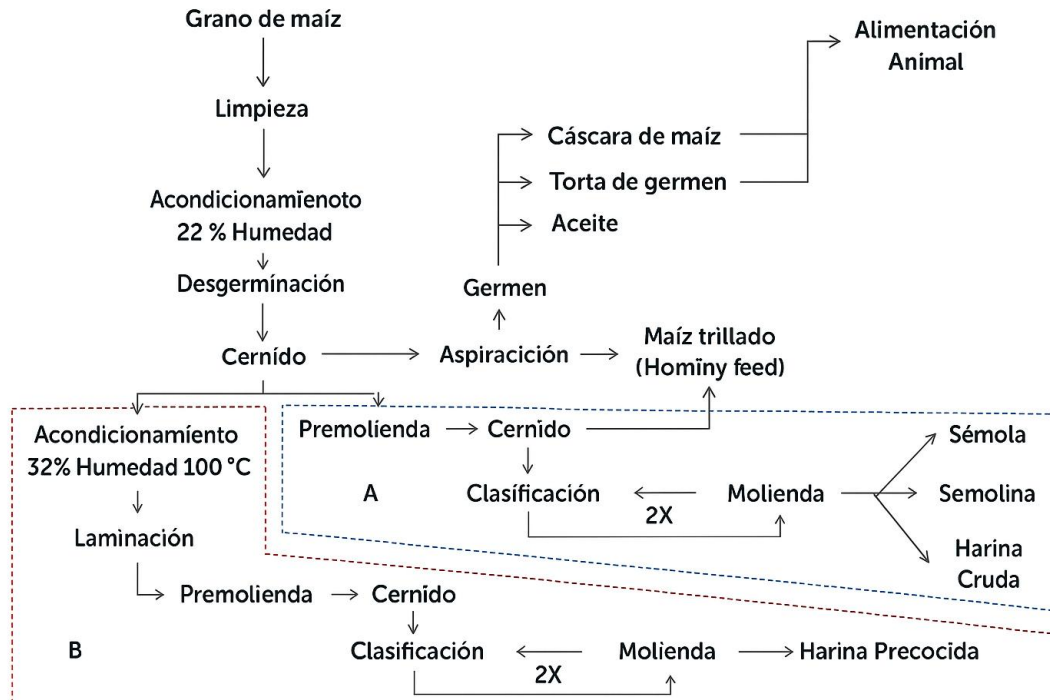


Figura 3 . Procesamiento de maíz, molienda seca, productos y subproductos (Rausch y Singh, 2014).

## Clasificación taxonómica

De acuerdo con la clasificación científica, el maíz se organiza de la siguiente manera: Reino Plantae, División Magnoliophyta, Clase Liliopsida, Orden Poales, Familia Poaceae, Género *Zea*, Especie *Zea mays* L. El género *Zea* incluye varias especies, pero *Z. mays* es la única domesticada, y comprende múltiples razas nativas distribuidas principalmente en Mesoamérica (Hernández-Xolocotzi *et al.*, 1995; INIFAP, 2020). Su domesticación se remonta a más de 9,000 años en el sur de México, a partir de su pariente silvestre, el *teocintle* (*Zea spp.*), proceso que dio origen a la gran diversidad genética y morfológica que caracteriza al maíz moderno (Matsuoka *et al.*, 2002; CONABIO, 2012). Esta clasificación taxonómica no solo permite ubicar al maíz dentro del reino vegetal, sino que también es clave para entender su evolución, biodiversidad y manejo agronómico (Fig.4).

*La clasificación taxonómica del Maíz según la USDA, 2025*

Dominio: Eukarya

Reino: Plantae

Filo: Traqueofitas

Clase: Magnoliopsida

Orden: Poales

Familia: Poáceas

Género: *Zea*

Especie: *mays*

Nombre científico: *Zea mays* L.



Figura 1. *Zea mays* L. (Blanco, 2016).

## Estructura del grano

El grano de maíz (*Zea mays L.*) se encuentra formado por tres estructuras principales: pericarpio, endospermo y embrión (Bello-Pérez *et al.*, 2019). Cada uno de estos componentes presenta características morfológicas y bioquímicas específicas que determinan las propiedades físicas, nutricionales y tecnológicas del grano (Fig.5).

El pericarpio constituye aproximadamente entre 5 y 6 % del peso total del grano y corresponde a la cubierta externa derivada del tejido materno. Esta estructura es rica en fibra dietética, compuestos fenólicos y polisacáridos estructurales, los cuales cumplen funciones de protección mecánica y defensa frente a factores ambientales y patógenos (Shull, 2020).

El embrión representa entre 10 y 12 % del grano y constituye la fracción fisiológicamente activa. Se caracteriza por su elevado contenido de lípidos, proteínas, vitaminas del complejo B y minerales esenciales, por lo que es considerado la fracción con mayor valor nutricional (Maldonado, 2021).

El endospermo corresponde a la porción mayoritaria del grano, ocupando entre 82 y 85 % de su peso total. Está compuesto principalmente por almidón y proteínas de reserva, y su función principal es proporcionar energía durante la germinación. De acuerdo con su organización estructural, el endospermo se clasifica en endospermo cristalino o vítreo, caracterizado por una matriz densa y compacta, y endospermo harinoso, de estructura porosa y menos organizada (Holding, 2014). Estas diferencias se originan por la disposición del almidón y de las proteínas de reserva, principalmente las zeínas, dentro de los amiloplastos.

El almidón del maíz se constituye por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. Estas macromoléculas se organizan en gránulos semicristalinos con una estructura en anillos concéntricos. La amilopectina se distribuye principalmente en las regiones externas del gránulo, mientras que la amilosa se localiza tanto en el centro como en las zonas interlamelares, ocupando los espacios disponibles tras la síntesis de la amilopectina (Tetlow *et al.*, 2004).

La biosíntesis del almidón es un proceso altamente regulado que involucra la acción coordinada de múltiples enzimas. Las enzimas almidón sintasas solubles (SSS) catalizan la

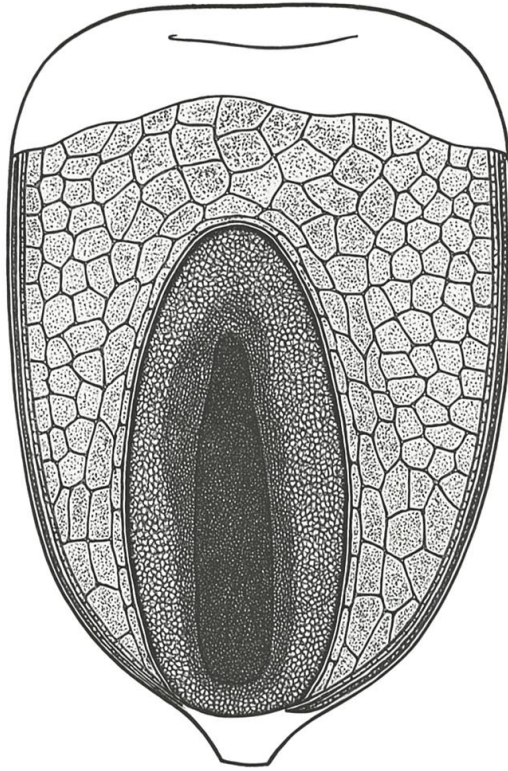
elongación de cadenas de glucosa mediante enlaces  $\alpha$ -1,4, mientras que las enzimas ramificantes del almidón (SBE) introducen enlaces  $\alpha$ -1,6 responsables de la estructura ramificada de la amilopectina (Agama-Acevedo *et al.*, 2013). Posteriormente, la enzima almidón sintasa unida al gránulo (GBSS) participa en la síntesis de la amilosa, formada por cadenas esencialmente lineales de glucosa (Baldwin, 2001).

Estas enzimas presentan distintas isoformas (GBSS I y II; SSS I–IV; SBE I y II en sus formas *a* y *b*), cuya expresión diferencial durante el desarrollo del grano determina la longitud de las cadenas, el grado de ramificación y la arquitectura final del almidón. En el maíz blanco se ha documentado la función específica de estas isoformas durante las etapas tempranas del llenado del grano y su relación directa con las propiedades estructurales del almidón maduro (Smith, 2001; Tetlow *et al.*, 2004; Grimaud *et al.*, 2008).

Desde el punto de vista estructural, el almidón del maíz presenta un comportamiento semicristalino, derivado de la organización jerárquica de la amilopectina y la amilosa. Las cadenas laterales de la amilopectina forman regiones altamente ordenadas conocidas como lamelas cristalinas, estabilizadas por puentes de hidrógeno, mientras que las zonas dominadas por amilosa constituyen regiones amorfas (Zobel, 1988; Pérez y Bertoft, 2010).

La proporción entre amilosa y amilopectina influye directamente en el grado de cristalinidad y en las propiedades térmicas y funcionales del almidón. Almidones con alto contenido de amilopectina, como los del maíz ceroso, presentan mayor orden estructural y estabilidad térmica, mientras que aquellos con mayor proporción de amilosa muestran menor cristalinidad y mayor tendencia a la retrogradación (Hoover, 2001). Asimismo, factores como la fuente botánica, el contenido de humedad y los tratamientos térmicos pueden modificar la organización molecular del almidón y, en consecuencia, sus propiedades fisicoquímicas (Jane *et al.*, 1997).

Finalmente, la proporción relativa de endospermo cristalino y harinoso determina la textura del grano, una característica clave para su comportamiento durante el procesamiento y su aptitud agroindustrial. Genes asociados con la síntesis y deposición de zeínas, así como con la biogénesis del retículo endoplásmico, desempeñan un papel determinante en esta diferenciación estructural (Woo *et al.*, 2001).



*Figura 5 . Estructura del grano de maíz (Pomeranz, 1987).*

## **Propiedades funcionales del almidón de maíz**

El almidón de maíz es el componente predominante del endospermo y constituye la base de las propiedades funcionales que determinan su comportamiento en aplicaciones alimentarias e industriales. Estas propiedades funcionales están estrechamente ligadas a su composición molecular (proporción de amilosa y amilopectina), su organización cristalina y amorfa, y las interacciones del almidón con el agua durante procesos como la gelatinización y la retrogradación. La forma en que los granos de almidón absorben agua, se hinchan y forman geles tiene implicaciones directas en texturas, estabilidad térmica y digestibilidad de productos derivados del maíz.

Uno de los atributos funcionales más importantes es la capacidad de hinchamiento y la gelatinización. Al calentarse en presencia de agua, los granos de almidón absorben agua y pierden su estructura cristalina, incrementando la viscosidad y formando una matriz de gel que define la consistencia de muchos productos alimentarios. Estudios recientes han demostrado que durante este proceso estructural se forman redes de gel caracterizadas por cambios profundos en la morfología granular y una reorganización de las cadenas de amilosa y amilopectina, lo cual también influye en la estabilidad del gel durante el enfriamiento (retrogradación)

Las propiedades de gelatinización y retrogradación son determinantes tanto para el rendimiento durante procesos térmicos como para la calidad final de los productos. La gelatinización depende de la proporción de amilosa; almidones con mayor contenido de amilosa suelen requerir mayores temperaturas y presentan estructuras de gel menos viscosas, pero más firmes, mientras que los almidones cerosos (con elevada amilopectina) generan geles más viscosos y estables. Adicionalmente, la retrogradación —el reordenamiento de moléculas de almidón tras el enfriamiento— afecta la textura, shelf-life y sinéresis de los productos, siendo modulada tanto por la estructura molecular inherente como por tratamientos físicos o aditivos.

Además, las interacciones entre el almidón y otras moléculas como proteínas, lípidos o polisacáridos (p. ej., pectina en formulaciones alimentarias) pueden modificar sustancialmente las propiedades funcionales del almidón de maíz.

## **Propiedades fisicoquímicas del grano**

### **Humedad**

La humedad del grano se define como el contenido de agua presente en el maíz, expresado como porcentaje del peso total, y constituye uno de los parámetros fisicoquímicos más importantes para su calidad, conservación y aprovechamiento industrial (FAO, 2019). Este factor influye directamente en la estabilidad microbiológica del grano, ya que contenidos superiores al 14 % favorecen el desarrollo de hongos y la posible producción de micotoxinas, especialmente bajo condiciones de alta temperatura y humedad relativa (Bhat *et al.*, 2010).

En términos físicos, la humedad modifica propiedades como la dureza, densidad y resistencia mecánica del grano. A mayores contenidos de agua, el endospermo presenta un comportamiento más plástico y menos quebradizo, mientras que humedades bajas incrementan la fragilidad, afectando el manejo poscosecha y los procesos de molienda (Pomeranz y Czuchajowska, 1987).

En la industria agroalimentaria, el contenido de humedad condiciona el desempeño del grano durante procesos como la nixtamalización, molienda seca, molienda húmeda y extrusión, al influir directamente en la absorción de agua y la gelatinización del almidón (Rooney y Serna-Saldivar, 2010). Por esta razón, para un almacenamiento seguro se recomienda mantener el maíz entre 12 y 13% de humedad, lo que reduce el deterioro biológico y las pérdidas económicas (FAO, 2019).

De acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-119-SCFI-2015, la humedad corresponde a la fracción de masa de agua presente en una muestra de grano, expresada como porcentaje. Cuando se calcula con base en el peso del material seco se denomina humedad en base seca, y cuando se expresa respecto al peso original del grano se conoce como humedad en base húmeda. Para fines de comercialización, el contenido máximo permitido en el grano de maíz

es de 14 %, valor que puede determinarse en campo mediante equipos portátiles debidamente calibrados.

## **Higroscopicidad**

La higroscopicidad del grano de maíz se refiere a su capacidad para absorber o liberar humedad del ambiente hasta alcanzar el equilibrio higroscópico. Este fenómeno depende principalmente de la estructura del pericarpio, la composición del endospermo y la naturaleza del almidón presente (Brooker *et al.*, 1992).

Durante el almacenamiento, humedades relativas elevadas favorecen la absorción de agua por el grano, lo que incrementa su actividad metabólica, la respiración y el riesgo de deterioro microbiológico (FAO, 2019). La relación entre la humedad del grano y la humedad relativa del aire se describe mediante curvas de absorción, las cuales indican que el maíz presenta alta afinidad por el agua cuando la humedad relativa supera el 70 %, aumentando su susceptibilidad al daño físico y biológico (Labuza y Altunakar, 2007).

Desde el punto de vista industrial, la higroscopicidad influye en la velocidad de acondicionamiento del grano, su comportamiento durante la molienda y la respuesta del almidón en procesos térmicos como la nixtamalización, donde la absorción de agua es determinante para la calidad del producto final (Rooney y Serna-Saldivar, 2010). Por ello, el conocimiento de este parámetro es fundamental para el diseño adecuado de estrategias de secado, almacenamiento y procesamiento.

## **Dureza del grano**

La dureza es una de las principales propiedades físicas del grano de maíz, ya que determina su resistencia a la deformación y fractura cuando se somete a esfuerzos mecánicos durante la cosecha, postcosecha y procesamiento industrial. Esta característica está influenciada por factores genéticos, condiciones ambientales de cultivo y manejo poscosecha (Fox y Manley, 2009; Aragón-Cuevas *et al.*, 2012).

Desde el punto de vista estructural, la dureza del grano depende del arreglo microestructural del endospermo, particularmente de la interacción entre los gránulos de almidón y la matriz proteica de zeínas, así como del grosor del pericarpio. No obstante, el principal factor asociado a la dureza es la organización interna del almidón dentro del endospermo (Gaytán-Martínez *et al.*, 2006; Narváez-González *et al.*, 2006).

En México, el maíz se procesa principalmente mediante nixtamalización en dos sectores industriales: la industria de la masa y la tortilla (IMT) y la industria de harinas nixtamalizadas (IHN). Los requerimientos de calidad del grano difieren entre ambas, especialmente en lo relativo a la dureza del endospermo (Salinas, 2002). La Norma Mexicana NMX-FF-034/1-2002 establece los parámetros de calidad para maíz destinado a la IHN; sin embargo, la IMT suele requerir granos de menor dureza debido al mayor contenido de humedad de sus productos.

En los maíces tipo dentado, comúnmente utilizados en nixtamalización, el endospermo se compone de una fracción harinosa y otra vítrea o cristalina. La proporción entre ambas determina la dureza del grano: a mayor contenido de endospermo harinoso, el grano es más suave, mientras que una mayor fracción cristalina incrementa su dureza (Watson, 2003).

Los granos con endospermo suave presentan mayor capacidad de hidratación durante la nixtamalización, debido a que los gránulos de almidón están menos rodeados por cuerpos proteicos de zeína, facilitando la penetración del agua (Watson, 2003). Asimismo, la fracción harinosa contiene mayor proporción de amilopectina, la cual absorbe agua con mayor rapidez que la amilosa (Dombrink-Kurtzman y Knutson, 1997; Ansari *et al.*, 2010).

El rendimiento de masa y tortilla depende principalmente de la capacidad del grano para absorber y retener agua durante el proceso, así como de la relación amilosa/amilopectina del almidón (Guo *et al.*, 2003). Además, la cantidad de pericarpio retenido después del lavado del nixtamal influye positivamente en la retención de humedad, mientras que la pérdida de sólidos solubles en el nejayote puede reducir el rendimiento final (Martínez-Bustos *et al.*, 2001).

Aunque existen numerosos estudios sobre el efecto del tipo de maíz y el proceso de nixtamalización en la textura de la tortilla (Sahai *et al.*, 2001; Rangel-Meza *et al.*, 2004), son

limitadas las investigaciones que analizan su impacto directo sobre el rendimiento de masa y tortilla, a pesar de que una proporción significativa del consumo nacional proviene de este sistema productivo (Salinas y Arellano, 1989; Flores-Farías *et al.*, 2000).

## **Métodos para determinar dureza**

La dureza del grano de maíz constituye un parámetro fundamental para evaluar su calidad física, tecnológica e industrial, ya que influye directamente en el comportamiento del grano durante los procesos de nixtamalización, molienda y transformación agroindustrial. En función de su principio de medición, los métodos empleados para su determinación se clasifican en métodos físicos, químicos y de procesamiento de imágenes.

Los métodos físicos se basan en la medición de propiedades mecánicas o estructurales del grano; los métodos químicos relacionan la dureza con la composición bioquímica del endospermo; mientras que los métodos de procesamiento de imágenes permiten evaluar la dureza mediante el análisis digital de la estructura interna del grano.

La selección del método depende del objetivo del análisis, la infraestructura disponible y el tipo de industria a la que se destina el maíz. Por ejemplo, la industria de la tortilla requiere granos de endospermo suave, mientras que la industria de botanas y molienda seca demanda granos de mayor dureza. En este sentido, los granos suaves requieren menor tiempo de cocción durante la nixtamalización, en contraste con los granos duros, los cuales necesitan tiempos más prolongados para alcanzar condiciones óptimas de procesamiento (López, 2004).

Sin embargo, en la mayoría de los molinos y plantas de harinas nixtamalizadas, la dureza del grano no se considera de forma sistemática como criterio para definir los tiempos de cocción, debido a la ausencia de métodos estandarizados de evaluación, lo que conduce a procesos empíricos y a variaciones en la calidad del producto final (Salinas *et al.*, 2010).

### **Métodos físicos**

- **Peso de mil granos (PMG)**

PMG es un parámetro físico que depende del tamaño y densidad del grano, y se utiliza como indicador indirecto de la calidad del endospermo y del rendimiento potencial de harina. Este método consiste en pesar una muestra representativa de mil granos y expresar su masa en gramos, lo cual permite estimar la plenitud del grano y su comportamiento durante la molienda.

Aunque este parámetro no mide directamente la dureza, se ha utilizado como referencia en la evaluación de la calidad física de cereales, ya que granos más densos suelen asociarse con endospermos más compactos. Su principal ventaja es que no requiere el uso de reactivos químicos y puede ser determinado bajo normas internacionales, como la ISO 7971-1.

- **Peso hectolítrico (PH)**

El peso hectolítrico, también denominado densidad aparente, corresponde al peso de un volumen definido de grano y se expresa en  $\text{kg} \cdot \text{hL}^{-1}$ . Este parámetro es ampliamente utilizado en la comercialización de granos como indicador general de calidad (Pomeranz et al., 1984; Robutti et al., 1994).

El valor del peso hectolítrico depende del tamaño, forma, compactación y características superficiales del grano. Condiciones ambientales adversas durante el desarrollo del cultivo, como bajas temperaturas o precipitaciones elevadas, pueden disminuir este parámetro (Yang *et al.*, 2000). No obstante, diversos estudios señalan que las diferencias en peso hectolítrico no siempre se reflejan directamente en el rendimiento de molienda, por lo que su utilidad como indicador de dureza es limitada.

- **Resistencia al quebrado**

La resistencia mecánica del grano puede evaluarse mediante métodos como el TADD (Tangential Abrasion Dehulling Device), el método Stenvert y el índice de tamaño de partícula (PSI), los cuales se basan en el comportamiento del grano durante la molienda.

Adicionalmente, la prueba de punción o compresión mide la fuerza necesaria para fracturar el grano, utilizando un texturómetro equipado con una sonda que penetra el endospermo en

la zona opuesta al germen. Esta prueba se correlaciona positivamente con el contenido de endospermo vítreo, caracterizado por gránulos de almidón altamente compactados y rodeados por una matriz proteica densa (Gaytán-Martínez *et al.*, 2006; Aragón-Cuevas *et al.*, 2012).

- **Índice de flotación**

El índice de flotación es uno de los métodos más utilizados para la determinación de la dureza del grano de maíz. Se fundamenta en la relación inversa entre la densidad del grano y su capacidad de flotar en soluciones de densidad conocida. Los granos duros, con mayor proporción de endospermo vítreo, presentan mayor densidad y, por tanto, menor porcentaje de flotación.

Este método utiliza comúnmente soluciones de nitrato de sodio con densidad aproximada de  $1.25 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$  y se encuentra normado en la NMX-FF-034/2-SCFI-2003. Valores bajos de índice de flotación se asocian con granos de alta dureza (Gaytán-Martínez *et al.*, 2013; Santiago-Ramos *et al.*, 2017).

- **Disección del grano**

La disección manual del grano permite cuantificar la proporción de endospermo vítreo y harinoso. Para ello, los granos se hidratan térmica y posteriormente se separan el pedicelo, pericarpio, germen y endospermo.

La dureza se determina a partir de la relación endospermo vítreo/endospermo harinoso, donde una mayor proporción de tejido vítreo indica mayor dureza del grano (Williams & Kucheryavskiy, 2016).

- **Viscosidad del almidón**

El perfil de viscosidad del almidón se determina mediante el Rapid Visco Analyser (RVA), el cual evalúa el comportamiento del almidón durante la hidratación y gelatinización. Este

método es sensible a las diferencias en la dureza del endospermo y requiere pequeñas cantidades de muestra.

Valores cercanos a 700 unidades RVA se asocian con granos suaves, mientras que valores alrededor de 400 unidades indican granos duros (Fox & Manley, 2009).

### **Métodos químicos**

Desde el punto de vista químico, la dureza del grano se relaciona principalmente con la composición del endospermo, particularmente con el contenido de almidón, proteínas y la relación amilosa/amilopectina.

Diversos estudios coinciden en que los granos duros presentan mayor proporción de amilosa y mayor contenido proteico, lo que favorece una estructura más compacta del endospermo vítreo (Blandino *et al.*, 2010; Santiago-Ramos *et al.*, 2017). Las proteínas del endospermo, denominadas zeínas, rodean los gránulos de almidón y contribuyen significativamente a la resistencia mecánica del grano.

Las zeínas se clasifican principalmente en  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , observándose mayores concentraciones de  $\alpha$ -zeína en el endospermo vítreo, lo cual se asocia directamente con un incremento en la dureza del grano (Fox & Manley, 2009; Gerde *et al.*, 2016).

### **Imagenología**

Los métodos de procesamiento digital de imágenes permiten evaluar la dureza del grano de maíz de forma no destructiva, mediante el análisis de la estructura interna del endospermo.

Estas técnicas se basan en la identificación y cuantificación de las áreas correspondientes al endospermo vítreo y harinoso, utilizando imágenes obtenidas por escáner, visión de máquina, tomografía computarizada de rayos X o imágenes hiperespectrales en el infrarrojo cercano (Williams *et al.*, 2009; McGoverin & Manley, 2012).

El análisis digital permite segmentar las regiones del grano en escala de grises y calcular el porcentaje de área cristalina, parámetro que se ha correlacionado positivamente con la dureza del grano (Ovalle *et al.*, 2002; Williams & Kucheryavskiy, 2016).

Estos métodos representan una alternativa eficiente frente a técnicas tradicionales, debido a su rapidez, objetividad y potencial de automatización, lo que los convierte en herramientas prometedoras para la caracterización física del maíz en el ámbito agroindustrial.

## **Materiales y Métodos**

### **Área de estudio (estado de Hidalgo):**

Atotonilco el Grande se encuentra en la zona alta entre altitudes entre los 1700 a 2080 msnm. Su fisiografía corresponde a la Provincia del Eje Neovolcánico (que comprende: Sierra, Meseta, Llanura con lomeríos y cañón) y a la Subprovincia de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo (Plan de Desarrollo Municipal 2006-2009).

La Lagunilla está ubicada entre los municipios de Tulancingo de Bravo y Singuilucán en el estado de Hidalgo, se sitúa aproximadamente a 2,460 m s. n. m., dentro del Eje Neovolcánico Transversal, en una zona caracterizada por lomeríos y suelos de origen volcánico. Forma parte de una zona de preservación ecológica con una superficie cercana a 28 ha, donde se mantienen condiciones ambientales relevantes para la conservación de bosques templados.

El Valle del Mezquital, ubicado en la porción centro-occidental del estado de Hidalgo, constituye una de las regiones geográficas y culturales más distintivas del país. Se extiende entre los municipios de Ixmiquilpan, Actopan, Mixquiahuala, Santiago de Anaya, Tasquillo y Alfajayucan, dentro de una cuenca semiárida influenciada por la Sierra Madre Oriental. Se localiza principalmente entre 1,600 y 2,000 m s. n. m., en un relieve dominado por valles amplios, lomeríos suaves y sierras bajas de origen sedimentario y volcánico. Su clima es seco y semiseco, con temperaturas que oscilan entre 16 y 22 °C (SADER, 2018). Figura 6. Fotografías tomadas con los productores de Atotonilco el Grande.



*Figura 6 . Cultivo de maíz de Atotonilco el Grande.*

## Colecta de muestras

Se realizó el 09 de febrero de 2019 en el barrio de San Miguel y el ejido Tezahuapa. Los productores de maíz se ubicaron a través de un muestreo no probabilístico (de conveniencia) (Ort y Long, 2014): proparticipativo (Bellon, 2002), en la tabla. 3, se observa la información de los materiales analizados, el lugar de origen y sus coordenadas geográficas. Los granos se obtuvieron de mazorcas de recién almacenamiento y cosecha; se eligieron de 30-40 mazorcas y, en todos los casos, se solicitó al productor proporcionar sólo 30 de ellas que, bajo su percepción, consideró idóneas para siembra; del material obtenido se tomaron los siguientes datos: nombre del productor, nombre que le otorga al material y lugar; Por último, las mazorcas se colocaron en bolsas de papel estraza (30.5 x 40 cm). Posteriormente las muestras se trasladaron al laboratorio de microbiología del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP). En la figura 8 se muestra la obtención de la muestra primaria (mazorcas de maíz blanco).



Figura 7 . Muestra primaria de maíz Blanco.

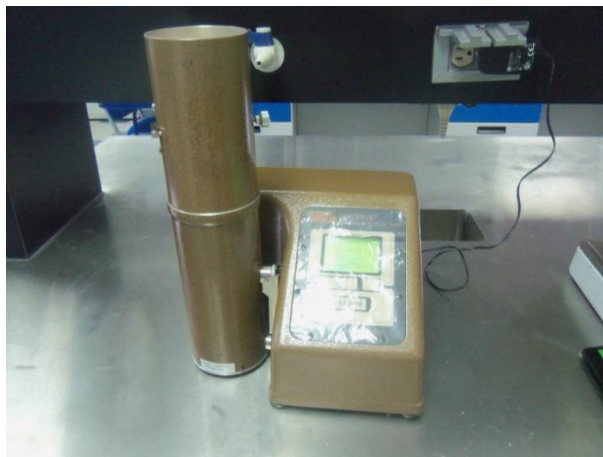
Tabla 3. Información geográfica de genotipos de maíz nativo e híbridos del estado de Hidalgo

Genotipo	Lugar de origen	Coordenadas geográficas
Amarillo	La lagunilla, Hidalgo	20°04'07"N 98°28'41"O
Blanco	La lagunilla, Hidalgo	20°04'07"N 98°28'41"O
Blanco Ancho	Atotonilco el grande, Hidalgo	20°17'06"N 98°40'13"O
Menudita Azul	Atotonilco el grande, Hidalgo	20°17'06"N 98°40'13"O
Negro	La lagunilla, Hidalgo	20°04'07"N 98°28'41"O
Negro Ancho	Atotonilco el grande, Hidalgo	20°17'06"N 98°40'13"O
Pioneer	Valle del mezquital, Hidalgo	20°27'10"N 99°14'57"O
Salamandra	Valle del mezquital, Hidalgo	20°27'10"N 99°14'57"O
Testigo	Estado de México, México	19°21'15"N 99°37'51"O
Villa	Atotonilco el grande, Hidalgo	20°17'06"N 98°40'13"O

## **Variables de estudio**

### **Determinación de humedad**

Se empleó un Determinador de humedad digital (modelo 1200D, Seedburo Equipment Co., Estados Unidos) (Figura 9). En el menú se seleccionó el producto maíz y en una balanza con precisión de 0.5 g se pesaron tres repeticiones por cada genotipo de 200 g c/u (el peso que el determinador de humedad requiere para analizar). Después se colocó en la celda de carga y se presionó el botón de prueba. La muestra cae automáticamente en la celda de prueba, que contiene un sensor de temperatura con precisión de 0.5 °C, y en cuestión de segundos el medidor suministra la lectura del porcentaje de humedad de la muestra (entre 5 y 40% según el producto). La humedad de determino como variable de control para cada método.



*Figura 8. Determinador de humedad: Seedburo modelo 1200D*

## Determinación de Peso de 1000 Granos (PMG)

Para la determinar de peso de mil semillas se tomaron al azar ocho repeticiones de 100 granos contabilizados manualmente por muestra. Después cada una de las muestras se pesaron en gramos con el mismo número de decimales de cada repetición (Fig.9). Finalmente se calculó la varianza y coeficiente de varianza (Excel, Microsoft versión 16.0) con las siguientes formulas:

$$\text{Varianza} = \frac{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}{n(n - 1)}$$

$X$  = Peso en gramos de cada repetición

$n$  = número de repeticiones

$\sum$  = suma de la desviación típica ( $S$ ) = varianza

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

En donde  $\bar{X}$  = media del peso de cien granos



Figura 9. Determinación de PMG en maíz Menudita Azul y Amarillo

Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa SAS® (Statistical Analysis System). Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, las medias se compararon mediante la prueba de rango estudentizado de Tukey (HSD) con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ .

## Determinación de Peso Hectolitrico (PH)

El peso hectolitrico de los granos se determinó con una Balanza volumétrica (modelo 64P, Seedburo Equipment Co., Estados Unidos), utilizando un cono o cucharón para colocar muestra, un recipiente graduado (1litro) y un soporte (Figura 10). El cono se colocó a una altura de 5 cm sobre la parte central del recipiente de 1 Litro, posteriormente, se vació 1 Kg de cada muestra por 20 repeticiones en el cono, luego; se dejó caer en el recipiente, los granos que sobrepasaron el borde del recipiente se eliminaron mediante el paso de una regla de madera para que el llenado sea uniforme, de esa manera la muestra quedo al ras del recipiente de 1 litro. Una vez llenado, el recipiente previamente tarado se pesó y se procedió a tomar la lectura de su peso volumétrico que se reporta en kilogramos por hectolitro. Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa SAS® (Statistical Analysis System). Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, las medias se compararon mediante la prueba de rango estudentizado de Tukey (HSD) con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ .



Figura 10. Balanza volumétrica modelo 64P, Seedburo

## Determinación de resistencia al quebrado

Se utilizaron 15 granos por cada muestra de trabajo. Se realizó una prueba de punción en el lado opuesto al germen en la parte central del endospermo (Figura 11). La prueba se determinó haciendo el uso del Texturómetro (modelo TA-XT Plus, Stable Micro Systems, Reino Unido), controlado mediante el software Exponent®, versión 6.1. Se realizó la inserción de la sonda tipo cilindro de 2 mm, la velocidad del ensayo fue de 1 mm/s, con una fuerza de 50 Kg, la muestra se colocó sobre una base de cilindro hueco de 5.5 y 6.0 cm de diámetro interno y externo respectivamente, la muestra se fracturó y se registraron los valores máximos que representa la fuerza y trabajo (Figura 12).

La dureza se expresó como la fuerza de ruptura evaluada en Newtons (N) y la energía de rotura evaluado en Joules (J). La dureza corresponde a la resistencia de quebrado de los granos a la penetración de la sonda, mientras que el trabajo mide el área debajo de la curva de deformación fuerza-tiempo. Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa SAS® (Statistical Analysis System). Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, las medias se compararon mediante la prueba de rango estudentizado de Tukey (HSD) con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ .

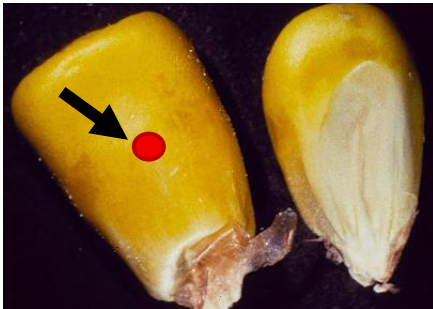


Figura 12. Punto de inserción de la sonda.

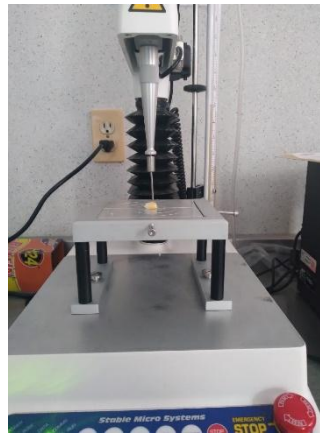


Figura 11. Prueba de resistencia al quebrado.

## Procesamiento de imágenes

Una vez que el contenido de humedad en los granos fuera de alrededor de 13 % se tomaron al azar 20 granos por genotipo, procurando que no presentaran físicamente daño por hongos o plagas y que no estuvieran vanos. La disección de los granos se realizó por abrasión; esto es, los granos fueron tallados con una lija de agua del número 150 por ambos lados del grano. Se lijó un número de 10 veces por cada cara lateral de cada grano, desplazando la lija y ejerciendo presión en el grano de modo que se eliminara la capa del pericarpio del grano. Los granos previamente lijados se colocaron sobre una base cuadrada de 15 x 15 cm junto con una regla al costado de los granos para hacer una escala en el programa de procesamiento de imágenes ImageJ V. 1.53. La base se iluminó con luz led blanca de 50 Watts, posteriormente, se tomó una fotografía por muestra con una cámara microscópica profesional de la marca Amszoom de 38 MP. Una vez tomadas las fotografías se editaron a una escala de grises para diferenciar la estructura del grano, en el programa de procesamiento de imágenes ImageJ Versión 1.53. Se determinó el área del endospermo cristalino y harinoso de cada grano (Figura 13). Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa SAS® (Statistical Analysis System). Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, las medias se compararon mediante la prueba de rango estudentizado de Tukey (HSD) con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ .



Figura 13, Prosesamiento de imagenes A) Lijado. B) Toma de fotografías. C) Procesamiento de imagen con el programa Image J Versión 1.53.

## Resultados y Discusión

### Peso específico de granos de maíz

Para la determinación de peso de mil granos se obtuvieron valores entre 51.01 a 28.09 g. Los maíces, Negro Ancho, Negro y Blanco Ancho obtuvieron mayor promedio PMG (51.01-43.37 g) (Tabla. 4). Los valores elevados de este parámetro están relacionados con un mayor rendimiento de los granos durante el procesamiento, por esta razón; los granos de maíz con un alto PMG se prefieren por los productores de harina nixtamalizada (Mauricio *et al.*, 2004).

Tabla 4. Diferenciación del PMG de 10 genotipos de maíz nativo del estado de Hidalgo

Número	Genotipo	PMG (g) ± DE
1	Negro ancho	51.01 ± 1.20 a
2	Negro	50.25 ± 1.15 ab
3	Blanco ancho	43.37 ± 0.98 b
4	Villa	37.02 ± 0.85c
5	Blanco	36.03 ± 0.90 c
6	Amarillo	35.62 ± 1.05 c
7	Hibrido Comercial 3	34.70 ± 0.88 cd
8	Hibrido Comercial 1	34.47 ± 0.92 cd
9	Menudito azul	30.30 ± 0.75 d
10	Hibrido Comercial 2	28.09 ± 0.80 e
<b>Media general</b>		<b>38.39</b>

Medias con la misma letra en las columnas dentro de cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey, ( $P \leq 0.05$ )). DE: desviación estándar (0.98), CV (%): coeficiente de variación (2.44%) PMG: peso de mil granos.

Maldonado (2021) reportó valores semejantes para los maíces de color (menudita azul, negro y Negro ancho) mencionó que los maíces que se analizaron a excepción del maíz negro mostraron un peso de cien granos adecuado para la elaboración de tortilla y botanas.

La amplitud de los valores obtenidos en este estudio coincide con lo reportado por Agama *et al.* (2011), quienes observaron PMG de 310.7 a 509.9 g en maíces de las razas Tabloncillo y Chalqueño, destacando que materiales de mayor tamaño son preferidos para el procesamiento de tortillas. En trigo y triticale, se han reportado variaciones considerables debidas tanto al genotipo como al ambiente: Fraś *et al.* (2016) y Kandrov *et al.* (2019) destacaron que el PMG es altamente sensible a deficiencia de nitrógeno, estrés hídrico y temperaturas extremas

durante el llenado. Asimismo, Peralta (2024) mostró que el PMG en trigo puede reducirse bajo condiciones térmicas y de sequía desfavorables, confirmando su sensibilidad ambiental. En el caso del maíz, estudios como el de Ordóñez (2012) demostró que la humedad del grano incrementa de manera lineal el PMG, lo que explica parte de la variabilidad entre materiales y ambientes. También se ha reportado que genotipos con mayor número de granos por mazorca tienden a tener menor masa individual debido a la competencia por fotoasimilados, relación negativa que también observaron Foulkes *et al.* (2011) y Feng *et al.* (2018). En este estudio, ningún material resultó simultáneamente valores muy altos de PMG y número de granos, lo cual coincide con estos antecedentes.

Por otro lado, múltiples trabajos han demostrado la influencia de enfermedades foliares como la roya amarilla sobre el PMG, ya que reducen el área fotosintética y la disponibilidad de carbohidratos para el llenado (Robert *et al.*, 2005; Vergara-Díaz *et al.*, 2015; Sharma *et al.*, 2016). Aunque en el presente estudio no se evaluó la incidencia de roya, las tendencias descritas en la literatura confirman que el PMG es un rasgo altamente dependiente del balance entre fuente y demanda de asimilados. En otras especies como soya, también se ha documentado una reducción significativa del PMG debido a enfermedades de fin de ciclo (Aktaş *et al.*, 2016).

En términos de genética, estudios recientes confirman que el PMG presenta heredabilidad alta y, por tanto, una capacidad importante de respuesta a la selección (Sadras y Slafer, 2012; Philipp *et al.*, 2018; Espitia, 2021). En trigo, marcadores KASP (Kompetitive Allele Specific) técnica de genotipificación molecular que se utiliza para identificar variaciones en el ADN que han sido asociados significativamente al PMG, explicando entre 4.6 y 5.9% de la variación fenotípica (García, 2022), lo cual subraya el componente genético del rasgo.

## Densidad aparente del grano de maíz

En la tabla 5, el análisis de varianza indicó que el genotipo Híbrido Comercial 2 es el material con mayor densidad (78.50g) y en maíces criollos el blanco ancho es el más duro (76.22 g). Los resultados de este análisis coinciden con los reportes de Maldonado (2021) donde indico valores más altos en maíz blanco (75.28 g), y el maíz negro (69.94 g) siendo el más suave de los maíces analizados. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-FF034/1-2002, los maíces con calidad comercial para elaboración de tortillas y productos de maíz nixtamalizado deben cumplir con un peso hectolítrico superior a 74 kg hL<sup>-1</sup>. De los genotipos analizados los que cumplieron con este criterio fueron los híbridos comerciales (1,2 y 3), el genotipo blanco ancho y el maíz Villa.

Tabla 5. PH de 10 genotipos de maíz nativo del estado de Hidalgo.

Número	Genotipo	PH kg. hL <sup>-1</sup>
1	Hibrido Comercial 2	78.50 a
2	Hibrido Comercial 1	76.25 ab
3	Hibrido Comercial 3	76.24 ab
4	Blanco ancho	76.22 ab
5	Villa	75.00 b
6	Amarillo	72.22 c
7	Negro ancho	72.00 c
8	Blanco	70.75 cd
9	Menudita azul	69.75 cd
10	Negro	68.25 d
<b>Media general</b>		<b>73.52</b>

Medias con la misma letra en las columnas dentro de cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey, ( $P \leq 0.05$ )).  
DE: desviación estándar (3.38), CV (%): coeficiente de variación (4.60%) PH: peso hectolítrico.

La variabilidad observada también coincide con estudios en otros cultivos, donde el PH ha mostrado fuerte dependencia de factores ambientales como humedad, disponibilidad de nutrientes y estrés hídrico. Por ejemplo, en quinua y amaranto, grandes diferencias en densidad de semilla (62.2 vs. 81.71 kg hL<sup>-1</sup>) se explican por el tamaño del grano y el espacio entre semillas (Espitia, 1992; Thiam *et al.*, 2021; Tiwari *et al.*, 2018). De manera similar, en maíz y trigo se ha documentado que condiciones como baja disponibilidad de agua o nitrógeno pueden reducir la densidad del grano (Cabrera *et al.*, 2016; Kandrov *et al.*, 2019).

La incidencia de enfermedades foliares también tiene efectos documentados en el Peso hectolitrico, la roya amarilla reduce densidad y peso de mil granos debido a la disminución del área foliar funcional y el deficiente llenado del grano (Vergara-Díaz *et al.*, 2015; Sharma *et al.*, 2016). Esto concuerda con Dziki y Laskowski (2005), quienes observaron que granos “chupados” disminuyen el PH y el rendimiento harinero. Estudios como los de Cabral *et al.* (2018) han demostrado asimismo que granos más llenos y con forma más esférica permiten mayor extracción de harina, lo cual resalta la importancia del PH como indicador de rendimiento industrial.

Por otro lado, investigaciones en triticale han mostrado que el PH puede explicar buena parte del potencial de molienda, y que los valores superiores a  $76 \text{ kg hL}^{-1}$  se asocian a mayor rendimiento de harina (Jing *et al.*, 2016). En concordancia, en este estudio los valores más altos de PH se registraron en materiales que también presentaron mayor dureza y tamaño de grano, atributos importantes para el rendimiento en procesos de nixtamalización y molienda.

Finalmente, los valores obtenidos para PH en los maíces criollos y comerciales concuerdan con lo reportado para distintas razas y variedades de maíz. Por ejemplo, Agama *et al.* (2011) documentaron que razas como Tabloncillo pueden superar los  $75 \text{ kg hL}^{-1}$ , volviéndose aptas para productos como cereales para desayuno (Rooney & Serna-Saldivar, 1987). De manera similar, híbridos comerciales de grano azul pueden presentar valores iguales o superiores a  $75 \text{ kg hL}^{-1}$ , asociados con densidades verdaderas elevadas (Gerde *et al.*, 2016; García-Lara *et al.*, 2019; Ramírez, 2025).

Diversos autores señalan que el PH bajo no necesariamente compromete la calidad nutricional del grano, lo que permite su aprovechamiento en la formulación de alimentos balanceados para especies pecuarias (Chan *et al.*, 1987; García-Lara *et al.*, 2019). En estos sistemas, el contenido de energía y proteína tiene mayor relevancia que la dureza del endospermo, por lo que los maíces suavizados o parcialmente llenos continúan siendo adecuados para la alimentación animal.

## Resistencia mecánica del grano de maíz

La determinación de resistencia al quebrado de los materiales analizados se expresó en fuerza de ruptura del grano Newtons (N) y trabajo de ruptura Joules (J), (Tabla. 6). La fuerza de ruptura máxima requerida para romper el grano se mostró en el genotipo Amarillo (1653.51) y con menor valor fue para Negro (237.64 N). La dureza del grano determina el tiempo de procesamiento de un maíz para elaborar productos en forma de dispersiones cocidas (González *et al.*, 2005). Los maíces analizados en este estudio presentaron valores de dureza determinados mediante texturómetro superiores a los reportados por Jiménez-Juárez *et al.* (2012), quienes evaluaron la resistencia a la penetración del grano bajo condiciones instrumentales similares. Esta mayor dureza puede atribuirse a una mayor proporción de endospermo cristalino, característica asociada con granos más compactos y de mayor resistencia mecánica y por Maldonado (2021).

Sin embargo, Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto (2010) mostraron que los maíces suaves y semiduros favorecen la producción de tortillas con una humedad adecuada. Por lo tanto, de acuerdo con las propiedades físicas descritas, los maíces blancos, blanco ancho, menudita azul, negro ancho y negro tienen características adecuadas para ser aprovechados en la industria de la masa y la tortilla.

Tabla 6. Promedio de las variables de resistencia al quebrado en genotipos analizados; Fuerza en Newtons (N) y Trabajo en Joules (J)

Genotipo	Fuerza (N)	Trabajo (J)
Amarillo	1653.51 a	174312.29 a
Hibrido Comercial 2	1557.22 a	136317.10 ab
Hibrido Comercial 1	1444.60 a	125862.93 abc
Blanco	1330.18 ab	130632.88 ab
Blanco Ancho	984.75 bc	91045.47 bcd
Villa	936.89 bc	96654.60 bcd
Hibrido Comercial 3	844.16 cd	65266.87 cd
Menudita Azul	435.95 de	73614.40 bcd
Negro Ancho	306.20 e	47683.26 d
Negro	237.64 e	42688.58 d
<b>Media general</b>	<b>993.11</b>	<b>98407.84</b>

Medias con la misma letra en las columnas dentro de cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Diferencia mínima significativa (fuerza): 416.58, Diferencia mínima significativa (trabajo): 63159.

## Procesamiento de imágenes

En la tabla 7, se observa el porcentaje promedio del área cristalina en los granos analizados, obteniendo un rango de 36.04 a 9.39%. Considerando que el endospermo cristalino es más duro y translúcido que el endospermo harinoso (Salinas, 2010). La cantidad de endospermo ya sea, cristalino o harinoso presente en el grano determina la dureza; a mayor fracción cristalina, el grano es más duro, y viceversa (Watson, 2003). Los valores más altos de los granos analizados en maíces nativos fueron para Blanco ancho (15.99%) y Blanco (14.83%), mientras que los valores con menor porcentaje de área cristalina fue Negro (9.62) y Negro ancho (9.39%) (Fig. 14). Leyva (2002) reportó valores con alto porcentaje de endospermo cristalino en líneas de maíz Blanco, resultando valores de hasta 75 % en área cristalina.

Tabla 7. Prueba de medias para área cristalina en genotipos analizados con procesamiento de imágenes.

Número	Genotipo	% área cristalina
1	Hibrido Comercial 1	36.04 a
2	Hibrido Comercial 2	33.46 a
3	Blanco ancho	15.99 b
4	Blanco	14.83 bc
5	Villa	13.60 bcd
6	Hibrido Comercial 3	12.28 bcd
7	Amarillo	11.62 bcd
8	Menudita azul	10.37 dc
9	Negro	9.62 d
10	Negro ancho	9.39 d
<b>Media general</b>		<b>16.72</b>

Medias con la misma letra en las columnas dentro de cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey, ( $P \leq 0.05$ )).

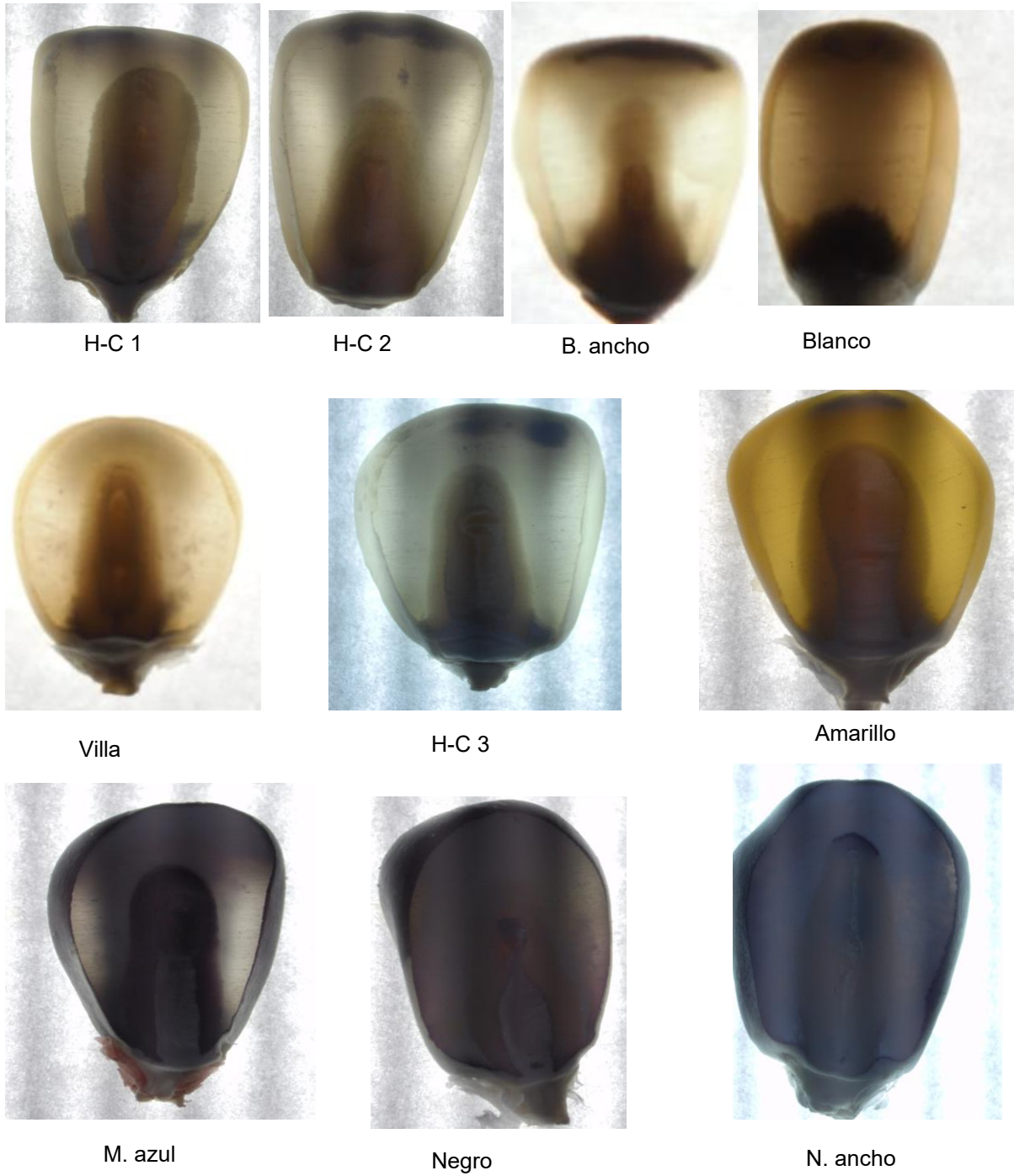


Figura 14. Imagenología de maíz nativo e híbridos del estado de Hidalgo. H-C 1 (Híbrido comercial 1), H-C 2 (Híbrido comercial 2, H-C 3 (Híbrido comercial 3).

## Correlación entre métodos de determinación de dureza

La matriz de correlación de Pearson (Cuadro 8) mostró que el PMG presentó la mayor correlación positiva con el procesamiento de imágenes ( $r = 0.5$ ), lo que indica que el tamaño y masa del grano influyen directamente en la proporción de endospermo cristalino.

El peso hectolítrico mostró correlaciones negativas con el área harinosa, confirmando su relación con la densidad y compactación del endospermo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Salinas (1992), quien señaló que, aunque el peso hectolítrico es altamente significativo, en algunos casos no permite diferenciar claramente entre genotipos de endospermo duro y suave, lo que resalta la importancia del uso complementario de métodos físicos y técnicas de procesamiento de imágenes.

**Cuadro 8. Matriz de correlación de Pearson entre variables para determinar dureza en maíz nativo**

Variables	PI	F	PMG	PH
PI	—	0.197	0.569	-0.511
F		—	0.480	-0.043
PMG			—	-0.015
PH				—

AH; área harinosa, F; Fuerza, PMG; Peso de mil granos y PH; Peso hectolítrico.

## **Conclusión**

El presente estudio permitió caracterizar la dureza del grano en maíces nativos del estado de Hidalgo mediante la integración de métodos físicos tradicionales y técnicas de procesamiento digital de imágenes con apoyo de inteligencia artificial, lo que aportó una evaluación integral de la calidad física del grano.

Los resultados del peso de mil granos evidenciaron una amplia variabilidad entre genotipos, con valores comprendidos entre 28.09 y 51.01 g. Los maíces Negro ancho, Negro y Blanco ancho presentaron los mayores promedios, lo que indica granos de mayor tamaño y masa individual, atributos deseables para el procesamiento industrial y asociados con mayor rendimiento en productos nixtamalizados.

El peso hectolítrico mostró diferencias significativas entre materiales, con valores de 68.25 a 78.50 kg hL<sup>-1</sup>. Los híbridos comerciales, así como los genotipos Blanco ancho y Villa, superaron el límite mínimo establecido por la norma NMX-FF-034/1-2002, confirmando su aptitud para la industria de la masa y la tortilla. En contraste, algunos maíces nativos presentaron valores inferiores, lo que sugiere su posible aprovechamiento en otros usos agroindustriales o pecuarios.

El análisis de resistencia al quebrado permitió identificar variaciones importantes en la fuerza y el trabajo de ruptura del grano. El maíz Amarillo y los híbridos comerciales mostraron los valores más altos de dureza, mientras que los genotipos Negro, Negro ancho y Menudita azul presentaron menor resistencia mecánica, característica asociada a una mayor proporción de endospermo harinoso y a mejores propiedades para la elaboración de tortillas con adecuada textura y humedad.

El procesamiento de imágenes digitales permitió cuantificar el porcentaje de área cristalina del endospermo, obteniendo valores entre 9.39 y 36.04 %. Los maíces Blanco ancho y Blanco destacaron entre los materiales nativos con mayor proporción cristalina, mientras que los maíces Negro y Negro ancho mostraron predominio de endospermo harinoso. Estos resultados confirmaron que la dureza del grano está estrechamente relacionada con la distribución estructural del endospermo.

El análisis de correlación evidenció una relación positiva moderada entre el peso de mil granos y el porcentaje de área cristalina obtenido mediante procesamiento de imágenes ( $r = 0.569$ ), lo que demuestra la utilidad de la inteligencia artificial como herramienta complementaria para la caracterización física del grano. Asimismo, se corroboró que el peso hectolítrico, aunque ampliamente utilizado, puede presentar limitaciones para diferenciar con precisión entre endospermos duros y suaves cuando se analiza de manera aislada.

Finalmente, el estudio resalta el valor de los maíces criollos de Hidalgo como recursos genéticos con propiedades físicas diferenciadas, cuyo aprovechamiento puede orientarse estratégicamente hacia distintos usos alimentarios y agroindustriales, contribuyendo a su conservación, valorización y uso sustentable.

## Bibliografía

1. Almacenamiento de las semillas de maíz | DEKALB®. (s. f.). Facebook DEKALB Venezuela. <https://www.dekalb.com.co/es-co/dkalidad/almacenamiento.html#accordion-807732-0>
2. Alvarez, I. V., Sánchez, D. F., Maurice, M. J. E., González, F. C., & Velázquez, M. A. J. (2022). Tlaxcala, investigación en maíz nativo y mejorado: problemática, campos del conocimiento y nuevos retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(3), 539-551. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2888>
3. Arvensisagro. (2022, 4 mayo). *¿Cuál es el origen del maíz? - Arvensis Agro*. Arvensis Agro. <https://www.arvensis.com/es/blog-cual-es-el-origen-del-maiz/>
4. CIAD. (2023, 29 septiembre). *La importancia del Día Nacional del Maíz - Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD)*. Centro de Investigación En Alimentación y Desarrollo (CIAD). <https://www.ciad.mx/la-importancia-del-dia-nacional-del-maiz/>
5. CONABIO. (2022). *Qué nos aportan los maíces | Biodiversidad Mexicana*. Biodiversidad Mexicana. [https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N\\_maices](https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_maices)
6. CONABIO. (2025, 20 enero). *Razas de maíz de México | Biodiversidad Mexicana*. Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>
7. De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (2021, 30 marzo). *La riqueza de México es el maíz*. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-riqueza-de-mexico-es-el-maiz#:~:text=Los%20ma%C3%ADces%20nativos%20son%20parte,nativos%20y%20cada%20uno%20es>
8. De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (2023a, marzo 2). *Maíces nativos, patrimonio biológico, agrícola, cultural y económico*. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/un-apoyo-para-agricultores-de-maices-nativos>
9. De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (2023b, marzo 10). *Maíz, cultivo de México*. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-cultivo-de->

[mexico#:~:text=El%20ma%C3%ADz%20es%20originario%20de,sustento%20de%20los%20pueblos%20mesoamericanos.](#)

10. *EL MAÍZ EN LOS TROPICOS: mejoramiento y producción.* (2021). FAO. <https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s03.htm>
11. *EL MAÍZ EN LOS TROPICOS: Mejoramiento y producción.* (s. f.). <https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s02.htm>
12. *EL MAÍZ EN LOS TROPICOS: Mejoramiento y producción.* (s. f.). <https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s24.htm#:~:text=Cuando%20la%20humedad%20del%20grano%20se%20encuentra%20entre%2014%20y,insectos%20de%20los%20granos%20almacenados.>
13. *Esto es lo que debes saber sobre la humedad del grano si piensas comercializar maíz – CIMMYT | IDP.* (s. f.). <https://idp.cimmyt.org/esto-es-lo-que-debes-saber-sobre-la-humedad-del-grano-si-piensas-comercializar-maiz/>
14. Euroza, G. (2023, 30 marzo). *Factores que influyen en el secado del grano.* CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/factores-que-influyen-en-el-secado-del-grano/>
15. Garcilazo, F. M. (2024, 2 octubre). *Biodiversidad y conservación del maíz nativo en México.* CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/biodiversidad-y-conservacion-del-maiz-nativo-en-mexico/>
16. *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural - Aireación de los granos.* (s. f.). <https://www.fao.org/4/x5027s/x5027S0k.htm>
17. Ramírez, A. L., Córdova. (2024). *INTERACCIÓN GENOTIPO x AMBIENTE EN MAÍCES NATIVOS DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO.* <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/435/357>
18. Sandoval, L. (2023, 4 enero). *The secret history of corn is revealed in its genome.* Cold Spring Harbor Laboratory. <https://www.cshl.edu/the-secret-history-of-corn-is-revealed-in-its-genome/>
19. Tecnología, P. (2020, 16 octubre). *IMPORTANCIA DE LA HUMEDAD DEL GRANO DE MAÍZ PARA SU COSECHA.* ProainShop. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/importancia-de-la-humedad-del-grano-de-maiz-para-su-cosecha>

20. USDA. (2025, 24 febrero). *Zea mays L. subsp. mays GRIN-Global*.  
<https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/taxonomydetail?id=311987>
21. Zaragoza, C. E. (2023, 23 mayo). *La importancia del maíz*.  
<https://es.linkedin.com/pulse/la-importancia-del-ma%C3%ADz-christian-escobedo-zaragoza>

## Anexos

### 1. Análisis de varianza de la variable PMG

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para PMG

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un

índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	70
Error de cuadrado medio	3.0412
Valor crítico del rango <u>estudentizado</u>	4.621
Diferencia significativa mínima	4.621

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Trat
A	51.01	8	8
B A	50.25	8	1
B	43.37	8	5
C	37.02	8	4
C	36.03	8	10
C	35.52	8	2
D C	34.70	8	3
D C	34.47	8	6
D	30.30	8	7
E	28.09	8	9

Sistema SAS

## 2. Análisis de varianza de PH

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para PH

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un

índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	30
Error de cuadrado medio	1.399
Valor crítico del rango estudentizado	4.824
Diferencia significativa mínima	2.85

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Trat
A	78.50	4	7
A			
B A	76.25	4	3
B A			
B A	76.24	4	6
B A			
B A	74.22	4	4
B			
B	75.00	4	9
C	72.22	4	2
C			
C	72.01	4	10
C			
D C	70.75	4	8
D C			
D C	69.75	4	1
D			
D	68.25	4	5

Sistema SAS

|

### 3. Analisis de varianza de la variable Trabajo

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para trabajo

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un

índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	140
Error de cuadrado medio	2.8937E9
Valor crítico del rango <u>estudentizado</u>	<u>4.54726</u>
Diferencia significativa mínima	63159

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Trat
A	174312	15	3
A			
B A	136317	15	6
B A			
B A	130633	15	7
B A			
B A C	125863	15	2
B C			
B D C	96655	15	10
B D C			
B D C	91045	15	4
B D C			
B D C	73614	15	5
D C			
D C	65267	15	9
D			
D	47683	15	1
D			
D	40999	15	8

#### 4. Análisis de varianza de la variable fuerza

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para fuerza

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un

índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	140
Error de cuadrado medio	125887.3
Valor crítico del rango <u>estudentizado</u>	<u>4.54726</u>
Diferencia significativa mínima	416.58

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	<u>Trat</u>
A	1653.5	15	3
A			
A	1557.2	15	6
A			
A	1444.6	15	2
A			
B A	1330.2	15	7
B			
B C	984.8	15	4
B C			
B C	936.9	15	10
C			
D C	844.2	15	9
D			
D E	436.0	15	5
E			
E	306.2	15	1
E			
E	234.5	15	8

Sistema SAS

13:25 Wednesday, March 31,

2025 5

## 5. Análisis de varianza de PI

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para PI

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un

índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	70
Error de cuadrado medio	3.0412
Valor crítico del rango <u>estudentizado</u>	4.621
Diferencia significativa mínima	2.849

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Trat
A	36.04	20	6
A			
A	33.46	20	3
B			
B	15.99	20	7
B			
B C	14.83	20	2
B C			
B D C	13.60	20	10
B D C			
B D C	12.28	20	4
B D C			
B D C	11.62	20	1
D C			
D C	10.37	20	8
D			
D	9.62	20	5
D			
D	9.39	20	9

Sistema SAS

## 6. Acta fitogenética de la X Reunión Nacional De Maíces Nativos 2023 - SOMEFI

Acta Fitogenética  
Volumen 9 | Número 1 | Noviembre 2023

ZONIFICACIÓN EDAFOCLIMÁTICA PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ ( <i>Zea mays</i> L.) EN LA ZONA DE LA CHONTALPA, TABASCO, MÉXICO. <i>Maricela Pablo Pérez, Antonio López Castañeda, José Izquierdo Hernández, Leticia Valenzuela Alamilla, Jorge Santos Valencia, Luis Latournerie Moreno y Lorenzo Chacón Pérez</i> .....	79
<b>Uso de los maíces nativos</b>	
ACCESIONES LOCALES DE MAÍZ ( <i>Zea mays</i> L.) TOLERANTES AL ESTRÉS HÍDRICO. <i>Reyna Marisol Lizama-Cime; Rubén Humberto Andueza-Noh y René Garruña-Hernández</i> .....	80
AFLATOXINAS EN MAÍCES CRIOLLOS Y MEJORADOS PRODUCIDOS EN YUCATÁN. <i>Maria Alma Rangel Fajardo, Johnny Abraham Burgo Díaz, Jorge Ismael Tucuch Haas, Noel Orlando Gómez Montiel</i> .....	81
CALIDAD DE MAÍCES DE SAN LORENZO HUITZILAPAN, LERMA, EDO. DE MÉXICO. <i>Diana Laura Mejía-Astivia, Tania Montserrat Mejía-Astivia, Martha Yolanda Quezada-Viay, Josefina Moreno-Lara, Rosa Navarrete-Maya</i> .....	82
CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN MAÍZ Y USO DE MAÍCES NATIVOS EN TUZANTLA, MICHOACÁN. <i>Marcelo Garrido Torres, Jorge Gutiérrez Tlahque y Arturo Antolin Velasco Velasco</i> .....	83
CULTIVOS DE MAÍZ ( <i>Zea mays</i> L.) COMO RESERVORIO DE DIVERSIDAD DE INSECTOS. <i>Victor Manuel Caballero Chan, Alejandra González Moreno, Horacio Ballina Gómez, Carlos Juan Alvarado López</i> .....	84
DETERMINACIÓN DE DUREZA MEDIANTE MÉTODOS FÍSICOS Y DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN MAÍCES NATIVOS DE HIDALGO, MÉXICO. <i>Elizabeth Amador-González, Sergio Soto -Simental, Oscar Castelán-López, Jesús M. Franco-Fernández, Gabriela Medina-Pérez, Alberto J. Valencia-Botín e Irma Morales-Rodríguez</i> .....	86
DIVERSIDAD DE ESPECIES VEGETALES Y CULTIVARES EN LA MILPA YUCATECA Y SUS IMPLICACIONES EN CONSERVACIÓN <i>IN SITU</i> Y MEJORAMIENTO PARTICIPATIVO. <i>Luis Manuel Arias Reyes, Luis Antonio Dzib Aguilar, Rafael Ortega Paczka, Luis Latournerie Moreno, Luis Alberto Burgos May</i> .....	86
EL TOTOMOXTLE DE MAÍZ TIMBEÑO, FUENTE POTENCIAL DE ANTOCIANINAS. <i>J. A. Jacaba Salin, E. M.</i>	

## 7. Constancia de la X Reunión Nacional De Maíces Nativos 2023 - SOMEFI



Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C.  
Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Conkal



Otorgan a:

**Irma Morales Rodríguez**

la presente **CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN ORAL** del trabajo

**“DETERMINACIÓN DE DUREZA MEDIANTE MÉTODOS FÍSICOS Y DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN MAÍCES NATIVOS DE HIDALGO, MÉXICO”**

Elizabeth Amador-González, Sergio Soto-Simental, Oscar Castelán-López, Jesús M. Franco-Fernández, Gabriela Medina-Pérez, Alberto J. Valencia-Botín, Irma Morales Rodríguez

en la

**X Reunión Nacional  
de Maíces Nativos**

Que fue llevada a cabo los días

11, 12 y 13 de octubre de 2023, Conkal, Yucatán.



## 8. Acta fitogenética de la XI Reunión de maíces nativos

<b>AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE HONGOS FITOPATÓGENOS ASOCIADOS AL CULTIVO DE MAÍZ BAJO MANEJO AGROECOLÓGICO.</b> Gerardo Rubicel Barragan-Basaldú, Zoila Carmen Lagunas-Sánchez, Oscar Clemente-Herrera, Jose Francisco Castillo-Esparza, Damaris Desgarenes-Valido ,Irasema Vargas-Arispuro,Alan Ahmed Ortiz Muñoz	109
<b>SEMILLA DE MAÍZ CULTIVADA EN JILOTEPEC Y VILLA VICTORIA, ESTADO DE MÉXICO, Y SU PERCEPCIÓN SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO.</b> José Luis Jolalpa-Barrera, Venancio Cuevas-Reyes, Dolores Briones-Reyes, Jaime Rangel-Quintos y Enrique Buendía-Rodríguez	110
<b>ANÁLISIS DE MICROGRAFÍAS Y SU APLICACIÓN PARA DETERMINAR LA DUREZA DEL MAÍZ NATIVO DEL ESTADO DE HIDALGO.</b> Elizabeth Amador-González, Irma Morales-Rodríguez, Juan Ocampo-López, Juan Carlos Capulín-Valencia, Alberto Julián Valencia-Botín, María Alma Rangel-Fajardo y Armando Peláez-Acero	111
<b>RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍZ EN MONOCULTIVO Y ASOCIACIÓN TRADICIONAL EN LA SIERRA SUR DE OAXACA.</b> Luis Francisco González-Pérez, Aarón Martínez-Gutiérrez, Margarita Tadeo-Robledo, María Isabel Pérez-León, Yuri Villegas-Aparicio, Gerardo Rodríguez-Ortiz y Oscar Clemente-Herrera	112
<b>BIONUTRICIÓN DE MAÍZ CRIOLLO (Zea mays) CON RESIDUOS DE LA AGROINDUSTRIA DEL MEZCAL.</b> Gabino Alberto Martínez-Gutiérrez, Aarón Martínez-Gutiérrez, Margarita Tadeo-Robledo, María Isabel Pérez-León, Yuri Villegas-Aparicio, Gerardo Rodríguez-Ortiz y Oscar Clemente-Herrera	113

## 9. Resumen del acta fitogenética de XI Reunión de maíces nativos 2025

# ANÁLISIS DE MICROGRAFÍAS Y SU APLICACIÓN PARA DETERMINAR LA DUREZA DEL MAÍZ NATIVO DEL ESTADO DE HIDALGO

<sup>1</sup>Elizabeth Amador-González, <sup>1</sup>Irma Morales-Rodríguez\*, <sup>1</sup>Juan Ocampo-López,  
<sup>4</sup>Juan Carlos Capulín-Valencia, <sup>2</sup>Alberto Julián Valencia-Botín,  
<sup>3</sup>María Alma Rangel-Fajardo y <sup>1</sup>Armando Peláez-Acero

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, <sup>2</sup>Centro Universitario de la Ciénega, Universidad de Guadalajara, Ocotlán, Jalisco, <sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Mococho, Yucatán, <sup>4</sup>Universidad Tecnológica de Xicotepec, Xicotepec de Juárez, Puebla

\*Autor para correspondencia: irma\_morales@uah.edu.mx

**Introducción.** La dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) está relacionada con la estructura y organización del endospermo, elemento importante para determinar, rendimiento, mejora agrícola y económica. El estado de Hidalgo cuenta con maíces nativos y actualmente, no existen reportes donde se haya evaluado la dureza de éstos. El objetivo del estudio fue analizar micrografías de granos de maíces nativos del estado de Hidalgo para determinar la dureza e identificar el posible uso potencial de estos genotipos.

**Materiales y Métodos.** En genotipos de maíz de Hidalgo se evaluó cuantitativamente el tipo de endospermo presente, para esto, los granos se sumergieron en agua (24 h) luego se fijaron en FAA (24 h), después se procesaron por inclusión en parafina. Posteriormente, en un microtomo de rotación manual, se cortaron a 10 µm de espesor, se colocaron en portaobjetos, se tiñeron con rojo congo, y se cubrieron con resina sintética. Estos preparados histológicos se observaron al microscopio, se obtuvieron imágenes donde se diferenció estructura y organización de endospermo, con el programa ImageJ v1.53, los cuales se determinaron estadísticamente,

obteniéndose tres clasificaciones según la dureza a) cristalina (67.8-85 %): Blanco Ancho y dos híbridos comerciales referenciados como duros considerados como testigo y b) intermedia (64-44 %): nativos Amarillo, Villa y comercial 3 y c) blanda o harinosa (0.0-33.10 %): nativos Negro, Menudita Azul y Negro Ancho, referidos por los productores como suaves.

**Resultados.** Se mostraron diferencias significativas  $p \leq 0.01$  entre genotipos estudiados. La tinción con Rojo Congo permitió diferenciar la estructura y organización del endospermo y clasificación por dureza de genotipo los granos de maíz nativo, además, el análisis permitió estimar porcentajes de embrión y pedicelo.

**Conclusiones.** Los preparados histológicos analizados, aportaron información para emplearse en la determinación de la dureza de los granos de maíz del estado de Hidalgo. Se destaca la mayor presencia de granos cristalinos e intermedios. Estos últimos suelen emplearse para la elaboración de harina y masa para tortillas.