

Parámetros tecnológicos de interés agroindustrial de las semillas de calabaza de castilla (*C. moschata*) y calabaza hedionda (*A. undulata*)

Technological parameters for agroindustrial concern from seeds of Castilla pumpkin (*C. moschata*) and bitter pumpkin (*A. undulata*)

Selena del Rocío, Martínez-Betancourt¹, Laura Araceli, López-Martínez², Erich Dietmar, Rössel-Kipping³, Gerardo Loera-Alvarado⁴, Hipólito Ortiz-Laurel⁵, Alejandro Amante-Orozco⁶ y Héctor Martín Durán-García^{7,*}

Resumen

El objetivo de este trabajo fue medir parámetros; tanto físicos como químicos de semillas enteras y molidas de la calabaza de castilla (*Cucurbita moschata* Duchesne) y de la calabaza hedionda (*Apodanthera undulata* A. Grey). Para ambas variedades de calabaza, los parámetros y rangos de variabilidad fueron; dimensiones físicas, fricción interna, fricción externa, tamaño de partículas; en la harina, conductividad eléctrica, proteína soluble, proteína total, carbohidratos, concentración de aceite y principales minerales. Esta información es esencial en la generación de tecnologías para los procesos productivos y coadyuva a usar la masa orgánica más completa para generar materia prima para diferentes sectores productivos, diversificar productos de consumo e incrementar la productividad de la mecanización agroindustrial. Se concluye que el cultivo de calabaza en la región de estudio ofrece la oportunidad de intensificar procesos tecnológicos e innovadores de carácter agroindustrial. El uso integral de la semilla con cascara tiene impacto productivo en la industria agroalimentaria. Por eso las características físicas y químicas son determinantes en la selección de la mecanización técnica para los procesos de transformación y en el equipamiento e insumos como agua, minerales, energía, entre otros de la cadena de valor agregado a la masa orgánica.

Palabras clave: propiedades físicas, propiedades químicas, procesamiento, biomateriales.

Abstract

The objective of this work was to quantify either physical and chemical attributes of the whole along with grounded seeds from Castilla pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne) and bitter pumpkin (*Apodanthera undulata* A. Grey). The parameters data for whole seeds of both pumpkin varieties were; physical dimensions, internal friction, external friction and particle size, while for their ground compound were; electric conductivity, soluble protein, total protein, carbohydrates, oil concentration and main minerals. Collected data is fundamental for generating technology for the productive processes and an aid for more efficient use of the entire organic mass, when new raw matter is obtained for separate processing areas, to diversify readily consumption produce and increasing productivity of agroindustrial mechanization. It was concluded that pumpkin crop raised all over this farming region offers an opportunity to build up agroindustrial innovative and technological processes. A comprehensive use of seeds with their skin has a significant advantage on the food industry. Therefore, the physical and chemical attributes are responsible for the selection of technical mechanization for the industrial swap processes, as well as all required gear and feedstock like water, minerals, energy and others within the add value chain to the original organic matter.

Keywords: physical properties, chemical properties, processing, biomaterials.

Recibido: 15/07/2022

Aceptado: 02/03/2023

Publicado: 30/04/2023

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: hduran@uaslp.mx

¹Colegio de Postgraduados. Programa innovación en manejo de recursos naturales, Iturbide 73, Salinas de Hgo., S.L.P. 78600.Mexico. <https://orcid.org/0000-0002-3504-9395>

²Coordinación Académica Región Altiplano Oeste de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera Salinas Santo Domingo 200, Salinas de Hidalgo, S.L.P., 78600. México. <https://orcid.org/0000-0002-5075-632X>

³Colegio de Postgraduados. Programa innovación en manejo de recursos naturales, Iturbide 73, Salinas de Hgo., S.L.P. 78600.Mexico. <https://orcid.org/0000-0001-7509-1101>

⁴Colegio de Postgraduados. Programa innovación en manejo de recursos naturales, Iturbide 73, Salinas de Hgo., S.L.P. 78600.Mexico. <https://orcid.org/0000-0002-5339-3819>

⁵ Colegio de Postgraduados. km. 348, Carr. Fed. Cordoba-Veracruz, Congregación Manuel León, Amatlan de los Reyes, Veracruz. 94946. México. <https://orcid.org/0000-0003-2493-2083>

⁶Colegio de Postgraduados. Programa innovación en manejo de recursos naturales, Iturbide 73, Salinas de Hgo., S.L.P. 78600.Mexico. <https://orcid.org/0000-0003-2480-0144>

⁷Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Calle Altair 200, Colonia Del Llano. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. C. P. 78377. <https://orcid.org/0000-0003-0285-4053>

Como citar: Martínez-Betancourt, S. del R., Rössel-Kipping, E. D., López-Martínez, L. A., Ortiz-Laurel, H., Amante-Orozco, A., & Durán-García, H. M. (2023). Parámetros tecnológicos de interés agroindustrial de las semillas de calabaza de castilla (*C. moschata*) y calabaza hedionda (*A. undulata*). *Revista De Investigaciones Altoandinas*, 25(2), 73–82. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.466>



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

Introducción

Globalmente, se evidencia un alarmante crecimiento poblacional desde los 7000 millones en 2010 hasta un estimado de 10000 millones en 2050 (Searchinger *et al.*, 2018), lo cual demandará simultáneamente en el corto y mediano plazo, el suministro de alimentos en cantidad y calidad suficientes. De ahí que, la producción agrícola debe aportar soluciones utilizando la mínima cantidad de agua, de energía todo ello, bajo condiciones climáticas extremas. Inclusive, se pronostica un uso integral de la biomasa vegetal, de los frutos, reducción de pérdidas y uso de sub-productos, así como la generación de biomateriales. Por otro lado, la población ha experimentado cambios en sus hábitos alimenticios, orientados hacia el consumo de alimentos nutritivos, que aporten propiedades fisiológicas benéficas y que en cierta medida, reduzcan el riesgo de contraer enfermedades crónicas.

Bajo este enfoque, el estudio se orientó a utilizarla semilla de calabaza como una materia prima renovable y que coadyuve en la optimización de su cadena de agregación de valor. En México la producción anual de calabaza es de 160 222 toneladas y de 33 339 toneladas de semilla. La Figura 1 muestra la distribución de la producción de calabaza en diferentes estados de México, mientras que la Figura 2 ilustra los principales sitios de producción de semilla de calabaza en el estado de San Luis Potosí, México, lo cual permitirá explotar integralmente el potencial económico de esta especie. Usualmente, la semilla puede consumirse directamente de la calabaza, pero mayormente éstas son, deshidratadas mediante un proceso simple de tostado y adicionadas con sal.

Este estudio plantea realizar determinaciones de los atributos físicos de la semilla durante su interacción con diversas herramientas y mecanismos requeridos para su manejo, así como de las características químicas para verificar su valor nutrimental y capacidad de combinación. El análisis de las propiedades físicas permite dimensionar los requerimientos de los equipos de almacenamiento, del transporte y del procesamiento de la semilla de calabaza (Rössel *et al.*, 2017). Igualmente, el análisis de las propiedades químicas permitirá conocer el valor nutritivo y funcional de este producto, como materia prima agroindustrial.

Dentro de estas variedades destacan; la semilla de calabaza de castilla (*Cucurbita moschata* Duchesne) y la de calabaza hedionda (*Apodanthera undulata* A. Grey). Por lo que, el uso de las semillas con fines agroindustriales, específicamente en el área de alimentos, puede conducir a elaborar productos con propiedades nutricionales relevantes. Adicionalmente, el expandir e intensificar

el uso de la semilla podría beneficiar a la economía de la región del altiplano potosino-zacatecano, asociado también al hecho de que, las condiciones agroclimáticas en esta región favorecen la producción de este cultivo; también se puede promover el uso de los subproductos (restos de la semilla, así como la pulpa y la cáscara de la calabaza), al someterlas a un proceso de transformación que sea efectivo y rentable para los productores.

La utilidad de las semillas de la calabaza en las diferentes etapas del desarrollo humano no es nueva, aunque hoy en día, existe una demanda integral y moderna para realizar el proceso de producción de esta materia prima en la agroindustria, partiendo desde el proceso post-cosecha hasta los consumidores finales, empleando tecnología mecánica y automatizada. Sin embargo, para lograr un proceso eficaz, es conveniente, conocer e interpretar las características físicas, químicas y biológicas para garantizar una mejor productividad, asociada a una reducción en el uso de los recursos empleados.

La semilla de calabaza de castilla y de calabaza hedionda procedentes de la región del altiplano potosino-zacatecano son una alternativa en la elaboración de nuevos productos alimenticios y no alimentarios (biomateriales), en función de la valoración de sus atributos físicos y químicos. Los atributos físicos, impactan en el diseño, construcción y operación de la maquinaria, las estructuras de almacenamiento, el transporte y en las herramientas (Rössel *et al.*, 2017). Asimismo, influyen en los aparatos utilizados para detectar el impacto de sus propiedades sobre la productividad, para garantizar la mayor calidad y el control en los procesos de transformación involucrados; para verificar sus propiedades funcionales y la de sus ingredientes, con el fin de generar productos de valor agregado.

En el procesamiento físico, químico y tecnológico al que se somete la semilla, es importante verificar la eficiencia de las técnicas empleadas en el secado, limpieza, cribado, tratamiento, entre otros, para obtener productos de buena calidad; con las cualidades deseadas de textura, apariencia, composición nutricional, sabor, aroma y color, así como, cuando se emplean los instrumentos, máquinas y equipos.

Por lo anterior, se puso como objetivo, registrar y analizar los atributos físicos (largo, ancho, grosor, fricción interna y externa, densidad y textura) y químicos (contenido de proteínas, minerales, carbohidratos, lípidos y humedad) de las semillas secas de calabaza de castilla (*C. moschata*), y calabaza hedionda (*A. undulata*) en su promoción como materia prima para la agroindustria.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el Laboratorio de agua-suelo-planta del Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados (CSLP-CP) (22°63'22" N y 101°71'25" O) y en el Laboratorio de la Coordinación Académica Región Altiplano Oeste (CARAO) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) (22°38'28.5" N y 101°42'10.0" O).

En la primera etapa, la semilla de calabaza de castilla (*C. moschata*), y calabaza hedionda (*A. undulata*) con cáscara fueron seleccionadas a mano, sacándolas al azar de un depósito de 70 kg para integrar 1 kg de cada una de las variedades. Posteriormente, se realizó una limpieza manual; descartando a aquellas semillas sin cáscara, a las que presentarán pericarpio dañado, quebradas, vanas y separando las materias extrañas como resultado típico de un proceso mecanizado.

Las propiedades físicas fueron determinadas tanto en las semillas de calabaza de castilla (*C. moschata*) con cáscara y sin cáscara, así como en las semillas de calabaza hedionda (*A. undulata*) por separado, utilizando éstas como se muestran en la Figura 3.

Métodos para la determinación de características físicas

El ángulo de fricción interna μ_i (equivalente a la viscosidad de un medio líquido) fue determinado sobre un montón de material granular (Figura 4), utilizando un embudo en forma de cono sostenido por un soporte universal y llenado con 40 g de la muestra de semillas/harinas y dejando caer la muestra, hasta que descienda completamente sobre una pieza de plástico de polietileno (Rössel *et al.*, 2015). La muestra adquirirá la forma de un cono invertido y/o un triángulo (Figura 4). A partir de ahí, fue medida la altura y el diámetro que ocupa. Este procedimiento fue repetido 10 veces para cada muestra de semillas y 100 veces en el caso de las harinas. La fricción fue calculada mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Fricción Interna} = \mu_i = \tan \beta = h / (\phi * 0.5)$$

Donde:

μ_i = fricción interna; h = altura de la semilla; ϕ = diámetro del cono.

La conductividad eléctrica (σ) es la medida de la capacidad de un material o sustancia para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él (Rössel *et al.*, 2016). La conductividad depende de la estructura atómica y molecular del material.

Se emplea la unidad del Sistema Internacional, Siemens (S), equivalente a $m\Omega$; y para trabajar con números más manejables como submúltiplos: $1 \text{ mS/cm} = 1 \text{ dS/m} = 1000 \text{ (S/cm} = 1 \text{ m}\Omega/\text{cm)}$.

La determinación de los Siemens se expresa con la fórmula:

$$S = F(t, h, l)$$

Donde:

S=Siemens; F= función dependiente de las propiedades de; t=temperatura; h=humedad; l=longitud.

Lo mismo que, con la siguiente ecuación, para determinar los Siemens:

$$S = 1 * \Omega^{(-1)} = 1m^{(-2)} * kg^{(-1)} * s^3 A^2$$

Donde:

S= siemens; Ω = Ohm; m= metro; kg= masa; s=segundo; A=Ampere.

La conductividad eléctrica en harina de semilla de calabaza hedionda y de calabaza de castilla criolla fue medida con un multímetro digital de la marca Kinzo 18d265 ce. Para lo cual, se colocaron 30 g de cada muestra de harina en un recipiente de plástico y 70 ml de agua destilada (la mezcla de harina de calabaza hedionda contenía 29.84 g de materia seca y 70.16 g de humedad, la harina de la calabaza de castilla con cáscara contenía 29.87 g de materia seca y 70.13 g de humedad, la de harina de calabaza de castilla sin cáscara contenía 29.90 g de materia seca y 70.10 g de humedad).

La temperatura en la muestra se determinó con un termómetro de la marca HANNA HI 98130 y se registró también la corriente eléctrica, para lo cual se utilizó un multímetro de la marca Kinzo 18d265 ce.

El multímetro indica valores en $k\Omega$, por lo que, el resultado fue convertido a mS, empleando las siguientes expresiones: $mS = 1/k\Omega$; Dónde: $k\Omega$ = kilo Ohm y $mS/m = mS * 20$, Dónde: mS= mili Siemens; 20= distancia entre electrodos, esta fue de 5 cm y para definir a un metro de separación se multiplica por 20.

La molienda de las semillas de calabaza hedionda con cáscara y calabaza de castilla criolla, con cáscara y sin cáscara, fue realizada en un molino marca Krups, modelo GX410011.

Para realizar una clasificación más detallada acerca de las harinas de las semillas de calabaza

hedionda con cáscara, de la calabaza de castilla criolla con cáscara y sin cáscara, fueron seleccionados 200g de cada una de estas harinas para aplicar el procedimiento de su cribado (Rössel *et al.*, 2016). Se utilizó un juego de cribas marca Alcón®, con tamaños de malla de 1.99898 mm, 1.79578 mm, 1.4097 mm, 0.4191 mm, 0.41402 mm, 0.131826 mm, 0.007366 mm y 0.00381 mm, con las que fue posible determinar la granulometría de las partículas y así, definir en función de las necesidades, la calidad granulométrica de la harina a obtener, la cual debe estar definida por la textura física que poseen. Este procedimiento fue repetido 3 veces para cada una de las muestras.

La densidad aparente (ρ_b), se calculada mediante la siguiente ecuación: $\rho_b = m/V$; Donde: m = masa; V = Volumen.

Para determinar el peso de 1000 semillas, fueron seleccionadas al azar 100 semillas de cada espécimen y se pesaron en una balanza analítica. Después se extrapolo el resultado a 1000 semillas (Kachru *et al.*, 2003).

El tamaño de las semillas se determinó midiendo el largo (L), el ancho (W) y el grosor (T), en 100 semillas de cada género, seleccionadas al azar. La medición se realizó utilizando un calibrador vernier digital con 0.001 mm de precisión.

El diámetro geométrico (Dg) de una semilla individual fue calculado a partir de las tres dimensiones características de acuerdo a la siguiente ecuación (Mohsenin, 1986).

$$Dg = LWT^{\frac{1}{3}}$$

El área superficial específica (S) se calculó asumiendo una forma elipsoidal de la semilla, de acuerdo a la expresión propuesta por McCabe *et al.* (1986):

$S = \pi Dg^2$; Donde: S = área superficial específica; $\pi = 3.1416$; Dg = Diámetro geométrico.

Para completar la información sobre la forma de la semilla, se calculó la relación de aspecto (R), a partir del largo y el ancho de la semilla (Maduako y Faborode, 1990), utilizando la siguiente ecuación:

$$R = \frac{W}{L} * 100;$$

Donde:

R = Relación de aspecto; W = Ancho; L = Largo.

El ángulo de fricción externo fue determinado sobre una pieza de madera (50 x 30 cm) fijada sobre

una mesa, donde se colocaron 40g de material biológico (semillas y harinas) (Rössel *et al.*, 2015). Posteriormente, se levanta un extremo de la tabla con las semillas y harinas en procesos separados, hasta definir el punto donde éstas comienzan a moverse hacia la parte inferior por completo; en esa posición fue tomada la medida del ángulo con un transportador de plástico, a la altura que quedó la tabla, esto fue realizado tanto para la tabla de madera, como para; cristal de vidrio, lámina de acero, vitropiso, triplay y una tabla de plástico de polietileno. Todas las pruebas se repitieron 10 veces por muestra en el caso de las semillas y 100 veces por muestra en el caso de las harinas. El ángulo de fricción externa se determinó con la siguiente ecuación:

Angulo de fricción externa = $\mu_e = \tan \beta$; Donde: μ_e = fricción externa; $\tan \beta$ = ángulo de inclinación.

Métodos para la determinación de las características químicas

El contenido de humedad en las harinas fue determinado de acuerdo a la técnica propuesta por la AOAC (1999):

$$H^{\circ} = (Ph - Ps) / Ps * 100$$

Donde:

Ph = peso de la muestra húmeda (g) + peso de la charola vacía y seca (g), Ps = peso de la charola (g) + peso de la muestra seca (g).

Para la determinación de proteína en las semillas, se utilizó el método de Kjeldahl, establecido en la Norma (NMX-F-068-S, 1980).

$$N (\%) = V * N * 0.014 * 100 / m$$

Donde:

N = Porcentaje (%) de Nitrógeno; V = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación, en cm^3 ; N = Normalidad del ácido clorhídrico; m = Masa de la muestra en g; 0.014 = mili-equivalente del nitrógeno. El (%) de proteínas fue obtenido multiplicando el (%) de nitrógeno obtenido por el factor correspondiente.

La proteína soluble en las semillas se determinó, utilizando el método descrito por Lowry *et al.* (1951).

La determinación del contenido de carbohidratos se realizó basándose en la Norma (NMX-F-312, 1978) y la ecuación:

$$A (\%) = 25000 * T * V * P$$

La extracción y determinación del porcentaje de aceite contenido en las semillas, fue realizada en un equipo ST243 Soxtec™ Extraction Unity haciendo uso de la ecuación:

$\%A = (VaAP - VaP) / hrn \times 100$; En donde: %A = porcentaje de aceite; VaAP= peso en gramos del Vaso de aluminio (g) + Aceite (g) + 3 Perlas de borosilicato (g); VaP= Vaso de aluminio + 3 Perlas de borosilicato (g); hrn = harina (g).

La digestión por microondas es el mecanismo mediante el estándar (NMX-EC-17025-IMNC, 2006). La digestión por microondas fue realizada con el equipo Preekem modelo WX-6000.

La determinación de fósforo fue realizada basándose en el método de fósforo por espectrofotometría, el cual es un método colorimétrico de valoración cuantitativa.

El método para determinar fosfatos es basado en formación de un hetero poliácido con el reactivo vanado molíbdico (de color amarillo y soluble en agua) que absorbe la luz a 430 nm, el equipo usado fue un espectrofotómetro de rango visible, modelo Genesys 105 vis.

La determinación de estos minerales fue realizada por espectrofotometría de absorción atómica.

Resultados y Discusión

Un concentrado de las características físicas de: textura, densidad, conductividad, y fricción interna obtenidas de las pruebas, se muestran en la Tabla 1 y un resumen integral de los valores obtenidos de las pruebas, se muestran en la Tabla 2.

Los valores de la textura indican que es posible realizar un proceso eficiente de mezclado, siempre y cuando se seleccionen los materiales procesados (limpios, secos, etcétera) y con los tamaños idóneos, se garantiza una mejor homogeneidad del producto final., además es posible garantizar la continuidad de los procesos subsiguientes por ejemplo en un silo de almacenamiento es posible garantizar que el material salga de éste, en el mismo orden en que fue ingresado al silo.

A través de los valores de la Tabla 2 es posible diseñar una selección del principio para las herramientas del procesamiento agroindustrial por ejemplo de los orificios de las cribas, o la inclinación de las mesas de selección por la forma del grano del material, r la resistencia que ofrecen las partículas del material biológico y su arrastre por la vía neumática: Estos y algunos otros, afectan o facilitan la productividad operacional agroalimentarios. Muy significativa es el éxito en el manejo del transporte neumático, por la aplicación de características físicas es posible la selección adecuada de vellosidad de aire con el objetivo de la reducción de energía necesaria.

La Tabla 3 muestra los valores de la fricción externa que establecen el movimiento de las semillas en contacto con la superficie exterior de varios materiales.

A partir de los valores ellos, es posible tomar las decisiones más acertadas para la selección del material técnico, relacionada al contacto con los materiales biológicos, con el propósito de optimizar la función de las herramientas en el procesamiento agroindustrial como en el caso de un transporte por gravedad.

Las características químicas determinadas de las semillas de calabaza hedionda, calabaza de castilla con y sin cáscara fueron: humedad, proteína cruda, carbohidratos, fosforo, zinc, magnesio, hierro y calcio y los valores resultantes de la humedad, del aceite, de la proteína cruda y de los carbohidratos se muestran en la Tabla 4, mientras que los de fosforo, zinc, magnesio, hierro y calcio de la semilla de calabaza se ilustran en la Tabla 5. En el caso a mecanizar y automatizar los procesos en la agroindustria, es necesario realizar una selección de los aparatos en función de los atributos del material biológico como por ejemplo la densidad para dimensionar el volumen del almacenamiento o la fricción para el efecto de salida continua del material por gravedad de un silo vertical.

Los valores de las Tablas 4 y 5, junto con los datos físicos presentados en las Tablas 1, 2 y 3 garantizan no generar efectos sin deseables, debido al contacto del material orgánico con los elementos de las máquinas de procesamiento. (reducido- concentrado).

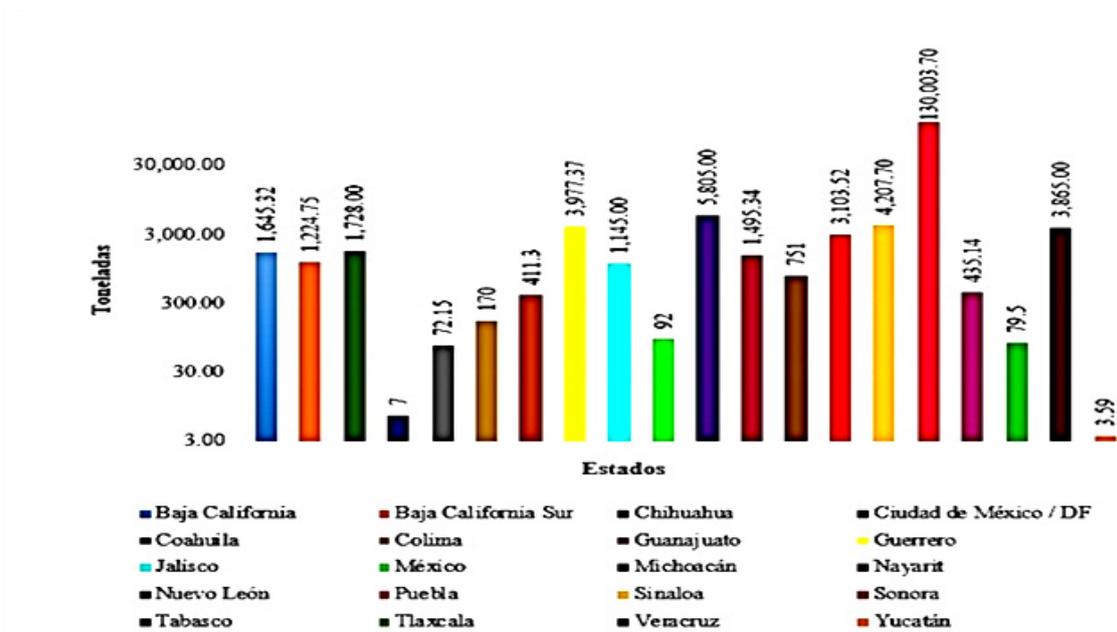


Figura 1. Producción de calabaza en México
Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP (2017)

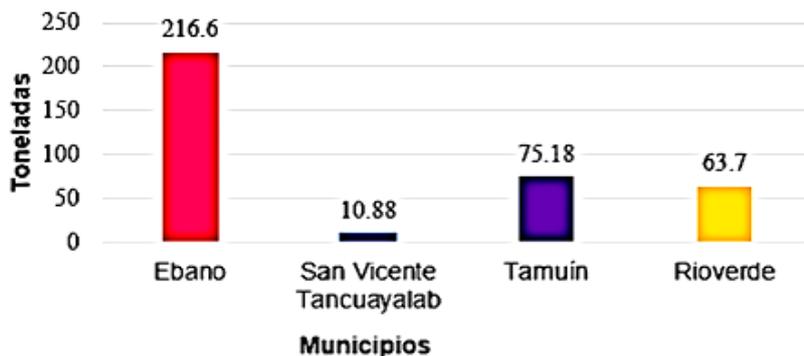


Figura 2. Producción de semillas de calabaza en municipios del Estado de San Luis Potosí
Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP (2017)



Figura 3. Semillas de calabaza de castilla con y sin cáscara, y harina de las semillas
Fuente: Elaboración propia



Figura 4. Medición del ángulo de fricción interno (μ_i) de la molienda de semillas
Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Características físicas (textura, densidad, conductividad, fricción interna) de las semillas de calabaza hedionda, calabaza de castilla con y sin cáscara

Parámetro	Muestra	Numero de criba 0.4191 (mm)	Densidad (g/cm ³)	Conductividad eléctrica (mS/m)	Fricción interna μ_i (-)
Promedio		55.96	0.37b	5.03b	0.70b
Desviación estándar	HSCCCC		0.04	0.14	0.07
Promedio		192.24	0.47c	4.09c	0.74a
Desviación estándar	HSCCSC		0.03	0.16	0.08
Promedio		101.50	0.61d	6.62a	0.51c
Desviación estándar	H SCHCC		0.03	0.02	0.07
Promedio			0.33b		0.42b
Desviación estándar	SCCCC		0.01		0.05
Promedio			0.63d		0.41b
Desviación estándar	SCCSC		0.02		0.05
Promedio			0.07a		0.44b
Desviación estándar	SCHCC		0.01		0.05
Promedio			0.67d		0.53a
Desviación estándar	CSCC		0.00		0.06

*Valores con la misma letra dentro de la columna de conductividad eléctrica son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una $p \leq 0.05$. Dónde: HSCCCC=harina de semilla de calabaza de castilla con cáscara; HSCCSC= harina de semilla de calabaza de castilla sin cáscara; H SCHCC=harina de semilla de calabaza hedionda con cáscara y SCCCC= semilla de calabaza de castilla con cáscara; SCCSC= semilla de calabaza de castilla sin cáscara; SCHCC= semilla de calabaza hedionda con cáscara; CSCC= cáscara de semilla de calabaza de castilla.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Características físicas (ancho, largo, grosor, diámetro geométrico, área superficial, específica) de las semillas de calabaza hedionda, calabaza de castilla con y sin cáscara

Parámetro	Muestra	Ancho (mm)	Largo (mm)	Grosor (mm)	Diámetro geométrico (mm)	Área superficial específica (mm ²)	Relación de aspecto (%)
Promedio	SCCCC	8.72a	21.76a	2.41b	7.68 ^a	187.21b	40.26b
Desviación estándar		0.87	2.19	0.42	0.76	37.60	3.93
Promedio	SCCSC	6.48c	18.28b	2.06c	6.21c	122.98c	35.45c
Desviación estándar		1.46	0.82	0.45	0.73	28.82	3.80
Promedio	SCHCC	7.55b	10.21c	3.52a	6.45b	131.27a	74.20a
Desviación estándar		0.66	0.81	0.49	0.42	16.84	6.39

*Valores con la misma letra dentro de la columna de promedio son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una $p \leq 0.05$; Dónde: SCCCC= semilla de calabaza de castilla con cáscara; SCCSC= semilla de calabaza de castilla sin cáscara; SCHCC= semilla de calabaza hedionda con cáscara.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Valores de la fricción externa de las semillas y sus harinas sobre diferentes materiales

Muestra	Materiales					
	Vidrio	Triplay	Lámina de acero	Vitropiso	Tabla de Madera	Tabla de plástico
	μ_e (-)	μ_e (-)	μ_e (-)	μ_e (-)	μ_e (-)	μ_e (-)
Promedio	0.29f	0.64a	0.38e	0.46d	0.51c	0.56b
Desviación Estándar	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Promedio	0.38e	0.78a	0.44d	0.49c	0.63b	0.64b
Desviación Estándar	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Promedio	0.26f	0.60a	0.36e	0.39d	0.45c	0.53b
Desviación Estándar	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Promedio	0.68b	0.76b	0.59d	0.56d	0.76b	0.82a
Desviación Estándar	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
Promedio	0.94b	0.92b	0.97a	0.92b	0.75a	0.82a
Desviación Estándar	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03
Promedio	0.93c	0.98a	0.82c	0.94a	0.86b	0.80b
Desviación Estándar	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
Promedio	0.95a	0.89c	0.92b	0.71c	0.72c	0.74c
Desviación Estándar	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01

*Valores con la misma letra dentro de las son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una $p \leq 0.05$. Dónde: SCCCC= semilla de calabaza de castilla con cáscara; SCCSC= semilla de calabaza de castilla sin cáscara; SCHCC= semilla de calabaza hedionda con cáscara; CSCC= cáscara de semilla de calabaza de castilla; HSCCCC=harina de semilla de calabaza de castilla con cáscara; HSCCSC= harina de semilla de calabaza de castilla sin cáscara; HSCHCC=harina de semilla de calabaza hedionda con cáscara.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Contenido de humedad, aceite, proteína cruda y de carbohidratos

Parámetro	Muestra	Humedad (%)	Aceite (%)	Proteína cruda (%)	Proteína soluble (%)	Carbohidratos (%)
Promedio	CSCC	0.03 b	27.79b	16.72c		4.83b
Desviación estándar		0.00	0.54	0.31		0.00
Promedio	HSCCCC	0.16a	37.74a	31.65a	31.10b	4.92b
Desviación estándar		0.04	4.17	0.36	2.33	0.04
Promedio	HSCCSC	0.13a	38.59a	31.38a	28.70b	4.12c
Desviación estándar		0.01	1.17	0.11	2.71	0.00
Promedio	HSCHCC	0.10a	0.82c	24.23b	25.03a	6.49a
Desviación estándar		0.02	0.19	0.33	1.09	0.00

*Valores con la misma letra dentro de la columna de promedio son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una ≤ 0.05 ; Dónde: CSCC= cáscara de semilla de calabaza de castilla; HSCCCC=harina de semilla de calabaza de castilla con cáscara; HSCCSC= harina de semilla de calabaza de castilla sin cáscara; HSCHCC=harina de semilla de calabaza hedionda con cáscara.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Valores de fósforo, zinc, magnesio, hierro y calcio de la semilla de calabaza

Parámetro	Muestra	Calcio (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Magnesio (mg/kg)	Hierro (mg/kg)	Fósforo (%)
Promedio	HSCHCC	17.90a	14.99c	237.29a	124.3202417c	0.51c
Desviación estándar		0.00	0	30.36	61.04912212	0.05
Promedio	HSCCCC	14.30b	44.22b	232.39a	380.4632427a	0.69b
Desviación estándar		0.57	0	57.98	31.44510573	0.07
Promedio	HSCCSC	17.57a	62.82a	224.86a	370.3927492b	0.97a
Desviación estándar		0.57	0	79.90	15.10574018	0.10

*Valores con la misma letra dentro de la columna de promedio son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una $p \leq 0.05$ Dónde: HSCCCC=harina de semilla de calabaza de castilla con cáscara; HSCCSC= harina de semilla de calabaza de castilla sin cáscara; HSCHCC=harina de semilla de calabaza hedionda con cáscara.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El cultivo de calabaza en la región de estudio ofrece la oportunidad de intensificar procesos tecnológicos e innovadores de carácter agroindustrial para alcanzar un aprovechamiento sostenible de este material biológico. El uso integral de la pulpa, cáscara y semilla, así como de sus sub-productos, tiene impacto en la industria agroalimentaria. Las características físicas y químicas de las semillas, son determinantes en la selección del tipo y especificaciones de la mecanización técnica para los procesos de transformación, agilizando y potenciando la sostenibilidad de la productividad agroindustrial, en equipamiento e insumos; agua, energía, entre otros, de la cadena de valor agregado de la semilla de calabaza.

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados. Iturbide 73, Salinas de Hidalgo. SLP, Campus S.L.P. y a la Coordinación Académica Región Altiplano Oeste de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera Salinas-Santo Domingo 200, Salinas de Hidalgo., S.L.P. por el apoyo proporcionado para garantizar la conclusión de la investigación presentada.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- AOAC. (1999). Official methods of analysis, 16th. Ed. AOAC international, MD, EE. UU. 1141 pp.
- Kachru R, Gupta R, Alam A. (1994). Physico-chemical constituents and engineering properties of food crops. 1st Ed. Scientific Publishers. 188p.
- Lowry L, Rosebrough N, Farr A, Randal R. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193:265-275. doi: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6).
- Maduako J, Faborode M. (1990). Some physical properties of cocoa pods in relation to primary processing. *Ife J Technol*, 2: 1-7.
- McCabe W, Smith J, Harriot P. (1986). Unit operations of chemical engineering. McGraw-hill. 7th Edition. 1113 p.
- Mohsenin, N. N. (1986). Physical properties of plant and animal materials. Gordon Breach Science Publishers. 2nd Editions. 758 p.
- NMX-EC-17025-IMNC. (2006). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. Recuperado el 20 de agosto de 2019, de <http://integra.cimav.edu.mx/intranet/data/files/calidad/documentos/externos/NMX-EC17025-IMNC-2006.pdf>.
- NMX-F-068-S. (1980). Determinación de proteínas en alimentos. Recuperado el 20 de agosto de 2018, de www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/nmx-f-068-s-1980.pdf.
- NMX-F-312. (1978). Determinación de reductores directos y totales. Recuperado el 20 de agosto de 2018, de <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-312-1978.PDF>.
- Rössele E, Durán H, Ortiz H. (2015). Técnicas de procesos agrícolas I: sistemática del procesamiento; corte – reducción de tamaño. Editado por el Colegio de Postgraduados. 265 p.
- Rössele E, Ortiz H, Durán H. (2016). Técnicas de procesos agrícolas II: dosificar, mezclar, cribar. Editado por el Colegio de Postgraduados. 301 p.
- Rössele E, Ortiz H, González E, Durán H. (2017). Técnicas de procesos agrícolas III: comprimir, limpiar y desinfectar, almacenar. Editado por el Colegio de Postgraduados. 305 p.
- Searchinger T, Waite R., Hanson C, Ranganathan J, Matthews E. (2018). Creating a Sustainable Food Future: a menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050. Synthesis report. World Resources Institute. Recuperado el 22 de febrero de 2022 en <https://www.wri.org/research/creating-sustainable-food-future>.
- SIAP. (2017). Producción agrícola. Recuperado el 03 de noviembre de 2018, de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>.
- Siess W. (2020). Goldene Zanziger für das 21. Jahrhundert, CITplus, 1-2. doi: <https://doi.org/10.1002/citp.202000102>.
- Vilche C, Gely M, Santalla E. (2003). Physical properties of quinoa seeds. *Biosystems Engineering*, 86(1): 59-65. Doi: [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00114-4](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00114-4).