



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

**POSGRADO EN INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS
NATURALES**

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LEGUMINOSAS Y OLEAGINOSAS PARA SU POSIBLE USO AGROINDUSTRIAL

SELENA DEL ROCIO MARTINEZ BETANCOURT

**TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

SALINAS DE HIDALGO, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

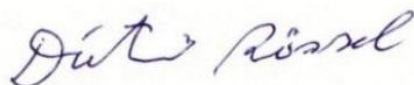
2022

La presente tesis titulada: **CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LEGUMINOSAS Y OLEAGINOSAS PARA SU POSIBLE USO AGROINDUSTRIAL** realizada por la estudiante: **SELENA DEL ROCÍO MARTÍNEZ BETANCOURT** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)




Dr. Erich Dietmar Rössel Kipping

ASESORA



Dra. Laura Araceli López Martínez

ASESOR



Dr. Víctor Manuel Ruiz Vera

ASESOR



Dr. Alejandro Amante Orozco

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, julio de 2022

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LEGUMINOSAS Y OLEAGINOSAS PARA SU POSIBLE USO AGROINDUSTRIAL

Selena del Rocio Martinez Betancourt, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

Las cáscaras de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote de frijol pinto Saltillo, generalmente son consideradas como desechos orgánicos debido al desconocimiento de sus características físicas y químicas, su potencial nutricional, medicinal y fitosanitario, así como su relevancia en el procesamiento agroindustrial. El consumo de productos funcionales y la población están aumentando a nivel mundial, por lo que resulta importante realizar investigaciones de especies no tradicionales con potencial nutricional y agroindustrial. Los objetivos de esta investigación fueron analizar las características físicas y químicas de semillas de calabaza de castilla (*Cucurbita moschata*), vainas de chícharo (*Pisum sativum*) y ejote de frijol pinto saltillo (*Phaseolus vulgaris*), así como evaluar las harinas de estas semillas y vainas. Las características físicas que se evaluaron fueron: las propiedades de tamaño, forma, gravimétricas, friccionales, de resistencia eléctrica, reológicas y mecánicas. Las características químicas: contenido de proteína cruda, grasa total, carbohidratos totales, fibra cruda, cenizas y minerales. Las vainas de chícharo y ejote tienen gran contenido de carbohidratos y fibra mientras que las semillas de calabaza son una fuente lipídica y proteica importante para el desarrollo de productos agroindustriales, además sus harinas cumplen con las especificaciones de la norma oficial mexicana para la harina de trigo por lo que se pueden utilizar en mezclas para fortificar productos. Sus características físicas y químicas permiten advertir su potencial de aprovechamiento como materia prima en harina para la obtención de alimentos y productos no alimentarios naturales, sintéticos y semisintéticos. Además, se pretende que la información esté disponible para que pueda ser utilizada para el diseño de equipos de procesamiento, control de calidad y procesos industriales automatizados, entre otros.

Palabras clave: semilla de calabaza, vaina de chícharo, ejote, características físicas y valores químicos.

**PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF LEGUMES AND OIL SEEDS
FOR THEIR POSSIBLE AGRO-INDUSTRIAL USE**
Selena del Rocío Martínez Betancourt, M. Sc.
Colegio de Postgraduados, 2022

The castilla pumpkin seed shell, pea pods and pinto Saltillo green beans are generally considered as an organic waste due to the lack of knowledge of their physical and chemical characteristics, their nutritional, medicinal and phytosanitary potential, as well as its relevance in agroindustrial production processes. The worldwide population is increasing, so it is important to carry out research on non-traditional species with nutritional and agroindustrial potential. The objectives of this research were to analyze the physical and chemical characteristics of castilla pumpkin seeds (*Cucurbita moschata*), pea pod (*Pisum sativum*) and pinto Saltillo green pods (*Phaseolus vulgaris*), as well as to evaluate the flours of these seeds and pods. Physical characteristics such as size, shape, gravimetric, frictional, electrical resistance, rheological and mechanical properties and chemical characteristics such as crude protein content, total fat, total carbohydrates, crude fiber, ashes and minerals were evaluated. Pea and green bean pods have a high carbohydrates and fiber content, while pumpkin seeds are an important lipid and protein source for the development of agroindustrial products. The flours of these materials gather the specifications of the official Mexican standard for wheat flour, therefore, they can be used in mixtures to fortify products. Its physical and chemical characteristics allow to notice its potential use as a raw material in flour to obtain natural, synthetic and semisynthetic foods and non-food products. In addition, it is intended that the information be available so that it can be used for the design of processing equipment, quality control and automated industrial processes, among others.

Key words: pumpkin seeds, green bean pods, pea pods, physical characteristics and chemical values.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México), por la beca otorgada (No. CVU: 1079008).

Al Colegio de Postgraduados, especialmente al Campus San Luis Potosí, por permitirme realizar mis estudios de postgrado y seguir creciendo en mi formación profesional.

A la Coordinación Académica Región Altiplano Oeste de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por recibirme en sus instalaciones para poder desarrollar parte del trabajo de laboratorio de esta investigación.

Al Posgrado de Innovación en Manejo de Recursos Naturales, por ser la base no solo para entender el campo en el que me he visto inmersa, sino de lo que concierne a la vida y a mi futuro.

Al Dr. Erich Dietmar Rössel Kipping, una persona de mucho respeto, por su gran apoyo en la realización del presente trabajo he podido contar con un director que ha sabido transmitirme toda su experiencia; así como por su comprensión, dedicación, la paciencia brindada hacia mi persona y, sobre todo, por su gran profesionalismo y carisma.

A la Dra. Laura Araceli López Martínez, gran persona comprometida con su trabajo, por su gran dedicación y apoyo brindado durante todo el tiempo para la conclusión del trabajo.

A los Dres. Víctor Manuel Ruiz Vera y Alejandro Amante Orozco, por la acertada orientación, paciencia, soporte y discusión crítica que me permitió un buen aprovechamiento del trabajo realizado.

Al Dr. Gerardo Loera Alvarado, por su aportación de conocimientos, recomendaciones y profesionalismo.

De igual forma un agradecimiento a mi familia y a todas las personas que fueron parte del proceso. De alguna forma, este logro también es de ellos.

DEDICATORIA

Dedicada a mis padres, María de Jesús Betancourt Marín y Juan Pablo Martínez Rivas; a mi compañero de vida, Omar; a mi hija, Lupita; a mis hermanos, Miguel, Ana, Pablo, Alejandra y Marlen; y a mis sobrinas Angie y Melisa por ser lo más importante que me dio la vida y el soporte fundamental que me ha permitido llegar hasta donde ahora me encuentro.

CONTENIDO

PORTADA.....	i
RESUMEN	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
CONTENIDO.....	vii
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ECUACIONES	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
LITERATURA CITADA.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	5
OBJETIVOS.....	21
HIPÓTESIS	22
CAPÍTULO I. USO POTENCIAL DEL CONTENIDO FÍSICO DE SEMILLAS DE CALABAZA, VAINAS DE CHÍCHARO Y EJOTE EN LA AGROINDUSTRIA 4.0.....	23
1.1 RESUMEN.....	23
1.2 ABSTRACT	24
1.3 INTRODUCCIÓN.....	25
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
1.4.1 Propiedades de tamaño y forma.....	27
1.4.2 Propiedades gravimétricas	28
1.4.3 Molienda	30
1.4.4 Propiedades friccionales	30
1.4.5 Resistencia eléctrica	31

1.4.6	Propiedades reológicas y mecánicas	31
1.4.7	Análisis estadístico	32
1.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
1.5.1	Propiedades de tamaño y forma.....	33
1.5.2	Propiedades gravimétricas	34
1.5.3	Propiedades friccionales y de resistencia eléctrica	36
1.5.4	Propiedades reológicas y mecánicas	38
1.6	CONCLUSIONES	43
1.7	LITERATURA CITADA.....	44
CAPÍTULO II. ANÁLISIS PROXIMAL Y DE COMPOSICIÓN MINERAL DE SEMILLAS DE CALABAZA DE CASTILLA (<i>C. MOSCHATA</i>), CHÍCHARO VERDE (<i>P. SATIVUM</i>) Y EJOTE (<i>P. VULGARIS</i>) PARA SU USO EN LA AGROINDUSTRIA 4.0		
2.1	RESUMEN.....	48
2.2	ABSTRACT	50
2.3	INTRODUCCIÓN.....	51
2.4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	53
2.4.1	Análisis químico proximal	54
2.4.2	Análisis de minerales en ICP-MS.....	55
2.4.3	Análisis estadístico	55
2.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
2.5.1	Composición proximal	56
2.5.2	Composición mineral de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote	58
2.5.3	Oligoelementos esenciales de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote	60

2.5.4	Oligoelementos tóxicos de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote	61
2.6	CONCLUSIONES	65
2.7	LITERATURA CITADA.....	66
	CONCLUSIONES GENERALES	69
	RECOMENDACIONES	70
	LITERATURA CITADA.....	71

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Origen de los cultivos agrícolas.....	5
Cuadro 2. Clasificación taxonómica de la calabaza de castilla, frijol pinto saltillo y chícharo.	6
Cuadro 3. Características morfológicas de la calabaza de castilla, frijol pinto saltillo y chícharo.	7
Cuadro 4. Distribución geográfica de la calabaza de castilla, frijol pinto saltillo y chícharo.	8
Cuadro 5. Producción de la semilla de calabaza, vainas chícharo y ejote en el año 2019.	9
Cuadro 6. Características físicas de semillas de calabaza de castilla y las vainas frescas de frijol pinto saltillo y chícharo.	10
Cuadro 7. Características químicas de las semillas calabaza, vainas chícharo y ejote.	11
Cuadro 8. Propiedades de tamaño y forma de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote.....	33
Cuadro 9. Propiedades gravimétricas de las semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote.....	35
Cuadro 10. Propiedades de friccionales y de resistencia eléctrica de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote.....	37
Cuadro 11. Perfil de dimensiones de harinas de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote.....	40
Cuadro 12. Perfil de textura de masas de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo, ejote y de trigo.	42
Cuadro 13. Concentración químico proximal de las semillas de calabaza, vainas de chícharo, ejote y sus subproductos.....	56
Cuadro 14. Concentración de los minerales de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote.....	59
Cuadro 15. Concentración de los oligoelementos esenciales de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote.....	60
Cuadro 16. Concentración de los oligoelementos tóxicos de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ejote de frijol pinto saltillo (<i>Phaseolus vulgaris</i>), vainas de chícharo (<i>Pisum sativum</i>) y semillas de calabaza de castilla (<i>Cucurbita moschata</i>). Fuente: Elaboración propia.	26
Figura 2. Tamizado de las harinas de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo, ejote, ajo, nopal y papa. Fuente: Elaboración propia.....	38
Figura 3. Tamaños y formas de partículas de harinas de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote. Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 4. Vainas de chícharo (<i>Pisum sativum</i>), ejote de frijol pinto saltillo (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y semillas de calabaza de castilla (<i>Cucurbita moschata</i>). Fuente: Elaboración propia.	53

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. $D_g = (L * W * T)^{\left(\frac{1}{3}\right)}$	27
Ecuación 2. $S = \pi (D_g)^2$	27
Ecuación 3. $R = 100 * W/L$	27
Ecuación 4. $\emptyset = \left(\frac{D_g}{L}\right) x100$	28
Ecuación 5. $D_a = \left(\frac{L+W+T}{3}\right)$	28
Ecuación 6. $V = \left(\frac{\pi B^2 2L^2}{6(2L-B)}\right)$	28
Ecuación 7. $\rho b = \frac{m}{V}$	28
Ecuación 8. $\rho t = \frac{mg}{Vd}$	29
Ecuación 9. $\varepsilon = \left(\frac{(\rho t - \rho b)}{\rho t}\right) x100$	29
Ecuación 10. $v = \left(\frac{m}{\rho t}\right)$	29
Ecuación 11. $\mu_i = \tan \beta = h/r$	30
Ecuación 12. $\mu_e = \tan \alpha$	30
Ecuación 13. $ITP = \sum [(FN_0 M_i) (\%DTP_i) + \dots + (FN_0 M_n) (\%DTP_n)]$	31
Ecuación 14. $\% \text{ cenizas} = \frac{\text{peso de la muestra calcinada cenizas}}{\text{peso de la muestra}} x100$	54

INTRODUCCIÓN GENERAL

En el año 2021 la población mundial era de 7,875 millones de personas y se espera que para el año 2050 aumente otros 2,000 millones (ONU, 2021). En México, la población es de aproximadamente 130 millones de personas, de la cual el 22% vive en el medio rural (INEGI, 2020). El incremento excesivo de la población demanda cada vez más recursos, lo cual afecta la biodiversidad del planeta, la salud y el bienestar de la población (Labrador, 2006). Ante este panorama, surge la necesidad de adaptar nuevas tecnologías para el manejo de las materias primas agrícolas, reducción de insumos en el proceso y el mejor aprovechamiento de la calidad y cantidad de productos alimenticios y no alimenticios.

Las características físicas y químicas de las materias primas forman parte de los componentes esenciales en el éxito de la automatización de un proceso, mediante el uso de tecnologías apropiadas que eviten pérdidas en el procesamiento y optimicen la eficacia nutricional en empresas que dirijan sus esfuerzos a la nueva era agroindustrial (Ancín, 2021).

El conocimiento de las características químicas de la materia prima empleada en las nuevas tecnologías que se aplican en la agroindustria 4.0 y en la fabricación aditiva permiten generar alimentos con el contenido adecuado de nutrientes, con textura adecuada para el producto y velocidad de digestión controlada, además de encontrar soluciones para combatir la crisis mundial de desnutrición y obesidad (Manzanal, 2016); (Castillo Morgado, 2020). Para la elaboración de maquinaria adecuada y su funcionamiento óptimo, así como generar fuentes de trabajo con la interacción hombre-máquina en los trabajos de seguridad en la industria 4.0 es importante conocer las características físicas (Pantförder *et al.*, 2009).

Las vainas de leguminosas y semillas de oleaginosas pueden contribuir a contrarrestar problemas de salud y de seguridad alimentaria, aunque también se han reportado usos medicinales, tradicionales, ceremoniales e industriales. Las semillas de las leguminosas y oleaginosas son la unidad de reproducción sexual y tienen la función de conservar y reproducir la especie, siendo uno de los elementos más eficaces para su dispersión en

tiempo y espacio (Doria, 2010). Sin embargo, éstas generalmente solo se utilizan de manera tradicional y no como materia prima en la transformación de nuevos productos con valor agregado.

Las características de las vainas con semilla, así como las semillas de leguminosas y oleaginosas permiten que sean consideradas susceptibles de insertarse en los esfuerzos globales de sostenibilidad definidos en la cuarta revolución industrial (organización digitalizada de los recursos y procesos con producción a partir de la interacción de las máquinas automatizadas y los procesos en red) (Sishi & Telukdarie, 2020), así como en la fabricación aditiva (impresión 3D).

Las semillas de leguminosas y oleaginosas se han desarrollado y domesticado particularmente en sistemas agrícolas tradicionales en Mesoamérica conocidos como “milpa”. Este es un sistema de policultivo, donde conviven cultivos de varias especies, tanto domesticadas como en proceso de domesticación, reproduciendo hasta cierto punto la diversidad de los ecosistemas naturales de plantas herbáceas y evitando grandes cargas sobre el suelo agrícola. Por ello, la milpa se considera como un sitio de preservación y formación de diversidad genética con gran importancia económica (Salazar Barrientos *et al.*, 2016). El consumo regular de estas plantas puede resultar beneficioso para la salud, por lo que han sido recomendadas para tratar algunos malestares médicos.

En México, la calabaza y el frijol se usaban principalmente antes de la llegada de los españoles, como agradecimiento a los dioses por las cosechas obtenidas durante el año (Austin & Luján, 2019). Además, por mucho tiempo se han utilizado de manera tradicional como alimento para la población y actualmente se ha iniciado su explotación industrial con fines comerciales, desde la elaboración de jabones para limpiar artículos de piel, hasta la extracción de algunas enzimas digestivas y proteolíticas para el tratamiento de aguas residuales, biocombustibles, estimulantes para la próstata y vejiga, elaboración de mermeladas, cremas, pan, conservas, mantequillas vegetales (de las semillas) y la producción de aceite comestible gourmet a partir de las semillas, entre otros usos.

En general, las leguminosas tienen un alto contenido energético, proteico y de carbohidratos complejos; mientras que las oleaginosas son ricas en ácidos grasos esenciales. Ambas poseen propiedades funcionales y aportan vitaminas y minerales, entre otros nutrientes (Herrera & Hernandez, 2019); así mismo, representan una alternativa para elaborar formulaciones con harinas de cereales en lugar de aquellas a base de materia prima de origen animal. Sin embargo, su uso se ve limitado por sus compuestos bioactivos y fitoquímicos que interfieren en el aprovechamiento de algunos nutrientes (Campos Vega *et al.*, 2010).

Las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote, constituyen una opción alimenticia y funcional en los procesos agroindustriales 4.0, si se aprovechan sus características físicas (en procesos productivos automatizados, más seguros, de mayor calidad, con menor pérdida de los recursos, menos defectos de fabricación y productos hiperpersonalizados) y sus características químicas (como fuentes minerales sustentables y en la mejora de la calidad, nutrición y prevención de posibles amenazas químicas o biológicas en alimentos y biomateriales naturales, sintéticos y semisintéticos).

LITERATURA CITADA

- Ancín, J. M. S. de V. (2021). *El plan de marketing digital en la práctica*. ESIC Editorial.
- Austin, A. L., & Luján, L. L. (2019). *El pasado indígena*. Fondo de Cultura Económica.
- Campos Vega, R., Loarca Piña, G., & Oomah, B. D. (2010). Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food Research International*, 43(2), 461-482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.004>.
- Castillo Morgado, L. D. (2020). *Tendencias y desafíos de la impresión 3D en el procesado de alimentos* [Licenciatura, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/103891/DEL%20CASTILLO%20MORGADO%20LUCIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100011

- Herrera, J., & Hernandez, C. (2019). *Investigaciones científicas y agrotecnológicas para la seguridad alimentaria*.
- INEGI. (2020). *Población. Rural y urbana*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema_P
- Labrador, A. J. P. (2006). Colapso. Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen. *Revista de Investigación en Educación*, 3, 747.
- Manzanal, M. (2016). Acumulación, crisis y la problemática del hambre y de la desnutrición en América latina. *Revista Latinoamericana de Estudios Rurales*, 1(1).
- ONU. (2021). *Población mundial | Fondo de Población de las Naciones Unidas*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.unfpa.org/es/data/world-population-dashboard>
- Pantförder, D., Vogel-Heuser, B., & Schweizer, K. (2009). Benefit and Evaluation of Interactive 3D Process Data Visualization for the Presentation of Complex Problems. In: Jacko, J.A. (eds) Human-Computer Interaction. Novel Interaction Methods and Techniques. HCI 2009. *Lecture Notes in Computer Science*, 511, 869-878. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02577-8_95
- Salazar-Barrientos, L. de L., Magaña-Magaña, M. Á., Aguilar-Jiménez, A. N., & Ricalde-Pérez, M. F. (2016). Factores socioeconómicos asociados al aprovechamiento de la agrobiodiversidad de la milpa en Yucatán. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(9), 391-400.
- Sishi, M., & Telukdarie, A. (2020). Implementation of Industry 4.0 technologies in the mining industry—A case study. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 11(1), 1-22. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2020.105852>

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen y antecedentes

En México, los cultivos agrícolas como el frijol, el chícharo y la calabaza se cultivan en todo el país (Cuadro 1) y se han utilizado desde civilizaciones antiguas hasta la actualidad, de manera tradicional para la alimentación humana, como forraje, abono para el suelo, vestimenta, arte, así como para la obtención de fibras, sustancias medicinales y materiales para la construcción. Sin embargo, estos cultivos y sus subproductos pueden ser utilizados en la agroindustria 4.0 o en procesos como en biorefinería para la industria alimentaria, para procesos químicos y (Cabello *et al.*, 2021) para procesos de fermentación industrial, donde se pueden convertir esas materias primas agrícolas en una amplia variedad de productos alimenticios, biomateriales, biocombustibles y químicos (Demain, 2007; Soetaert & Vandamme, 2006).

Cuadro 1. Origen de los cultivos agrícolas.

Especie	Origen
<i>Cucurbita moschata</i>	La especie <i>C. moschata</i> es originaria de América Latina y ha sido cultivada desde hace más de 5000 - 6000 años, en zonas de baja altitud con climas cálidos y con alta humedad, aunque en México y Colombia son cultivadas hasta los 2300 msnm (Lira, 1995; Lira & Montes, 1992).
<i>Phaseolus vulgaris L FRI-040-251104</i>	<i>Phaseolus vulgaris L FRI-040-251104</i> es una variedad mejorada de frijol denominada pinto saltillo en 2001 (el número de registro otorgado por el servicio nacional de inspección y certificación de semillas (SNICS) es 1424- fri-026-120901/c.). El frijol pinto saltillo proviene de una cruce múltiple, donde intervinieron las variedades Hidalgo 77, MAM 30, Michoacán 91A, BAT 76, BAT 93 y G5653 (INIFAP, 2001).
<i>Pisum sativum L</i>	La especie <i>P. sativum</i> tiene su origen en la región del suroeste de Asia desde hace unos 10 000 años y fue difundida hacia Europa (Meneses <i>et al.</i> , 1996). De acuerdo con (Elzebroek, 2008) los chícharos se han consumido desde hace aproximadamente 10,000 años, y se han cultivado durante 9,000 años.

Fuente: Representación propia.

Clasificación taxonómica

Cucurbita moschata pertenece al orden Dilleniidae, mientras que *Phaseolus vulgaris* L. FRI-040-251104 y *Pisum sativum* L. al orden Fabales; el Cuadro 2 presenta la posición sistemática de las especies.

Cuadro 2. Clasificación taxonómica de la calabaza de castilla, frijol pinto saltillo y chícharo.

Reino	Plantae	Plantae	Plantae
División	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida	Magnoliopsida	Magnoliopsida
Orden	Dilleniidae	Fabales	Fabales
Familia	Cucurbitaceae	Fabaceae	Fabaceae
Género	Cucurbita	Phaseolus	Pisum
Especie	<i>Cucurbita moschata</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	<i>Pisum sativum</i> L.
Nombre común	Calabaza de castilla	Frijol pinto saltillo (FRI-040-251104)	Chícharo

Fuente: Representación propia basada en Lira & Arévalo (1999); Linnaeus (1753); Vilcapoma (1991).

Características morfológicas

Los rasgos morfológicos y fenológicos son importantes para la clasificación e identificación de la planta, fruto y semilla, pues permiten diferenciar a las variedades domesticadas de calabaza de castilla, frijol pinto saltillo y chícharo; asimismo, son elementos básicos para la elaboración de máquinas para su cosecha, manejo y procesamiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características morfológicas de la calabaza de castilla, frijol pinto saltillo y chícharo.

<i>Cucurbita moschata</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> L FRI- 040-251104	<i>Pisum sativum</i> L
<p>Planta: Lóbulos foliares poco marcados. Lóbulo apical en punta. En las hojas tiene manchas blanquecinas en la unión de las nervaduras de las láminas y debajo de la epidermis de una delgada capa de aire, las hojas son aproximadamente de 21 cm. Fruto: Pedúnculo duro, poco estriado. Semillas: Semillas color castaño pardo, marginadas y apéndice truncado recto. En vista lateral presentan un lado convexo y otro ligeramente comprimido (Gaspera, 2013).</p>	<p>Planta: guías con una altura promedio de 32 cm; su grano es: de tipo pinto, de color crema claro con pintas café claro; el tamaño del grano es mediano y es altamente resistente a la oxidación (INIFAP, 2001).</p>	<p>El chícharo tiene flores de color blanco, el fruto es una vaina lineal, con una ligera curvatura, más o menos gruesa que puede contener de dos a 10 semillas. La vaina puede ser rugosa o lisa y los colores varían de verde oscuro, verde claro, blanquizco, azulado o grisáceo, y su longitud puede variar entre 4 y 12 cm, y su ancho entre 1 y 2 cm (Herrera & Hernandez, 2019).</p>

Fuente: Elaboración propia.

Las características físicas de estas especies se modifican por el efecto de diversos factores, como el origen geográfico, las propiedades del suelo, el agua y las condiciones climatológicas, entre otros. Por ejemplo, los frutos de las plantas de calabaza pueden presentar formas elipsoidales o globosas, de color blanco o verde amarillento, con manchas longitudinales irregulares verdes y con pulpa blanca o transparente (Mostacero León *et al.*, 2002). Sin embargo, sus características físicas se pueden unificar al realizar harinas, además son la base del procesamiento industrial para mejorar las materias primas.

Distribución geográfica

La distribución geográfica de la calabaza de castilla, frijol pinto saltillo y chícharo es muy diversa sobre todo por las condiciones climatológicas, las precipitaciones anuales y la altura sobre el nivel del mar (Cuadro 4).

Cuadro 4. Distribución geográfica de la calabaza de castilla, frijol pinto saltillo y chícharo.

<i>Cucúrbita moschata</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> L FRI-040-251104	<i>Pisum sativum</i> L
Se distribuye ampliamente con abundantes variedades desde el sur de México, Guatemala, Panamá, y otros países de Centroamérica hasta Colombia y Venezuela (Lira, 1995).	Se cultiva principalmente en 26 localidades de México, ubicadas en los estados de Durango, Chihuahua, Zacatecas, Jalisco, Puebla, México Aguascalientes y Coahuila. Estas localidades se encuentran situadas en un rango de altura de 1,600 a 2,200 msnm, con una precipitación de 150 a 750 mm (INIFAP, 2006).	Tiene cuatro centros de origen que han sido reconocidos por su diversidad genética: Asia central, Oriente próximo, Abisinia y el Mediterráneo (Gritton, 1980).

Fuente: Elaboración propia

Producción

La calabaza, el chícharo y el frijol pinto saltillo son utilizadas principalmente como alimento, tanto en Latinoamérica como en muchas otras regiones del mundo. En México la producción de chícharo en el año 2019 fue de 60,492.65 t (SIAP, 2019).

Los datos de producción y postcosecha en diferentes sectores confirman la alta producción agrícola del cultivo de chícharo. Por tanto, existe una alta disponibilidad de vainas de chícharo, como subproducto, lo cual aunado al interés que generan sus posibles características nutrimentales favorables justifican el estudio de sus características físicas, químicas y tecnológicas.

La alta producción de chícharos en el estado de San Luis Potosí (Cuadro 5) reafirma la importancia de aprovechar las vainas de chícharo (*P. sativum*), las semillas de calabaza de castilla con cáscara (*C. moschata*) y los ejotes (*P. vulgaris*) como materia prima en la elaboración de nuevos productos. Esto permitiría crear nuevas fuentes de empleo para pequeños productores, incrementando así sus ingresos. Por otra parte, permite aprovechar un recurso que generalmente no es usado y muchas veces es desechado, por ello es necesario un análisis detallado de estas variedades.

Cuadro 5. Producción de la semilla de calabaza, vainas chícharo y ejote en el año 2019.

Cultivo	Producción (t)	
	Nacional	San Luis Potosí
Semilla de calabaza	31,680.54	59.40
Ejote	879,404.13	8,169.03
Chícharo	60,492.65	170.10

Fuente: Representación propia basada en SIAP (2019).

Evaluación de propiedades físicas

Las propiedades físicas se pueden agrupar en aquellas que caracterizan el tamaño y la forma (longitudes características, diámetro geométrico, área superficial específica), gravimétricas (densidad aparente y real, porosidad) y friccionales (ángulo de reposo y coeficiente de fricción).

De acuerdo con Mohsenin (1986), la evaluación de las características físicas de los materiales agrícolas es importante para realizar de manera eficiente las operaciones de post-cosecha, así como en el diseño y selección del equipo para su procesamiento. Además, el tamaño de las semillas es una de las características más importantes en el diseño de la manipulación, procesamiento, almacenamiento y equipo (Aviara *et al.*, 1999).

Los estudios de las características físicas de semillas de frijol pinto saltillo son amplios en cuestión al tamaño, color y peso, entre otras. Sin embargo, los estudios de las

características físicas de las vainas frescas de frijol pinto saltillo (ejote) y vainas de chícharo son muy escasos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Características físicas de semillas de calabaza de castilla y las vainas frescas de frijol pinto saltillo y chícharo.

	<i>Semilla de Cucúrbita moschata</i>	<i>Vaina de Phaseolus vulgaris L.</i>	<i>Vaina de Pisum sativum L.</i>
Dimensiones de las semillas y vainas	Largo = 8.00 - 21.00 mm, Ancho = 5.00 - 10.15 mm, y Espesor = 2.75 - 3.03 mm (Jacobó Valenzuela <i>et al.</i> , 2011).	Largo = 129.09 ± 0.53 mm, Ancho = 71.20 ± 1.20 mm, y Espesor = 54.50 ± 0.28 mm (Aguirre Santos & Gómez Aldapa, 2010).	Largo = 7.80 ± 0.49 mm, Ancho = 6.41 ± 0.44 mm, y Espesor = 5.55 ± 0.42 mm (Yalçın <i>et al.</i> , 2007).
Forma de la semilla	Piriforme (Delgado Paredes <i>et al.</i> , 2014).	Transversalmente elíptica; romboédrica y semi-arriñonada (Valdez <i>et al.</i> , 2009).	Esférica o equidimensional (Sánchez <i>et al.</i> , 2016).
Peso de 100 semillas	15.00 ± 1.99 g (Ortiz <i>et al.</i> , 2009).	36.07 ± 0.40 g (Aguirre Santos & Gómez Aldapa, 2010).	19.10 - 26.90 g (Wang <i>et al.</i> , 2003).
Fricción interna	0.35 (Rössel Kipping <i>et al.</i> , 2018).		2.70 (40.62 ° con 75.15 % de humedad) y 1.17 (20.50 ° con 15.21 % de humedad) (Ganjloo <i>et al.</i> , 2018).
Fricción externa	0.36 en vidrio y 0.50 en tabla de madera (Rössel Kipping <i>et al.</i> , 2018).		0.59 y 0.81 en vidrio y tabla de madera respectivamente (Ganjloo <i>et al.</i> , 2018).
Tiempos de cocción	8 min a una temperatura de 90 °C (Asto Bonilla, 2019).	115.26 ± 14.71 min (Aguirre Santos & Gómez Aldapa, 2010).	51 ± 180 min (Black <i>et al.</i> , 1998).

Fuente: Representación propia.

Evaluación de características químicas

Las semillas de oleaginosas y vainas de leguminosas son de importancia en la industria por sus importantes propiedades medicinales, alimenticias e industriales. La calidad y cantidad de nutrientes es trascendental, debido a que las empresas en la actualidad buscan tener alimentos no perecederos y mercancía estable de larga vida y sin deterioro de su contenido nutricional. Además, la estructura de las especies está ligada a su función; por ello, estudiar sus características físicas y químicas permite advertir sus posibilidades de éxito en el futuro procesamiento (Peretti, 1994).

El Cuadro 7 muestra la composición química de la vaina de chícharo, la semilla de calabaza de castilla y frijol. Las tres especies son ricas en proteína, la vaina de chícharo tiene alto contenido de fibra, el ejote alto contenido de carbohidratos y la semilla de calabaza es rica en aceite. Sin embargo, también contiene otros compuestos de importancia a nivel nutricional, que se distinguen en cada especie.

Cuadro 7. Características químicas de las semillas calabaza, vainas chícharo y ejote.

Característica	<i>C. moschata</i>	<i>P. vulgaris L</i>	<i>P. sativum</i>
Humedad (%)	5.17	0.79	66.40
Proteína cruda (%)	38.20	36.33	<14.20
Fibra cruda (%)	10.00	18.60	51.00
Carbohidratos totales (%)	14.02	34.67	21.10
Grasa total (%)	47.10	1.30	2.10
Ceniza (%)	4.50	8.24	4.50

Fuente: Representación basada en Petkova & Antova (2015); Kim *et al.* (2012); Fernández Valenciano & Sánchez Chávez (2017); Mejri *et al.* (2019) y Sánchez Aceves (2014).

Tendencias en la agroindustria

Con el aumento constante de la población, el cambio climático ha evolucionado; por tanto, es necesario adaptar los sistemas agrícolas y alimentarios para que sean más resilientes, productivos y sostenibles. Lo anterior, con el fin de proveer y regular los recursos necesarios para garantizar el abastecimiento y uso eficiente de alimentos, materia prima para medicamentos, utensilios, combustible, productos químicos y fibras (FAO & IEAEA, 2018).

En los últimos años ha surgido la necesidad de aprovechar de manera adecuada los recursos naturales y materias primas renovables, como la biomasa, desplazando a los recursos fósiles. La biomasa se ha destinado al uso alimentario y como materia prima para la generación de productos químicos (Mestre, 2018). Ejemplos de esto son las aplicaciones actuales en la generación, de congelados, deshidratados, conservas, tortillas, tostadas, harinas, papillas, galletas, purés, botanas, pinturas, proteínas, papel, soya, pastas comestibles, plantillas para zapatos, enzimas digestivas, emulsificantes, entre otros. Con los nuevos desarrollos de la agroindustria 4.0 e ingeniería genética, es posible aprovechar los residuos agroindustriales y agrícolas en la producción de alimentos con alto valor nutritivo, bioenergía y productos químicos (Gutiérrez Oppe, 2020).

Progreso de los alimentos funcionales

En la actualidad, los Millennials han creado mayor conciencia para llevar una vida más sana y con calidad, por ello los productos orgánicos y alimentos funcionales están adquiriendo gran interés y han puesto en peligro a las empresas de productos procesados debido a que prefieren productos orgánicos, ecológicos y con mayor aporte nutricional (Kotler *et al.*, 2021). Esto ha atraído la atención no solo de fabricantes y comercializadores de alimentos, sino también de los consumidores.

Por ello, las prioridades de científicos, consumidores, gobiernos y fabricantes de alimentos, son promover la salud, optimizar las funciones corporales y el bienestar por medio de una alimentación adecuada y variada, así como la reducción del riesgo de sufrir ciertos trastornos relacionados con la alimentación (Weststrate *et al.*, 2002).

En este sentido, el progreso de las tecnologías aplicadas evoluciona la producción de los alimentos y sus propiedades funcionales. Por ejemplo, la utilización de las leguminosas y oleaginosas en forma de harinas con características óptimas de almacenado y procesado para que no pierdan sus propiedades funcionales, como su contenido de proteína, carbohidratos, fibra, minerales, vitaminas hidrosolubles y compuestos fenólicos.

Tecnologías aplicadas en la industria alimentaria 4.0

Actualmente, el conocimiento de las características físicas y químicas es trascendental para las tecnologías aplicadas en la Agroindustria 4.0, para lograr una progresiva y adecuada digitalización con la interconexión entre todos los elementos del proceso de creación de valor. Por ejemplo, es importante conocer las características de las materias primas y productos de escaso valor agregado para fortificarlos y crear harinas nutritivas, con una larga vida de anaquel. Algunas de las tecnologías que integran la agroindustria 4.0 son:

- **Internet de las Cosas** (Internet of Things, IoT): Red de objetos físicos conectados a través de internet, permitiendo a los objetos conectarse entre sí, creando ambientes cada vez más conectados e inteligentes (Muñoz, 2019).
- **Sistemas Ciber-Físicos** en procesos industriales esta tecnología establece necesidades específicas de seguridad en la información, para alcanzar niveles de transmisión de información eficientes, implementando diversos protocolos, y así determinar su funcionalidad en el campo industrial (Llamuca Supe, 2020).
- **Nanotecnología:** Tecnología que manipula la materia para producir a micro-escala, para alertar a los fabricantes y consumidores del control del empaquetado y control de calidad de los productos. Esta tecnología produce cambios de color por temperatura o radiación o cambios al expirar el producto, alertando a los fabricantes durante el proceso de fabricación y, en última instancia, al consumidor final (Hassan, 2005).
- **Fabricación aditiva,** Tecnología cada vez más común en diversas aplicaciones de ingeniería. La fabricación aditiva muestra grandes oportunidades en la industria alimentaria, desde realizar diseños alimentarios complejos hasta la preparación

automatizada de comidas personalizadas; mediante la reducción del tamaño de los productos alimenticios mediante cartuchos de comida deshidratada con una caducidad de hasta 30 años. La impresión 3D promete muchas innovaciones en el sector de la fabricación de alimentos. Sin embargo, su uso es limitado debido a la necesidad de comprender mejor las capacidades de almacenamiento, conservación y fabricación de diferentes materiales alimentarios y las preferencias de los usuarios para las impresiones 3D de alimentos (Chirico Scheele *et al.*, 2020).

- **Tecnología de transgénicos u Organismos Modificados Genéticamente (OMG):** Ésta consiste en la manipulación genética especial de alimentos, eliminando o añadiendo genes de la misma especie o de otras distintas. Los OMG ofrecen el potencial de aumentar la productividad agrícola, incrementar el valor nutricional, reducir el uso de agroquímicos, y propiciar una mayor sostenibilidad de los cultivos y seguridad alimentaria. También posibilitan el desarrollo de nuevos alimentos con nuevas propiedades para cubrir amplias necesidades en el futuro (Barros Fernández, 2014).
- **Nutrigenómica y nutrigenética:** La nutrigenómica estudia los efectos de los componentes de la dieta sobre la modulación de la expresión génica de un individuo, mientras que la nutrigenética es el estudio de la expresión de los genes en respuesta a nutrientes específicos. Estas ciencias son importantes en la nueva nutrición personalizada en aplicaciones médicas donde se generan kits específicos para la enfermedad diagnosticada; se manejan dietas moleculares con el cálculo adecuado y la distribución de nutrientes correspondiente, teniendo en cuenta la dosis adecuada, la cultura y el estilo de vida del paciente (Tapia Rivera, 2016).
- **Tecnología de espectroscopia de imágenes THz:** Tecnología que se utiliza para identificar y diferenciar materia extraña de los alimentos procesados (Infantes Otero, 2022).
- **Computación en la Nube:** Sistema para el procesamiento y acceso a recursos digitales compartidos a través de Internet.

Otras tecnologías son la robótica colaborativa que utiliza robots industriales colaborando con trabajadores humanos: la bioinformática que aplica tecnologías computacionales y la estadística a la gestión y el análisis de los datos biológicos; la biotecnología que incluye investigación y desarrollo de sustancias bioactivas y alimentos funcionales, manejo de enfermedades, manejo ambiental y bioseguridad; entre muchas otras tecnologías.

Normatividad

La industria 4.0 muestra en la actualidad un creciente interés en los residuos de leguminosas, cereales y oleaginosas, entre otros residuos orgánicos, no tanto por su valor nutritivo sino por las excelentes propiedades físico mecánicas y químicas de las harinas preparadas con estos residuos. Estas propiedades sobresalientes se conservan durante el almacenamiento y procesamiento agroindustrial. Por tanto, es necesario que las harinas cumplan con los estándares establecidos en la Norma Oficial Mexicana NMX-F-007-1982.

NMX-F-007-1982. Alimento para humanos. Harina de trigo. Foods for humans. Wheat flour. Normas mexicanas. Dirección general de normas.

Las especificaciones que se establecen en esta Norma solo podrán satisfacerse cuando en la elaboración del producto, se utilicen materias primas de calidad sanitaria, se apliquen buenas técnicas de elaboración, se realicen en locales e instalaciones bajo condiciones higiénicas, que aseguren que el producto es apto para el consumo humano, de acuerdo con el Código Sanitario de los Estados Unidos Mexicanos, sus Reglamentos y demás disposiciones de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

Por ello, para poder utilizar las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote como materia prima en la elaboración de harinas con características similares a las del trigo y que se puedan utilizar en diversos productos es importante que cumpla con la norma antes mencionada, así como conocer sus características físicas y químicas.

LITERATURA CITADA

- Aguirre Santos, E. A., & Gomez Aldapa, C. A. (2010). *Evaluación de las características fisicoquímicas en la especie de frijol Phaseolus vulgaris de las variedades; Pinto Saltillo, Bayo Victoria y Negro San Luis*. 8. https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_FisicAlim/Carlos_Aldapa/4.pdf
- Asto Bonilla, L. M. (2019). Evaluación del contenido de fitoesteroles, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en la harina de semilla de calabaza (*Cucurbita ficifolia*). *Universidad Nacional del Centro del Perú*. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5177>
- Aviara, N. A., Gwandzang, M. I., & Haque, M. A. (1999). Physical properties of Guna seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021863498903742>
- Barros Fernández, P. (2014). *Organismos modificados genéticamente en la alimentación humana* [Licenciatura, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/6721>
- Black, R. G., Brouwer, J. B., Meares, C., & Iyer, L. (1998). Variation in physico-chemical properties of field peas (*Pisum sativum*). *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096399699800057X>
- Cabello, M. C., Dorado Pérez, ma del pilar, & Pinzi, S. (2021). Las grandes aliadas para una cadena alimentaria sostenible. *Distribucion y consumo*, 1, 8.
- Chirico Scheele, S., Binks, M., & Egan, P. F. (2020). *Design and Manufacturing of 3D Printed Foods with User Validation*. ASME 2020 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. <https://doi.org/10.1115/DETC2020-22462>
- Delgado Paredes, G. E., Rojas Idrogo, C., Sencie Tarazona, Á., & Vásquez Núñez, L. (2014). Caracterización de frutos y semillas de algunas cucurbitáceas en el norte del Perú. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(1), 7-20.
- Demain, A. (2007). Reviews: The business of biotechnology. *Industrial Biotechnology*, 3, 269-283. <https://doi.org/10.1089/ind.2007.3.269>
- Elzebroek, A. T. G. (2008). *Guide to cultivated plants*. In: *Koop Wind* (CABI Series). <http://books.google.fr/books?id=YvU1XnUVxFQC>

- FAO & IEAEA. (2018). *Resiliencia y adaptación al cambio climático*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; IAEA. <https://www.iaea.org/es/temas/resiliencia-y-adaptacion-al-cambio-climatico>
- Fernández Valenciano, A. F., & Sánchez Chávez, E. (2017). Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova scientia*, 9(18), 133-148. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.763>
- Ganjloo, A., Bimakr, M., Zarringhalami, S., Jalili-Safaryan, M., & Ghorbani, M. (2018). Moisture-dependent physical properties of green peas (*Pisum sativum* L.). *International Food Research Journal*, 25(3), 1246-1252.
- Gaspera, P. D. (2013). *Manual del cultivo del zapallo anquito (Cucurbita moschata DUCH.)*. La Consulta.
- Gritton, E. T. (1980). Field Pea. En *Hybridization of Crop Plants* (pp. 347-356). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2135/1980.hybridizationofcrops.c23>
- Gutierrez Oppe, E. E. (2020). *Modelo de gestión sustentable de residuos agroindustriales para la producción de químicos en biorefinerías en Arequipa* [Licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/12988>
- Hassan, M. H. A. (2005). Nanotechnology. Small things and big changes in the developing world. *Science*, 309, 65-66. <https://doi.org/10.1126/science.1111138>
- Herrera, J., & Hernandez, C. (2019). *Investigaciones científicas y agrotecnológicas para la seguridad alimentaria*.
- Infantes Otero, L. A. (2022). *Aplicación de la espectroscopia THz en el Análisis no Invasivo de Alimentos: Una revisión* [Licenciatura, Universidad Nacional de Frontera]. <http://repositorio.unf.edu.pe/handle/UNF/133>
- INIFAP. (2001). *Pinto Saltillo: nueva variedad de frijol para el sureste del estado de Coahuila*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/678.pdf>
- INIFAP. (2006). *Pinto Saltillo, nueva variedad de frijol para el altiplano de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/208.pdf>

- Jacobo Valenzuela, N., Maróstica Junior, M., Zazueta Morales, J., & Gallegos Infante, J. (2011). Physicochemical, technological properties, and health-benefits of *Cucurbita moschata* Duchense vs. *Cehualca* A Review. *Food Research International*, 44, 2587-2593. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.039>
- Kim, M. Y., Kim, E. J., Kim, Y.-N., Choi, C., & Lee, B. H. (2012). Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (*Cucurbitaceae*) species and parts. *Nutrition Research and Practice*, 6(1), 21-27. <https://doi.org/10.4162/nrp.2012.6.1.21>
- Kotler, P., Kartajaya, H., & Setiawan, I. (2021). *Marketing 5.0: Tecnología para la humanidad*. LID Editorial.
- Linnaeus, C. (1753). *Species Plantarum. La primera Flora de la taxonomía moderna* (Vol. 2). Universidade de Vigo.
- Lira, R., & Arévalo, I. R. (1999). Cucurbitaceae. *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán*, 22, 5-61.
- Lira, S. R. (1995). *Estudios taxonomicos y ecogeograficos de las Cucurbitaceae Latinoamericanas de importancia economica*. Rome (Italy) IPGRI.
- Lira, S. R., & Montes, H. S. (1992). *Cultivos marginados otra perspectiva de 1492. La agricultura en mesoamérica. Cucurbita (Cucurbita spp)*. Cultivos Andinos-FAO. <https://www.fao.org/3/t0646s/t0646s.pdf>
- Llamuca Supe, E. S. (2020). *AMQP empleado en procesos industriales basados en sistemas Ciber físicos de producción*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/30753>
- Mejri, F., Ben Khoud, H., Njim, L., Baati, T., Selmi, S., Martins, A., Serralheiro, M. L. M., Rauter, A. P., & Hosni, K. (2019). In vitro and in vivo biological properties of pea pods (*Pisum sativum* L.). *Food Bioscience*, 32, 100482. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100482>
- Meneses, R., Waaijenberg, H., & Piérola, L. (1996). *Las leguminosas en la agricultura Boliviana, Revisión de información*. <https://research.wur.nl/en/publications/las-leguminosas-en-la-agricultura-boliviana-revisi%C3%B3n-de-informaci>
- Mestre, M. V. (2018). Bioeconomía: El diseño de un cambio de rumbo. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, 125, 18.
- Mohsenin, N. N. (1986). Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. En *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. (Vol. 31, p. 702). Gordon and Breach Science Publishers. <https://doi.org/10.1002/food.19870310724>
- Mostacero León, J., Mejia Coico, F. R., & Gamarra Torres, O. (2002). *Taxonomía de las fanerógamas útiles del Perú*. Concytec
- Muñoz, O. Q. (2019). Internet de las Cosas (IoT). ibukku, LLC.

- Muñoz, O. Q. (2019). *Internet de las Cosas (IoT)*. ibukku, LLC.
- NMX-F-007. (1982). *Alimento para humanos. Harina de trigo. Foods for humans. Wheat flour*. Dirección general de normas. Dirección general de Normas Mexicanas.
http://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-F-007-1982_harina_de_trigo.pdf
- Ortiz Grisales, S., Pasos López, S. C., Rivas Abadía, X. C., Valdés Restrepo, M. P., & Vallejo Cabrera, F. A. (2009). Extracción y caracterización de aceite de semillas de zapallo. *Acta Agronómica*, 58(3), 145-151.
- Peretti, A. (1994). *Manual para análisis de semillas*. Hemisferio Sur.
- Petkova, Z., & Antova, G. (2015). Changes in the composition of pumpkin seeds (*Cucurbita moschata*) during development and maturation. *Grasas y Aceites*, 66(1), e058. <https://doi.org/10.3989/gya.0706142>
- Rössel Kipping, D., Ortiz Laurel, H., Amante Orozco, A., Durán García, H. M., & López Martínez, L. A. (2018). Características físicas y químicas de la semilla de calabaza para mecanización y procesamiento. *Nova scientia*, 10(21), 61-77. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1467>
- Sánchez Aceves, L. M. (2014). "Inclusión de proteína de chícharo en el desarrollo de alimentos funcionales de panificación (pan de caja)" [Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/14732>
- Sánchez, D. M., Ruiz, L. T., & Suárez, O. J. (2016). Evaluación de la forma, redondez, esfericidad y ecuantidad en granos comerciales de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) y arveja (*Pisum sativum*). *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 3(1), 5-17. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2016v3n1.001>
- SIAP. (2019). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Soetaert, W., & Vandamme, E. (2006). The impact of industrial biotechnology. *Biotechnology Journal*, 1(7-8), 756-769. <https://doi.org/10.1002/biot.200600066>
- Tapia Rivera, J. C. T. (2016). *Nutrigenómica y Nutrigenética para nutricionistas*. 17(1), 6.
- Valdez, I., Acosta Gallegos, J., Ibarra Pérez, F., Rosales Serna, R., & Robles, E. (2009). *Pinto Saltillo: variedad mejorada de frijol para el Estado de Durango (1a. Ed.)*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Vilcapoma, G. (1991). *Manual de Botánica Sistemática*. (Vol. 2). 22.
- Wang, N., Daun, J. K., & Malcolmson, L. J. (2003). Relationship between physicochemical and cooking properties, and effects of cooking on antinutrients, of yellow field peas (*Pisum sativum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(12), 1228-1237. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1531>

- Weststrate, J. A., Poppel, G. van, & Verschuren, P. M. (2002). Functional foods, trends and future. *British Journal of Nutrition*, 88(S2), S233-S235.
<https://doi.org/10.1079/BJN2002688>
- Yalçın, İ., Özarslan, C., & Akbaş, T. (2007). Physical properties of pea (*Pisum sativum*). *Journal of Food Engineering*, 79(2), 731-735.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.039>

OBJETIVOS

Objetivo general

Caracterizar las propiedades físicas y químicas de las semillas con cáscara de calabaza de castilla (*Cucurbita moschata Duschesne ex Poir.*), vainas completas de chícharo (*Pisum sativum L.*) y ejote de frijol pinto saltillo (*Phaseolus vulgaris L.*) para usos en la agroindustria 4.0 y otros usos de importancia socioeconómica.

Objetivos específicos

1. Medir las propiedades físicas (largo, ancho, grosor, diámetro geométrico, área superficial específica, relación de aspecto, esfericidad, diámetro medio aritmético, volumen, peso, porosidad, densidad aparente, densidad real, volumen poroso, fricción interna, fricción externa, resistencia eléctrica, análisis granulométrico, índice de tamaño de partícula, tamaño de partícula, textura, firmeza y molienda) de las semillas con cáscara de calabaza de castilla (*C. moschata Duschesne ex Poir.*), vainas completas de chícharo (*P. sativum L.*) y ejote de frijol pinto saltillo (*P. vulgaris L.*).
2. Determinar las propiedades químicas (contenido de proteína cruda, grasa total, carbohidratos totales, fibra cruda, cenizas y minerales) de las harinas de las semillas con cáscara de calabaza de castilla, vainas completas de chícharo y ejote de frijol pinto saltillo.

HIPÓTESIS

El conocimiento de las características físicas y químicas de residuos como las cáscaras de las semillas con cáscara de calabaza de castilla (*Cucurbita moschata* Duplicates ex Poir.), vainas completas de chícharo (*Pisum sativum* L.) y ejote de frijol pinto saltillo (*Phaseolus vulgaris* L.) permite identificar un uso potencial en la agroindustria 4.0 de México y el mundo, en la creación de alimentos y biomateriales, naturales, semisintéticos y sintéticos.

CAPÍTULO I. USO POTENCIAL DEL CONTENIDO FÍSICO DE SEMILLAS DE CALABAZA, VAINAS DE CHÍCHARO Y EJOTE EN LA AGROINDUSTRIA 4.0

1.1 RESUMEN

Las cáscaras de semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote, generalmente son consideradas como desechos orgánicos debido al desconocimiento de sus características físicas, nutricionales, medicinales y su relevancia en producción agroindustrial. El consumo de productos funcionales, sintéticos y semisintéticos está aumentando a nivel mundial, lo que resalta la necesidad de realizar investigaciones de especies no tradicionales con potencial agroindustrial. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue analizar las características físicas de semillas de calabaza de castilla (*Cucurbita moschata*), vainas de chícharo (*Pisum sativum*) y ejote de frijol pinto saltillo (*Phaseolus vulgaris*), para identificar su uso potencial en la agroindustria 4.0. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) en la mayoría de las características entre las semillas y vainas, debido a que son de diferentes especies. Las vainas de chícharo presentaron mayor ancho (11.71 mm) y grosor (9.19 mm), el largo mayor fue encontrado en el ejote (125.18 mm), mientras que las semillas de calabaza presentaron los valores más bajos en estas tres variables. La harina de semillas de calabaza presentó mayor fricción interna (0.98) y mayor fricción externa sobre madera (1.32) al igual que la harina de vainas de chícharo (1.33) sobre este material. En contraste, los valores medios del porcentaje de deformación según dureza, el trabajo recuperable y la longitud de la muestra no presentaron diferencia estadística ($p > 0.05$) entre las masas. La harina de semillas de calabaza cumple con las especificaciones de la norma mexicana para la harina de trigo grado III, mientras que las harinas de ejote y vainas de chícharo se ubican en el grado II. Estas harinas se pueden utilizar en mezclas para fortificar los productos o para la elaboración de máquinas de carácter industrial para el procesamiento físico, mecánico y técnico unificado de la materia prima.

Palabras clave: Características físicas, harinas, *Cucurbita moschata*, *Pisum sativum*, *Phaseolus vulgaris*.

CHAPTER I. POTENTIAL USE OF THE PHYSICAL CONTENT OF PUMPKIN SEEDS, PEA PODS AND BEAN IN AGROINDUSTRY 4.0

1.2 ABSTRACT

Pumpkin seed shells, pea pods and green beans are generally considered organic waste due to the lack of knowledge of their physical, nutritional, and medicinal characteristics and their relevance to Agroindustrial production. The consumption of functional, synthetic and semi-synthetic products is increasing worldwide, which highlights the need to carry out research on non-traditional species with Agroindustrial potential. Therefore, the objective of this research was to analyze the physical characteristics of castilla pumpkin seeds (*Cucurbita moschata*), pinto Saltillo bean pods (*Phaseolus vulgaris*) and pea pods (*Pisum sativum*). To identify its potential use in agribusiness 4.0. A significant difference ($p < 0.05$) was found in most of the characteristics between the seeds and pods, since they are from different species. Pea pods had greater width (11.71 mm) and thickness (9.19 mm). The greatest length was found in green bean pods (125.18 mm), while pumpkin seeds had the lowest values in these three variables. Pumpkin seed flour presented higher internal friction (0.98) and higher external friction on wood (1.32) as well as pea pod flour (1.33) on this material. In contrast, the average values of the percentage of deformation according to hardness, the recoverable work and the length of the sample did not present a statistical difference ($p > 0.05$) among the masses. The pumpkin seed flour meets the specifications of the Mexican standard for the grade III wheat flour, while bean and pea pod flour are located at grade II. These flours can be used in mixtures to fortify the products or for the elaboration of industrial machines for the unified physical, mechanical and technical processing of the raw material.

Keywords: Physical characteristics, flours, *Cucurbita moschata*, *Pisum sativum*, *Phaseolus vulgaris*.

1.3 INTRODUCCIÓN

En 2021, la población mundial fue de 7,875 millones de personas y se espera que para 2050 aumente otros 2,000 millones (ONU, 2021). En México, la población es de aproximadamente 130 millones, de la cual el 22 % vive en el medio rural (INEGI, 2020). El incremento excesivo de la población demanda cada vez más recursos lo cual afecta la biodiversidad del planeta, la salud y el bienestar de la población (Labrador, 2006). Ante este panorama, surge la necesidad de adaptar nuevas tecnologías agroindustriales para el manejo de las materias primas, reducción de insumos en el procesamiento y el mejor aprovechamiento de la calidad y cantidad de productos alimenticios, no alimenticios, naturales y sintéticos.

Las características físicas de las materias primas forman parte de los componentes esenciales en el éxito de la automatización de un proceso, mediante el diseño de equipos para manipular, transportar, procesar y almacenar el producto (Ganjloo *et al.*, 2018). La materia prima empleada en las nuevas tecnologías que se aplican en la Agroindustria 4.0 permite generar alimentos con el contenido adecuado de nutrientes y textura determinada (Bradfield *et al.*, 2012). Por lo que es importante conocer las características físico mecánicas para el diseño y/o selección de maquinaria adecuada, bajo un funcionamiento y mantenimiento óptimo, ya que el equipo de producción debe operar de acuerdo con especificaciones, para una producción con un alto nivel de calidad y un uso adecuado de tecnologías para evitar las pérdidas en los procesos de transformación.

Las vainas de leguminosas y semillas de oleaginosas pueden contribuir a contrarrestar los problemas de salud y de seguridad alimentaria, ya que las leguminosas tienen un alto contenido energético, proteico y de carbohidratos complejos; mientras que las oleaginosas son ricas en ácidos grasos esenciales. Ambas aportan vitaminas y minerales, entre otros nutrientes (Galan *et al.*, 2019). El uso de estas vainas y semillas se inserta en los esfuerzos globales de sostenibilidad definidos en la cuarta revolución industrial y en la fabricación aditiva (impresión 3D). Además, estos productos constituyen una opción alimenticia y funcional en los procesos agroindustriales 4.0 al aprovechar sus características físicas en procesos productivos automatizados, más seguros, de mayor calidad, con menor pérdida de los recursos, menos defectos de fabricación y productos

híper-personalizados, sin embargo, solo se utilizan de manera tradicional. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue caracterizar las propiedades físicas de harinas elaboradas con semillas de calabaza con cáscara, vainas de chícharo y ejote con el fin de identificar un posible uso en procesos agroindustriales, mejorar el aprovechamiento de residuos orgánicos e identificar un uso potencial en la agroindustria 4.0 de México y el mundo, en la creación de alimentos y biomateriales naturales, semisintéticos y sintéticos.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron las propiedades físicas de las semillas de calabaza de castilla (*C. moschata*), vainas de chícharo (*P. sativum*) y ejote de frijol pinto saltillo (*P. vulgaris*) y físico-mecánicas de las harinas elaboradas con estos productos. Las muestras fueron obtenidas al azar de una parcela en El Zacatón municipio de Villa de Ramos, S. L. P., y del Ejido de Moras, Mexquitic de Carmona, S.L.P., durante el mes de julio del año 2021 (Figura 1).



Figura 1. Ejote de frijol pinto saltillo (*Phaseolus vulgaris*), vainas de chícharo (*Pisum sativum*) y semillas de calabaza de castilla (*Cucurbita moschata*). Fuente: Elaboración propia.

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Agua-Suelo-Planta del Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados (22°63'22" N y 101°71'25" O) y en el

Laboratorio 2 de la Coordinación Académica Región Altiplano Oeste (CARAO) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (22°38'28.5"N y 101°42'10.0"O).

1.4.1 Propiedades de tamaño y forma

1.4.1.1 Dimensiones

El tamaño de las semillas y vainas fue determinado con un calibrador digital de 0.1 mm de precisión (Karlen®, México) mediante la medición de sus dimensiones: largo (L), ancho (W) y grosor (T), a partir de 50 semillas/vainas de cada especie seleccionadas al azar.

1.4.1.2 Diámetro geométrico

El diámetro geométrico (D_g) de una semilla o vaina individual fue calculado a partir de las tres dimensiones características, de acuerdo con la siguiente ecuación (Mohsenin, 1986):

$$D_g = (L * W * T)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \quad (1)$$

donde: D_g = Diámetro geométrico; L = Largo; W = Ancho; T = Grosor.

1.4.1.3 Área superficial específica

El área superficial específica (S) fue determinada a partir del diámetro geométrico, según la siguiente ecuación (McCabe *et al.*, 1986):

$$S = \pi (D_g)^2 \quad (2)$$

donde: S = Área superficial específica; $\pi = 3.1416$; D_g = Diámetro geométrico.

1.4.1.4 Relación de aspecto

La relación de aspecto (R) fue calculada a partir de las dimensiones ancho y largo (Maduako & Faborode, 1994).

$$R = 100 * W/L \quad (3)$$

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

1.4.1.5 Esfericidad

La esfericidad fue determinada de acuerdo con la ecuación de Mohsenin (1986):

$$\emptyset = \left(\frac{D_g}{L}\right) \times 100 \quad (4)$$

donde: \emptyset = Esfericidad; D_g = Diámetro geométrico; L = Largo.

1.4.1.6 Diámetro medio aritmético

El diámetro medio aritmético fue calculado a partir de las tres dimensiones características usando la relación de Mohsenin (1986):

$$D_a = \left(\frac{L+W+T}{3}\right) \quad (5)$$

donde: D_a = Diámetro medio aritmético; L = Largo; W = Ancho; T = Grosor.

1.4.1.7 Volumen

El volumen fue determinado mediante la siguiente fórmula (Jain & Bal, 1997):

$$V = \left(\frac{\pi B^2 2L^2}{6(2L-B)}\right) \quad (6)$$

donde: V = Volumen; $B = (WT)^{1/2}$; L = Largo; W = Ancho; T = Grosor; $\pi = 3.1416$.

1.4.2 Propiedades gravimétricas

1.4.2.1 Densidad aparente

La densidad aparente en volumen (ρ_b) fue determinada considerando el principio del método 55-10.01 (AACC Int, 2000), mediante la relación entre la masa de las semillas y vainas (g) y el volumen de la medida de capacidad (500 cm³). El recipiente sugerido en el método oficial se sustituyó por un vaso de precipitado. Las mediciones fueron realizadas por triplicado, colocando 500 cm³ de la muestra en un vaso de precipitado previamente tarado, pesado en una balanza analítica de la marca OHAUS, modelo H-7294 (precisión 0.01 g, EE. UU). La densidad aparente (ρ_b) se calculó con la siguiente fórmula (Bhiese *et al.*, 2014):

$$\rho_b = \frac{m}{V} \quad (7)$$

donde: ρ_b = Densidad aparente o densidad en volumen reportada en g/cm³; m = Peso de la muestra en g; V = Volumen ocupado por la muestra en mL.

1.4.2.2 Densidad real

La densidad real (ρt) se determinó siguiendo el método propuesto por Babić *et al.* (2011) y se reportó el valor promedio de 3 repeticiones.

$$\rho t = \frac{mg}{Vd} \quad (8)$$

donde: ρt = Densidad real en g/cm^3 ; mg = Peso del grano en g; Vd = Volumen de desplazamiento del grano en mL.

1.4.2.3 Porosidad

El porcentaje de porosidad (ε), fue evaluado a partir de 3 repeticiones siguiendo la siguiente relación (Mohsenin, 1986):

$$\varepsilon = \left(\frac{(\rho t - \rho b)}{\rho t} \right) \times 100 \quad (9)$$

donde: ε = Porosidad; ρt = Densidad real; ρb = Densidad aparente.

1.4.2.4 Volumen poroso

El volumen (V ; mL) se determinó mediante 3 repeticiones a 1 semilla/vaina y 500 gr de semillas/vainas, a partir de la siguiente relación (Orhan & Sener, 2002):

$$v = \left(\frac{m}{\rho t} \right) 10^3 \quad (10)$$

donde: V = Volumen; m = Masa de una semilla/vaina (g); ρt = Densidad real.

1.4.2.5 Peso

El peso individual y de 1000 semillas o vainas evaluadas se determinó individualmente en una balanza analítica de la marca OHAUS Explorer Pro. (precisión 0.0001 g, EE. UU), con tres y diez determinaciones experimentales para el peso de 1000 semillas o vainas y peso individual de semillas, respectivamente registrando su peso en gramos (g). Esta determinación se realizó por triplicado y se reportó el peso promedio (Vilchis Velazquez, 2019).

1.4.3 Molienda

Para elaborar las harinas, las semillas y vainas fueron sometidas a un proceso de molienda en un molino coloidal a escala de laboratorio (Thomas Scientific®, modelo Wiley Mini-Mill 3383-L10, 115 V, 60 HZ, EE. UU), de dos cuchillas estacionarias y un rotor con cuatro filos, con la finalidad de obtener harinas con un tamaño de partícula más uniforme.

1.4.4 Propiedades friccionales

1.4.4.1 Fricción interna

La fricción interna (μ_i) fue determinada utilizando un embudo de plástico con tapa inferior removible (Weston®, modelo W-70945, México), el cual se llenó con las harinas, semillas o vainas. Luego se quitó la tapa permitiendo a las harinas, semillas y vainas conseguir su inclinación natural. El ángulo de reposo fue calculado (midiendo previamente el radio y la altura de la masa de las harinas) con la siguiente ecuación (Dutta *et al.*, 1988):

$$\mu_i = \tan \beta = h/r \quad (11)$$

donde: μ_i = Fricción interna; h = Altura del cono formado; r = Radio del cono.

1.4.4.2 Fricción externa

La fricción externa (μ_e) de las harinas, semillas y vainas fue determinada sobre una placa de diferentes materiales (tabla de madera, cristal de vidrio, azulejo, triplay y tabla de plástico de polietileno, chapa galvanizada y acero inoxidable), para ello se colocaron 40 g de harina sobre la placa y se inclinó gradualmente hasta lograr el deslizamiento completo de la muestra. En esta posición, el ángulo de inclinación fue medido con un transportador de plástico (ULINE® modelo H-5648, México), según la siguiente ecuación:

$$\mu_e = \tan \alpha \quad (12)$$

donde: μ_e = Fricción externa; $\tan \alpha$ = Ángulo de inclinación.

1.4.5 Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica fue medida con un multímetro digital de gancho (Truper®, modelo MUT-202, México) en una solución de harina y agua destilada o agua desionizada en una relación 30:70. Para ello, 15 g de harina fueron disueltos en 35 mL de agua, posteriormente, las terminales de un multímetro fueron colocadas con una separación de 5 cm, durante 30 s.

1.4.6 Propiedades reológicas y mecánicas

1.4.6.1 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico de las harinas de las semillas de calabaza de castilla (*C. moschata*), vainas de frijol pinto saltillo verde (*P. vulgaris*) y vainas de chícharo (*P. sativum*) fue realizado con ayuda de un agitador (Ro-Tap®, W. S. Tyler™, EE. UU). Para ello, 200 g de cada harina e individualmente fueron colocados en un juego de tamices (Alcón®, México) y agitados durante 5 min. Finalmente, las fracciones de harinas retenidas en cada tamiz fueron pesadas. Esta operación se realizó por duplicado.

1.4.6.2 Índice del tamaño de partícula

El índice del tamaño de partícula fue determinado de acuerdo con el método reportado por Bedolla & Rooney (1984), con la siguiente fórmula:

$$ITP = \sum [(FN_0M_i) (\%DTP_i) + \dots + (FN_0M_n) (\%DTP_n)] \quad (13)$$

donde: ITP = Índice del tamaño de partícula; FN₀M = Factor de número de malla; DTP = Distribución del tamaño de partícula (%). Cada factor utilizado depende del número de la serie de tamices U.S. (el factor 0.2 para la malla No. 20; 0.4 malla No. 40; 0.6 malla No. 60; 0.8 malla No. 80; 1.0 malla No. 100 y fondo) y el % de retención de cada malla fue obtenido como se menciona en el análisis de distribución del tamaño de partícula.

1.4.6.3 Propiedades morfológicas

Las propiedades morfológicas de las partículas de harinas fueron determinadas mediante análisis de imágenes digitales. Para ello, muestras de harina en cada tamaño de malla fueron colocadas en un microscopio digital (MUSTOOL®, MT315 de 7 pulgadas con lente Dual, HD, China), usando como fondo hojas de papel milimétrico. Las variables

morfológicas se midieron mediante la delimitación manual de la partícula en la imagen digital con el software ImageJ® (64-bit versión 1.8.0_172) de libre distribución.

La textura de las masas de cada harina fue determinada con un analizador de textura (Brookfield®, modelo CT3, China), para ello se elaboró una mezcla de 4.5 g de harina y 2.5 mL de agua destilada. La mezcla fue amasada durante 5 min, posterior a ello fue moldeada manualmente en forma de cubo de aproximadamente 2 cm por lado. La textura fue determinada con base en la Dureza (g), Deformación según dureza (mm), % Deformación según dureza (%), Trabajo dureza terminado (mJ), Deformación recuperable (mm), Trabajo recuperable (mJ), Trabajo total (mJ), Fuerza adhesividad (g), Adhesividad (mJ), Resiliencia y Longitud de la muestra (mm).

La firmeza de la masa de cada harina fue determinada con un penetrómetro digital (GY-4, China) con una precisión de ± 1 %, utilizando la punta cilíndrica #2 de 7.9 mm de diámetro, con una profundidad de 10 mm de inserción del cabezal de presión.

1.4.7 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados con el software r-project® (4.1.1) bajo la interface RStudio® (2021.09.0) ambos de libre distribución, para comparar las características físicas ($n = 50$ para dimensiones y forma, $n = 10$ para fricción interna y externa y $n = 3$ para el resto de las determinaciones) de las semillas de calabaza de castilla (*C. moschata*), vainas de frijol pinto saltillo (*P. vulgaris*) y vainas de chícharo (*P. sativum*) fue realizado un análisis de varianza, para un modelo completamente al azar, con los resultados de cada una de las variables estudiadas, considerando a las especies como tratamientos. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$).

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1 Propiedades de tamaño y forma

De acuerdo con el análisis de varianza, las dimensiones de las semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote presentaron diferencia significativa ($p < 0.001$). La vaina de chícharo presentó mayor ancho (11.71 mm) y grosor (9.19 mm) con respecto a la semilla de calabaza y el ejote. Mientras que el ejote presentó mayor largo (125.18 mm) con respecto a la vaina de chícharo y a la semilla de calabaza. La vaina de chícharo mostró mayor volumen (301.13 mm³), diámetro medio aritmético (47.64 mm), área superficial específica (1,441.25 mm²) y diámetro geométrico (21.41 mm) con respecto a la semilla de calabaza y vaina de chícharo. Mientras que la semilla de calabaza presentó mayor relación de aspecto (45 %) y esfericidad (38.69 %) con respecto a la vaina de chícharo y el ejote (Cuadro 8).

Cuadro 8. Propiedades de tamaño y forma de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote.

Propiedad	Semilla de calabaza	Vaina de chícharo	Ejote
Ancho (mm)	8.33c [†]	11.71a	9.28b
Grosor (mm)	2.38c	9.19a	8.47b
Largo (mm)	18.47c	77.66b	125.18a
Diámetro geométrico (mm)	7.13c	20.26b	21.41a
Área superficial específica (mm ²)	160.06c	1291.92b	1441.25a
Relación de aspecto (%)	45.24a	15.14b	7.45c
Esfericidad (%)	38.69a	26.15b	17.15c
Diámetro medio aritmético (mm)	9.72c	32.85b	47.64a
Volumen (mm ³)	24.39c	225.79b	301.13a

[†]valores con la misma letra dentro de las filas no presentan diferencia significativa, Tukey ($\alpha = 0.05$; $n = 50$). Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones de las semillas de calabaza de castilla se encuentran dentro del rango reportado por Delgado Paredes *et al.* (2014) en la variedad de *C. moschata* Chuyan con valores promedio de 17.60 y 8.80 mm de largo y ancho, respectivamente. Así mismo, Sánchez *et al.* (2020) reportaron valores de la variedad *C. moschata* Duch de 8.22 a 9.10 mm de ancho y 1.80 a 2.70 mm de grosor, mientras que Cáseres *et al.* (2010) encontraron valores en la variedad de *C. moschata* Duch. ex Lam de 7.40 mm de ancho y 11.50 mm de largo.

Las dimensiones de los ejotes fueron similares a las vainas de frijol ejotero, con valores de 5.54 - 6.90 y 111.19 - 130.70 mm de ancho y largo, respectivamente (Bravo Delgado *et al.*, 2021). Por otra parte, Pumalpa *et al.* (2020), reportaron valores para vainas de frijol de 115.00 y 12.00 mm de largo y ancho, respectivamente. En tanto que Lépiz *et al.* (2010) obtuvieron valores de 120.00 y 11.00 mm de largo y ancho, respectivamente para frijol domesticado. Por otro lado, Yalçın *et al.* (2007) reportaron valores para las vainas de chícharo similares a los de esta investigación (7.80, 6.41 y 5.55 mm de largo, ancho y grosor, respectivamente).

En cambio, los valores de forma encontrados como la baja relación de aspecto indican que las semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote podrán deslizarse durante el transporte en superficies planas. El diámetro geométrico considera el volumen del grano/semilla y la transferencia de calor es proporcional al área superficial específica (Wilhelm *et al.*, 2004). Estas propiedades físicas de tamaño y forma son dependientes del contenido de humedad que afecta principalmente al diámetro geométrico.

1.5.2 Propiedades gravimétricas

Los resultados de las propiedades gravimétricas estudiadas en las semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en relación a la densidad real. El resto de propiedades gravimétricas de las semillas y vainas si registraron diferencia significativa ($p < 0.001$). Las semillas de calabaza son las que tienen mayor densidad aparente (0.038 g/mL); es decir, son más densas que las vainas de chícharo y ejote porque su masa está contenida en un volumen más pequeño, mientras que los ejotes presentan mayor peso (5,891.90 g) y mayor porosidad (73.26 %),

lo cual es notable al observar la baja densidad que presentan el ejote. Este parámetro es importante debido a que la porosidad de la masa de semillas/vainas determina la resistencia al flujo de aire durante los procesos de aireación y secado. Por otro lado, las vainas de chícharo son las de mayor volumen (666.67 mL), aunque no presenta diferencias estadísticas con las semillas de calabaza, y estas con el ejote (Cuadro 9).

Cuadro 9. Propiedades gravimétricas de las semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote.

Producto evaluado	Densidad aparente (g/mL)	Densidad real (g/mL)	porosidad (%)	Volumen poroso (mL)	Peso	
					1000 semillas o vainas (g)	Peso individual (g)
Ejote	0.17c [†]	0.64a	73.26a	466.67b	5891.90a	5.62a
Vaina de chícharo	0.33b	0.75a	55.52b	666.67a	2424.20b	2.76b
Semilla de calabaza	0.38a	0.65a	40.00c	600.00b	171.60c	0.16c

[†]valores con la misma letra dentro de las columnas no presentan diferencia significativa, Tukey ($\alpha = 0.05$). Fuente: Elaboración propia.

La densidad real de las semillas de calabaza de castilla fue menor que la que reportaron Rössel-Kipping *et al.* (2018) en semillas de calabaza (0.907 g/mL), tal vez debido a que ellos determinaron la densidad con un picnómetro y el método evaluación influye en los resultados. Por otro lado, Ortiz *et al.* (2009) reportaron valores del peso de semillas de calabaza de 150.00 ± 1.99 g (*C. moschata* Duch,) los cuales son similares a los de esta investigación. Mientras que Aguirre Santos & Gomez Aldapa (2010) reportaron valores de peso para las semillas de frijol de 360.70 ± 0.40 g. Así mismo Wang *et al.* (2003) para peso de semillas de chícharo obtuvieron valores de 191 a 269 g, estos valores son menores que los registrados, ya que se trata del peso de las semillas sin la vaina. Este parámetro es necesario para la estimación del volumen de una semilla/vaina, así como

para la realización de la limpieza de las semillas a través del uso de fuerzas aerodinámicas (Ixtaina, 2010).

1.5.3 Propiedades friccionales y de resistencia eléctrica

Se encontró diferencia significativa ($p < 0.001$) en la fricción interna, fricción externa y resistencia eléctrica de las harinas de semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote. La harina de semilla de calabaza presentó mayor fricción interna (0.98) con respecto a las harinas de vainas de chícharo y ejote. Mientras que las harinas de semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote presentaron mayor fricción externa en la tabla de madera con valores de 1.32, 1.27 y 1.33, respectivamente, en cambio en el azulejo las harinas de semillas de calabaza y vainas de chícharo presentaron menor fricción externa (1.02 y 0.99, respectivamente). Por otro lado, la harina de semilla de calabaza presentó mayor resistencia eléctrica tanto en agua desionizada (38.42 k Ω) como en agua destilada (37.04 k Ω) respecto a las otras dos harinas (Cuadro 10).

De acuerdo con los resultados de fricción interna, el flujo de las harinas es limitado, si consideramos que según Ortega Rivas *et al.* (2005) una fricción interna cercana a 0.35 indica libre fluidez, de 0.35 - 0.45 algo cohesivo, 0.45 - 0.55 cohesivo (pérdida de libre fluidez) y para valores mayores de 0.55 el flujo es limitado. Los valores de fricción interna son diferentes a los encontrados en la literatura; Rössel Kipping *et al.* (2018) encontraron valores de fricción interna de 0.56 en harina de semillas de calabaza de castilla criolla con cáscara. Mientras que Ganjloo *et al.* (2018) reportaron valores para las semillas de chícharo de 2.70 (40.62 ° con 75.15 % de humedad) y 1.17 (20.50 ° con 15.21 % de humedad). La diferencia es debido a que la fricción interna está determinada por el tamaño, forma, volumen, densidad y orientación de las partículas que conforman las harinas o semillas, y principalmente varía por el contenido de humedad (Mohsenin, 1986).

Cuadro 10. Propiedades de friccionales y de resistencia eléctrica de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote.

Producto evaluado	μ_i (-)	Material	μ_e (-)	Medio de disolución	Resistencia eléctrica (k Ω)
Ejote	0.81b [†]	Lámina de acero	1.12f	Agua desionizada	28.97c
		Tabla de madera	1.33a		
		Tabla de plástico	1.21bcde	Agua destilada	29.15c
		Vidrio	1.23bc		
		Azulejo	1.21bcde		
Vaina de chícharo	0.80b	Lámina de acero	1.22bcd	Agua desionizada	28.16c
		Tabla de madera	1.27ab		
		Tabla de plástico	1.18cdef	Agua destilada	33.86b
		Vidrio	1.16def		
		Azulejo	0.99g		
Semilla de calabaza	0.98a	Lámina de acero	1.17cdef	Agua desionizada	38.42a
		Tabla de madera	1.32a		
		Tabla de plástico	1.15ef	Agua destilada	37.04a
		Vidrio	1.04g		
		Azulejo	1.02g		

[†]valores con la misma letra dentro de las columnas no presentan diferencia significativa, Tukey ($\alpha = 0.05$). Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, los resultados de fricción externa mostraron que el azulejo y el vidrio fueron los materiales que presentaron menor fricción externa a las harinas de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote, en comparación con los otros materiales. Los resultados de esta investigación fueron diferentes a los reportados en la literatura, Rössel-Kipping *et al.* (2018) reportaron valores de fricción externa para harina de semillas de calabaza con cáscara de 0.59 y 0.81 en vidrio y tabla de madera, respectivamente. También, Ganjloo *et al.* (2018) obtuvieron una fricción de semillas de chícharo con los siguientes valores: en caucho (0.388 - 0.413), aluminio (0.292 - 0.351), acero inoxidable (0.270 - 0.311) y hierro galvanizado (0.360 - 0.409). Esta diferencia entre el ángulo de

fricción externa se debe probablemente al contenido de humedad que genera mayor adhesión y cohesión entre las harinas, la rugosidad de las superficies de contacto, el tamaño, la forma de partícula, la rugosidad y la textura de las partículas (Mohsenin, 1986).

La diferencia en la resistencia eléctrica de la harina de vaina de chícharo con agua destilada está relacionada con la concentración total de sustancias ionizadas y compuestos orgánicos en el agua, así como la temperatura a la que se realiza la medición, como lo sugieren Valdivia Medina *et al.* (2010). Además, la resistencia eléctrica depende, de la resistividad, la geometría usada para contener al alimento, la edad, las condiciones ambientales, el manejo del cultivo y las características de cada especie.

1.5.4 Propiedades reológicas y mecánicas

Los resultados del tamizado muestran que la harina de semillas de calabaza y de ejote tienen mayor porcentaje de retención en el tamiz de 0.300 mm de apertura, mientras que la harina de vainas de chícharo tiene mayor porcentaje de retención entre los tamices de 0.075 mm y 0.150 mm de apertura (Figura 2).

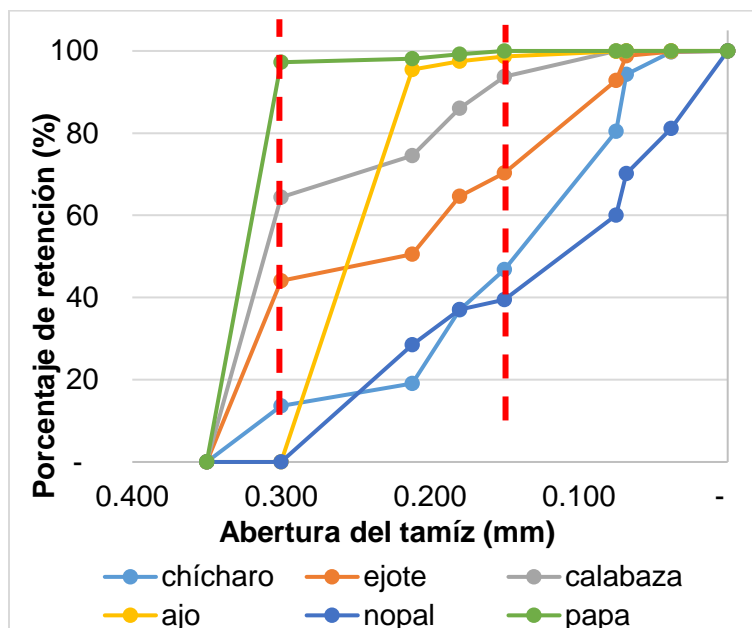


Figura 2. Tamizado de las harinas de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo, ejote, ajo, nopal y papa. Fuente: Elaboración propia.

Las líneas rojas en la Figura 2 muestran el límite máximo de granulometría permitido para la clasificación de harinas de trigo Grado III, conforme a la NORMA OFICIAL MEXICANA (NMX-F-007-1982). De acuerdo con esta norma, al menos el 73% de la harina debe ser retenido entre las mallas de 0.297 y 0.149 mm (grado III), equivalentes a 50 y 100 Alcón® (México) en este estudio. En función del tamizado, las harinas de semillas de calabaza (93.78 %), papa (98.67 %) y ajo (100 %) reúnen las condiciones que la norma establece al obtener el porcentaje de retención de las fracciones de los tamices 0.300 y 0.150 mm. La harina de ejote estuvo cerca del valor de la norma con un 70.29 % de retención, mientras que la harina de chícharo y nopal no cumplen claramente con el Grado III, pues el porcentaje de retención entre las dos fracciones fue de 46.78 % para el chícharo y 39.47 % para el nopal, sin embargo, puede ser clasificada como Grado II debido a que en la norma no se especifica el tamaño ni porcentaje retenido de las harinas. Las harinas de semillas de calabaza, papa y ajo son clasificadas y designadas de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana para la harina de trigo como harina de Grado III y II para elaboración de galletas y pastas para sopa, mientras que las harinas de nopal, vainas de chícharo y ejote como harina de Grado II para elaboración de galletas. En estas harinas se obtuvo un menor porcentaje de muestra en la charola, que corresponde a la fracción más fina (< 0.038 mm).

El índice de tamaño de partícula presentó diferencia significativa ($p < 0.001$), entre las partículas de las harinas, donde la harina de vaina de chícharo fue la de mayor índice (158.97a), harina de vaina ejote (107.32c), harina de semilla calabaza (71.38d), harina de ajo (72.05d), harina de nopal (141.51b) y finalmente, la harina de papa (50.58e). De acuerdo con Gómez *et al.* (1987), los valores altos de índice de tamaño de partícula indican mayor finura, la cual se relaciona con masas más cohesivas, lo que indica que las harinas de chícharo, nopal y ejote son las harinas más finas, lo cual concuerda con los porcentajes de retención mencionados anteriormente.

La granulometría de la harina determina el uso al cual se destinará; por ejemplo, una harina para tostadas y tamales requiere una granulometría más gruesa que la destinada a tortillas. Los factores que inciden en el tamaño medio de partículas de la harina son la dureza del grano, la humedad, la cantidad de álcali empleada, el tiempo de reposo, el

ajuste en la velocidad de los molinos y el cribado de la harina. Actualmente existe poca información del proceso de tamizado de harinas.

De acuerdo con las observaciones microscópicas, las harinas en los tamaños de partícula de 0.030, 0.038, 0.058, 0.075 y 0.300 mm no presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$). Mientras que en los tamaños 0.150, 0.180 y 0.212 mm, las partículas de las harinas presentaron diferencias ($p < 0.05$) entre las harinas debido a que las dimensiones dependen de la orientación de las partículas (Cuadro 11).

Cuadro 11. Perfil de dimensiones de harinas de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote.

Tamaño de tamiz (mm)	Producto evaluado	Área (mm)	Perímetro (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)
0.03	Ejote	0.004a†	0.258a	0.085a	0.034b
	Vaina de chícharo	0.005a	0.311a	0.118a	0.090a
0.038	Ejote	0.003b	0.256b	0.092b	0.066c
	Vaina de chícharo	0.004b	0.252b	0.087b	0.064c
0.058	Ejote	0.010c	0.418c	0.157c	0.097d
	Vaina de chícharo	0.013c	0.454c	0.157c	0.111d
0.075	Ejote	0.022d	0.636d	0.251d	0.130e
	Vaina de chícharo	0.027d	0.662d	0.211d	0.131e
	Semilla de calabaza	0.017d	0.518d	0.180d	0.118e
0.15	Ejote	0.066ef	1.010f	0.307f	0.256f
	Vaina de chícharo	0.091e	1.320e	0.523e	0.253f
	Semilla de calabaza	0.026f	0.664g	0.203g	0.160f
0.18	Ejote	0.161g	1.695h	0.666h	0.331g
	Vaina de chícharo	0.137gh	1.582hi	0.572h	0.303g
	Semilla de calabaza	0.027h	0.732i	0.259h	0.136h
0.212	Ejote	0.165j	1.720l	0.590k	0.359j
	Vaina de chícharo	0.260j	2.021k	0.720j	0.497j
	Ejote	0.192i	1.954j	0.529i	0.424i
0.3	Vaina de chícharo	0.177i	1.852j	0.759i	0.318i
	Semilla de calabaza	0.154i	1.652j	0.533i	0.385i

†valores con la misma letra dentro de las columnas no presentan diferencia significativa, Tukey ($\alpha = 0.05$; $n = 3$). Fuente: Elaboración propia.

Se observa que por el tamaño de partícula de 0.030 mm no pasan partículas que tienen diámetros que van desde 0.034 mm a 0.118 mm, sin embargo, si entran por el tamiz de 0.038 mm, esto es debido a que las partículas presentan diversas formas, diámetros heterogéneos y diferentes rugosidades de las partes que conforman las semillas o vainas, y al momento de la vibración estas partículas pueden entrar por los tamices con uno de sus diámetros menores (Figura 3).



Figura 3. Tamaños y formas de partículas de harinas de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote. Fuente: Elaboración propia.

En la prueba del análisis del perfil de textura para las masas de semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote, la dureza de las masas del ejote fue significativamente ($p < 0.05$) mayor a las masas de semilla de calabaza y trigo. El porcentaje de deformación según dureza y la longitud de la muestra no presentaron diferencias ($p > 0.05$) entre las masas (Cuadro 12).

Cuadro 12. Perfil de textura de masas de semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo, ejote y de trigo.

Producto evaluado	Ejote	Vaina de chícharo	Semilla de calabaza	Harina de trigo
Dureza (g)	1,397.90a [†]	854.80ab	374.38b	144.17b
Deformación según dureza (mm)	9.16ab	7.13b	9.98a	9.94ab
% Deformación según dureza (%)	48.82a	41.14a	55.65a	57.73a
Trabajo dureza terminado (mJ)	87.73a	55.00ab	22.10abc	6.89c
Deformación recuperable(mm)	0.79a	0.73a	0.45a	0.89a
Trabajo recuperable (mJ)	4.03a	1.70b	0.52b	0.42b
Trabajo total (mJ)	91.76a	56.69ab	22.62bc	7.31c
Fuerza adhesividad (g)	77.00ab	18.70b	101.88a	19.83ab
Adhesividad (mJ)	2.61a	1.13a	1.50a	0.37a
Resiliencia	0.04ab	0.03b	0.03b	0.06a
Longitud de la muestra (mm)	18.83a	18.01a	18.06a	17.21a
Firmeza (N)	10.09a	3.09b	1.50c	NA

[†]valores con la misma letra dentro de las filas no presentan diferencia significativa, Tukey ($\alpha = 0.05$).

NA = no se determinó. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las propiedades reológicas, mecánicas, plásticas y viscosas de la masa de calabaza son iguales a los de la masa de trigo a excepción de la variable resiliencia que tuvo diferencias significativas ($p < 0.05$). Mientras que la masa de chícharo no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) con la masa de trigo en las siguientes ocho variables: dureza, deformación según dureza, % de deformación según dureza, deformación recuperable, trabajo recuperable, fuerza de adhesividad, adhesividad y longitud de la muestra.

Los valores de firmeza alcanzados por la masa generada con el ejote ($10.09 \text{ N} \pm 0.52$) fueron los más altos con respecto al resto de las masas de vaina de chícharo y semilla de calabaza. Esta diferencia de firmeza es probablemente debido al contenido de humedad, a la textura, estructura y forma de las partículas de la masa. Además, el endospermo se hidrata y plastifica cuando entra en contacto con el agua, causando que

el esfuerzo (energía) durante la compresión se absorba y ocasione una deformación más pronunciada del biomaterial, por ello las propiedades reológicas de las masas son críticas en la manufactura de alimentos (Barak *et al.*, 2014). Las masas exhiben un comportamiento viscoso, elástico y plástico, combinando las propiedades reológicas, plásticas, friccionales y de estructura de un fluido viscoso y un sólido elástico, ocasionado por la combinación de harina y agua (Upadhyay *et al.*, 2012).

1.6 CONCLUSIONES

Las propiedades físicas de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote pueden ser consideradas en la formulación de paquetes tecnológicos agroindustriales o de manejo postcosecha para regiones con poco desarrollo tecnológico, para generar fuentes de empleo y darles un valor agregado a los subproductos agrícolas.

Las características físicas de harinas de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote muestran que las cáscaras de éstas no afectan sus propiedades reológicas (visco elástico plásticas). La granulometría de las harinas cumple con lo establecido en la NOM-007-1982, ya que presentan propiedades físico mecánicas más unificadas para su uso en la elaboración de galletas y pastas para sopa, entre otros.

La producción de harina a partir de estos materiales representa una inmejorable alternativa, dadas las grandes ventajas que tienen las harinas en cuanto a su manejo y almacenamiento, así como a su mayor concentración de energía en relación a los materiales sin procesar. El uso de estas harinas en combinación con la amplia gama de tecnologías disponibles en la agroindustria 4.0 abre el panorama en la elaboración de productos alimenticios y no alimenticios de buena calidad a partir de estos productos agrícolas.

1.7 LITERATURA CITADA

- AACC Int, A. A. o. C. C. (2000). *55-10.01 Test Weight per Bushel*. Cereals & Grains Association.
<https://www.cerealsgrains.org/resources/Methods/Pages/55PhysicalTests.aspx>
- Aguirre Santos, E. A., & Gomez Aldapa, C. A. (2010). *EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS EN LA ESPECIE DE FRIJOL PHASEOLUS VULGARIS DE LAS VARIEDADES; PINTO SALTILLO, BAYO VICTORIA Y NEGRO SAN LUIS*. 8.
https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_FisicAlim/Carlos_Aldapa/4.pdf
- Babić, L., Babic, M., Turan, J., Matic-Kekić, S., Radojcin, M., Mehandžić-Stanišić, S., Pavkov, I., & Zoranović, M. (2011). Physical and stress-strain properties of wheat (*Triticum aestivum*) kernel. *Journal of the science of food and agriculture*, 91, 1236-1243. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4305>
- Barak, S., Mudgil, D., & Khatkar, B. (2014). Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 51, 211-217. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.011>
- Bedolla, S., & Rooney, L. W. (1984). Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World*, 29(11), 732-735.
- Bhiese, S. R., Kaur, A., & Manikantan, M. R. (2014). Moisture dependent physical properties of wheat grain (PBW 621). *International Journal of Engineering Practical Research*, 3, 40-45.
- Bradfield, J. P., Taal, H. R., Timpson, N. J., Scherag, A., Lecoeur, C., Warrington, N. M., Hypponen, E., Holst, C., Valcarcel, B., Thiering, E., Salem, R. M., Schumacher, F. R., Cousminer, D. L., Sleiman, P. M. A., Zhao, J., Berkowitz, R. I., Vimalaswaran, K. S., Jarick, I., Pennell, C. E., ...the Early Growth Genetics (EGG) Consortium. (2012). A genome-wide association meta-analysis identifies new childhood obesity loci. *Nature Genetics*, 44(5), 526-531. <https://doi.org/10.1038/ng.2247>
- Bravo Delgado, H. R., Martínez, M. L. O., Loeza Corte, J. M., & Díaz López, E. (2021). Comportamiento ecofisiológico de tres cultivares de ejote *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) bajo un clima de transición templado a seco. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24, 1-7. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.331>
- Cáseres, E., Piña, K., Berrío, T., & Leal, N. (2010). Comparación morfológica de frutos y semillas de ayama (*Cucurbita moschata* Duch. Ex Lam). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 28, 32-36.
- Delgado Paredes, G. E., Rojas Idrogo, C., Sencie Tarazona, Á., & Vásquez Núñez, L. (2014). Caracterización de frutos y semillas de algunas cucurbitáceas en el norte del Perú. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(1), 7-20.

- Dutta, S. K., Nema, V. K., & Bhardwaj, R. K. (1988). Physical properties of gram. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 39(4), 259-268. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(88\)90147-3](https://doi.org/10.1016/0021-8634(88)90147-3)
- Galan, P., Babio, N., & Salas Salvadó, J. (2019). Nutri-Score: El logotipo frontal de información nutricional útil para la salud pública de España que se apoya sobre bases científicas. *Nutrición Hospitalaria*, 36(5), 1213-1222. <https://doi.org/10.20960/nh.02848>
- Ganjloo, A., Bimakr, M., Zarringhalami, S., Jalili-Safaryan, M., & Ghorbani, M. (2018). Moisture-dependent physical properties of green peas (*Pisum sativum* L.). *International Food Research Journal*, 25(3), 1246-1252.
- Gomez, M. H., Rooney, L. W., Waniska, R. D., & Pflugfelder, R. L. (1987). Dry corn masa flours for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World*, 32(5), 375-377.
- INEGI. (2020). *Población. Rural y urbana*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema_P
- Ixtaina, V. Y. (2010). *Caracterización de la semilla y el aceite de chía (Salvia hispanica L.) obtenido mediante distintos procesos: Aplicación en tecnología de alimentos* [Doctorado, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/2679>
- Jain, R. K., & Bal, S. (1997). Properties of Pearl Millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(66), 85-91. <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0119>
- Labrador, A. J. P. (2006). Colapso. Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen. *Revista de Investigación en Educación*, 3, 747.
- Lépiz Ildelfonso, R., López Alcocer, J. J., Sánchez González, J. J., Santacruz-Ruvalcaba, F., Nuño Romero, R., & Rodríguez Guzmán, E. (2010). Características morfológicas de formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común de hábito trepador. *Revista fitotecnia mexicana*, 33(1), 21-28.
- Maduako J. N., & Faborode, M. O. (1994). Characterization of the breaking behaviour of whole cocoa pods. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59(2), 89-96.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott. (1986). Unit Operations. En *Chemical Engineering (5th Ed.)*. McGRAW-HILL International Editions. <https://silo.pub/unit-operations-in-chemical-engineering-5th-edition.html>
- Mohsenin, N. N. (1986). Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. En *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. (Vol. 31, p. 702). Gordon and Breach Science Publishers. <https://doi.org/10.1002/food.19870310724>
- NMX-F-007. (1982). *Alimento para humanos. Harina de trigo. Foods for humans. Wheat flour. Dirección general de normas. Dirección general de Normas Mexicanas*. http://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-F-007-1982_harina_de_trigo.pdf

- ONU. (2021). *Población mundial | Fondo de Población de las Naciones Unidas*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.unfpa.org/es/data/world-population-dashboard>
- Orhan, I., & Sener, B. (2002). Fatty acid content of selected seed oils. *Journal of Herbal Pharmacotherapy*, 2(3), 29-33. https://doi.org/10.1080/J157v02n03_03
- Ortega-Rivas, E., Juliano, P., Yan, H., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality*. Springer.
- Ortiz Grisales, S., Pasos López, S. C., Rivas Abadía, X. C., Valdés Restrepo, M. P., & Vallejo Cabrera, F. A. (2009). Extracción y caracterización de aceite de semillas de zapallo. *Acta Agronómica*, 58(3), 145-151.
- Pumalpa Meneses, D., Cantaro Segura, H., Estrada Cañari, R., & Huaranga Joaquín, A. (2020). Caracterización Fenotípica y Agronómica de líneas avanzadas del frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a virus en Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(1), 7-20.
- Rössel Kipping, D., Ortiz Laurel, H., Amante Orozco, A., Durán García, H. M., & López Martínez, L. A. (2018). Características físicas y químicas de la semilla de calabaza para mecanización y procesamiento. *Nova scientia*, 10(21), 61-77. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1467>
- Sánchez, F. A. C., López, C. J. A., Alejo, J. C., & Ramírez, A. R. (2020). Características morfológicas y determinación de minerales por μ -xrf en fruto de calabaza (*Cucurbita moschata* DUCH). *Agrociencia*, 54(5), 683-690. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i5.2125>
- Upadhyay, S. K., Singh, J. S., Saxena, A. K., & Singh, D. P. (2012). Impact of PGPR inoculation on growth and antioxidant status of wheat under saline conditions. *Plant Biology (Stuttgart, Germany)*, 14(4), 605-611. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2011.00533.x>
- Valdivia-Medina, R. Y., Pedro-Valdés, S., & Laurel-Gómez, M. (2010). Agua para uso en laboratorios. *Boletín Científico Técnico INIMET.*, 1, 3-10.
- Vilchis Velazquez, R. (2019). *Evaluación de las propiedades físicas y viscoelásticas de granos de trigo (Triticum aestivum L.), centeno (Secale cereale L.) y triticale (X Triticosecale Wittmack)* [Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/105736>
- Wang, N., Daun, J. K., & Malcolmson, L. J. (2003). Relationship between physicochemical and cooking properties, and effects of cooking on antinutrients, of yellow field peas (*Pisum sativum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(12), 1228-1237. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1531>

- Wilhelm, W., Johnson, J. M. F., Hatfield, J. L., Voorhees, W. B., & Linden, D. R. (2004). Crop and Soil Productivity Response to Corn Residue Removal: A Literature Review. *Agronomy Journal*, 96, 1-17. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.1000a>
- Yalçın, İ., Özarslan, C., & Akbaş, T. (2007). Physical properties of pea (*Pisum sativum*). *Journal of Food Engineering*, 79(2), 731-735. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.039>

CAPÍTULO II. ANÁLISIS PROXIMAL Y DE COMPOSICIÓN MINERAL DE SEMILLAS DE CALABAZA DE CASTILLA (*C. MOSCHATA*), CHÍCHARO VERDE (*P. SATIVUM*) Y EJOTE (*P. VULGARIS*) PARA SU USO EN LA AGROINDUSTRIA 4.0

2.1 RESUMEN

Objetivo: Determinar el análisis proximal y la composición mineral de semillas de calabaza de castilla (*C. moschata*), chícharo verde (*P. sativum*) y ejote de frijol pinto saltillo (*P. vulgaris*).

Diseño/metodología/aproximación: El contenido de los macronutrientes (carbohidratos, grasas, fibra cruda, proteína y cenizas) y micronutrientes (minerales) de las especies evaluadas, se determinaron usando el estándar de procedimientos de la AOAC. La cuantificación de minerales se realizó mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente. Se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Resultados: Las semillas de calabaza con cáscara contienen 29.15 mg g⁻¹ de proteína, 417.00 mg g⁻¹ de grasa, 66.70 mg g⁻¹ de carbohidratos, 13.40 mg g⁻¹ de fibra cruda, 972.32 mg g⁻¹ de fósforo, 3.38 mg g⁻¹ de potasio y 3.183 mg g⁻¹ de magnesio. La vaina completa de chícharo posee 230.60 mg g⁻¹ de proteína, 17.20 mg g⁻¹ de grasa, 456.00 mg g⁻¹ de carbohidratos, 220.80 mg g⁻¹ de fibra cruda, 5.44 mg g⁻¹ de fósforo, 7.35 mg g⁻¹ de potasio y 1.719 mg g⁻¹ de magnesio. El ejote completo, presentó un contenido de proteína de 185.10 mg g⁻¹, grasa de 2.54 mg g⁻¹, carbohidratos de 377.50 mg g⁻¹, fibra de 208.00 mg g⁻¹, fósforo de 6.07 mg g⁻¹, potasio de 15.626 mg g⁻¹ y magnesio de 17.22 mg g⁻¹.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Se deben realizar estudios sobre las características químicas de los residuos agroindustriales o de diferentes órganos de las plantas como hojas, raíces, tallos, etc.

Hallazgos/conclusiones: Los alimentos analizados tienen características adecuadas para ayudar a satisfacer las demandas con respecto a algunos macronutrientes y

micronutrientes, optimizando la disponibilidad de los nutrientes en la generación de alimentos naturales o sintéticos que pueden cambiar el futuro.

Palabras clave: Contenido químico, semillas de calabaza, vainas chícharo, ejote.

CHAPTER II. PROXIMAL AND MINERAL COMPOSITION ANALYSIS OF PUMPKIN SEEDS (*C. MOSCHATA*), GREEN PEAS (*P. SATIVUM*) AND GREEN BEANS (*P. VULGARIS*) FOR USE IN AGROINDUSTRY 4.0

2.2 ABSTRACT

Objective: To determine the proximal analysis and mineral composition of pumpkin seeds (*C. moschata*), green pea (*P. sativum*) and pinto Saltillo green beans (*P. vulgaris*).

Design/methodology/approach: The content of macronutrients (carbohydrates, fats, crude fiber, protein, and ash) and micronutrients (minerals) of the evaluated species were determined using the AOAC standard methods. The mineral quantification was performed by inductively coupled plasma mass spectrometry. An analysis of variance and a comparison of means with Tukey's test ($\alpha = 0.05$) were performed.

Results: The pumpkin seeds contain 29.15 mg g⁻¹ of protein, 417.00 mg g⁻¹ of fat, 66.70 mg g⁻¹ of carbohydrates, 13.40 mg g⁻¹ of crude fiber, 972.32 mg g⁻¹ of phosphorus, 3.38 mg g⁻¹ of potassium and 3.183 mg g⁻¹ of magnesium. The whole pea pod has 230.60 mg g⁻¹ protein, 17.20 mg g⁻¹ fat, 456.00 mg g⁻¹ carbohydrates, 220.80 mg g⁻¹ crude fiber, 5.44 mg g⁻¹ phosphorus, 7.35 mg g⁻¹ of potassium and 1,719 mg g⁻¹ of magnesium. The whole green bean presented a protein content of 185.10 mg g⁻¹, fat of 2.54 mg g⁻¹, carbohydrates of 377.50 mg g⁻¹, fiber of 208.00 mg g⁻¹, phosphorus of 6.07 mg g⁻¹, potassium of 15.626 mg g⁻¹ and magnesium of 17.22 mg g⁻¹.

Study limitations/implications: Studies should be carried out on the chemical characteristics of Agroindustrial residues or of different plant organs such as leaves root stems etc.

Findings/conclusions: The foods analyzed have adequate characteristics to help meet the demands regarding with respect of some macronutrients and micronutrients, optimizing the availability of nutrients in the generation of natural or synthetic foods that can change the future.

Keywords: Chemical content, *Cucurbita moschata*, *Pisum sativum*, *Phaseolus vulgaris*.

2.3 INTRODUCCIÓN

En el año 2021, la población mundial fue de 7,875 millones de personas y se espera que para el año 2050 aumente otros 2,000 millones (ONU, 2021). Este incremento excesivo de población demanda cada vez más recursos, lo cual afecta la biodiversidad del planeta, la salud y el bienestar de la población (Labrador, 2006). Por ello, surge la necesidad de buscar nuevas fuentes de alimento de buena calidad que resulten accesibles y de bajo costo, así como de adaptar nuevas tecnologías para el manejo de las materias primas, reducción de insumos en el proceso y el mejor aprovechamiento de la calidad y cantidad de productos alimenticios y no alimenticios.

México cuenta con una gran diversidad de recursos alimenticios muy valiosos. Es necesario llevar a cabo estudios integrales que permitan la preservación del recurso y su aprovechamiento sustentable para contribuir a los objetivos nacionales y mundiales de sustentabilidad, seguridad alimentaria y de salud. Adicionalmente, al incrementar el conocimiento de los recursos se podrán aprovechar sus características particulares, explotar los fines industriales y generar nuevos beneficios con la elaboración de alimentos sintéticos mejorando así la economía del país. Además, también es importante estudiar alimentos no convencionales o no tradicionales como los residuos agroindustriales, que, aunque no representen el valor principal de la transformación, pueden ser un complemento para la materia prima de otro producto (Saval, 2012), contribuyendo como una opción al grave problema de alimentación que existe a nivel mundial.

Estos residuos pueden propiciar un equilibrio nutricional en función de los macro y micro nutrientes, ya que, para aumentar la calidad de la alimentación se deben incluir a la dieta alimentos que reduzcan las deficiencias vitamínicas y de minerales de la población, como una alternativa sostenible a largo plazo (Pachón, 2010).

El estilo de vida actual promueve hábitos alimenticios inadecuados como consumo de alimentos de baja calidad nutricional. Sumado a ello, muchos alimentos en los procesos de refinado industrial pierden gran parte de sus minerales, por lo que son comunes sus deficiencias en la población. Sin embargo, los minerales son esenciales para una amplia

gama de funciones metabólicas en el cuerpo humano y algunos de ellos participan directa o indirectamente en muchas funciones del organismo (Velasco-Lavín, 2016).

Las vainas de leguminosas y semillas de oleaginosas pueden contribuir a contrarrestar los problemas de salud y de seguridad alimentaria. Sin embargo, éstas generalmente solo se utilizan de manera tradicional (como semilla, enlatados o congelados) y no como materia prima en la transformación de nuevos productos a base de harinas con valor agregado y adaptables a los procesos de generación 4.0 de alimentos. Por otro lado, los datos sobre el contenido de elementos minerales en los alimentos son insuficientes.

Los organismos internacionales recomiendan a la población en general la ingesta diaria de calcio, magnesio, zinc, yodo, hierro y selenio. Por ejemplo, en niños de uno a ocho años se recomienda una ingesta de calcio que va de 500 a 800 mg día⁻¹, de magnesio de 80 a 130 mg día⁻¹, zinc de 3 a 5 mg día⁻¹, hierro de 7 a 10 mg día⁻¹, fósforo de 460 a 500 mg día⁻¹, yodo de 90 µg día⁻¹, cobre de 340 a 440 µg día⁻¹ y selenio de 20 a 30 µg día⁻¹ (WHO and FAO, 2004). El problema de la deficiencia de proteínas, ácidos grasos esenciales, fibra, carbohidratos, vitaminas y minerales en la alimentación se complica aún más por la falta de información del contenido químico y este depende de muchos factores como el tipo de alimento, origen genético, localización geográfica y procedimiento agrícola implementado.

De manera que, resulta fundamental revisar, analizar y completar la información existente sobre el contenido de minerales que se encuentran concentrados en las tablas de composición química de alimentos, bases de datos o software nutricionales, para crear programas de salud, planeación de menús sanos y elaboración de productos de mercado con calidad. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue caracterizar el análisis proximal y la composición de minerales de semillas de calabaza de castilla (*C. moschata*), vainas de chícharo verde (*P. sativum*) y ejote de frijol pinto saltillo (*P. vulgaris*), con el fin de identificar un posible uso en procesos agroindustriales, mejorar el aprovechamiento de residuos orgánicos e identificar un uso potencial en la agroindustria 4.0, para la creación de alimentos que permitan cubrir las posibles carencias y demandas de la población.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizó el contenido proximal de semillas de calabaza de castilla con cáscara, semilla de calabaza sin cáscara, cáscara de semillas de calabaza, vainas de chícharo (semilla y cáscara o pericarpio), semilla de chícharo, cáscara (pericarpio) de chícharo, ejote completo (semilla y cáscara o pericarpio), semilla de ejote y cáscara (pericarpio) de ejote. También se determinó la composición mineral en muestras completas de semillas de calabaza de castilla (*C. moschata*), vainas de chícharo verde (*P. sativum*) y ejote (*P. vulgaris*) (Figura 4), con tres repeticiones. Las muestras fueron obtenidas al azar de El Zacatón, municipio de Villa de Ramos, S.L.P. y del Ejido de Moras, Mexquitic de Carmona, S.L.P., durante el mes de julio del año 2021. Posteriormente, fueron transportadas directamente y sin período de almacenamiento al laboratorio para ser analizadas.



Figura 4. Vainas de chícharo (*Pisum sativum*), ejote de frijol pinto saltillo (*Phaseolus vulgaris*) y semillas de calabaza de castilla (*Cucurbita moschata*). Fuente: Elaboración propia.

Las determinaciones fueron realizadas en el Laboratorio de Agua-Suelo-Planta del Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados (22°63'22" N y 101°71'25" O) y

en el Laboratorio 2 de la Coordinación Académica Región Altiplano Oeste (CARAO) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (22°38'28.5" N y 101°42'10.0" O).

2.4.1 Análisis químico proximal

2.4.1.1 Cenizas

La determinación del contenido de cenizas fue realizada siguiendo el método 942.05/90 de la AOAC (1990) y fue expresado como porcentaje en peso de harina seca determinado con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ cenizas} = (\text{peso de la muestra calcinada cenizas}) / (\text{peso de la muestra}) \times 100 \quad (14)$$

2.4.1.2 Proteína cruda

La proteína cruda fue determinada mediante el método de Kjeldahl de acuerdo con la técnica 955.04/90 (AOAC, 1990), el cual determina la concentración de nitrógeno presente en la muestra para luego ser transformado a proteína a través de un factor.

2.4.1.3 Carbohidratos totales

El contenido de carbohidratos totales fue cuantificado mediante el método basado en AOAC 974.06 (AOAC, 1975).

2.4.1.4 Grasa total

El contenido de grasa fue determinado mediante el procedimiento 920.39C descrito por la AOAC (1990), por medio de la técnica Soxhlet en un equipo ST243 Soxtec TM Extraction Unit.

2.4.1.5 Fibra cruda

La determinación del contenido de fibra fue realizada en muestras previamente desengrasadas, realizando una digestión ácida en presencia de H₂SO₄ al 1.25 % y digestión alcalina en presencia de NaOH al 3.52 %, utilizando el método Weende 962.09/90 de la AOAC (1990).

2.4.1.6 Digestión ácida en abierto

El procedimiento empleado está basado en el descrito por Jakubowska *et al.* (2006) con algunas modificaciones. Para ello, una muestra de 0.5 g se pesó en una balanza analítica (Ohaus Adventurer, modelo H-5276) y trasvasó a un tubo de teflón plano de 50 mL de capacidad. Posteriormente, en cada muestra se añadió $0.000025 \text{ mg g}^{-1}$ de Iridio e Indio como patrón interno para realizar la recuperación del método. Además, fueron añadidos 10 mL de HNO_3 concentrado ultrapuro y fueron conservados a temperatura ambiente por 12 h.

Las muestras con el HNO_3 fueron puestas en una placa de calefacción (Marca NJBZH, modelo BZH29) y calentadas para realizar una evaporación (digestión ácida en caliente), sin llevarla a sequedad, es decir, que aproximadamente cuando los tubos tenían un 1 mL de la muestra concentrada, fueron añadidos 10 mL de H_2O_2 concentrado gota a gota con el fin de destruir toda la materia orgánica presente en la muestra (este proceso también es llamado mineralización total de la muestra). Finalmente, las muestras fueron aforadas a 25 mL en matraces volumétricos clase A con certificado por lote.

2.4.2 Análisis de minerales en ICP-MS

Para la determinación de los 63 elementos minerales fue empleado el procedimiento de espectrometría de masas de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) con el equipo iCAP™ RQ, en modo KED y con celda de colisión.

2.4.3 Análisis estadístico

El análisis de datos fue realizado con el software r-project® (4.1.1) bajo la interface RStudio® (2021.09.0), ambos de libre distribución. Para ello se realizó un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar y una comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha = 0.05$).

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Composición proximal

De acuerdo con los resultados del análisis proximal (base seca), se encontró diferencia significativa ($p < 0.001$) en las cinco determinaciones. El chícharo presentó el menor contenido de grasa en la cáscara de la vaina (12.30 mg g^{-1}), el mayor contenido de proteína (320.90 mg g^{-1}) y cenizas (32.40 mg g^{-1}) en la semilla y el mayor contenido de carbohidratos totales en la vaina completa (cáscara más semilla) (456.00 mg g^{-1}). Por su parte, la calabaza presentó el mayor contenido de grasa (495.00 mg g^{-1}) y el menor contenido de cenizas (10.00 mg g^{-1}) en la semilla sin cáscara, mientras que la cáscara de esta especie presentó el mayor contenido de fibra cruda (711.50 mg g^{-1}) y el menor contenido de carbohidratos totales (61.10 mg g^{-1}) (Cuadro 13).

Cuadro 13. Concentración químico proximal de las semillas de calabaza, vainas de chícharo, ejote y sus subproductos.

Producto evaluado	Proteína	Grasa	Carbohidratos	Fibra cruda	Cenizas
----- mg g^{-1} -----					
Cáscara de vaina de chícharo	182.10h [†]	12.30i	423.00b	307.00b	12.90g
Semilla de chícharo	320.90a	16.00g	295.80f	282.00d	32.40a
Vaina de chícharo completa	230.60e	17.00f	456.00a	220.80e	20.10e
Cáscara de ejote	183.00g	14.00h	393.10d	290.80c	22.40d
Semilla de ejote	293.00b	23.00d	403.90c	205.60f	16.30f
Ejote completo	185.10f	25.40c	377.50e	208.00f	32.00ab
Semilla de calabaza completa	291.50c	417.00b	66.70h	134.00g	31.00b
Semilla de calabaza sin cáscara	263.00d	495.00a	149.70g	25.80h	10.00h
Cáscara de semilla de calabaza	90.80i	19.70e	61.10i	711.50a	28.00c

[†]valores con la misma letra dentro de las columnas no presentan diferencia significativa,

Tukey ($\alpha = 0.05$; $n = 3$). Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos del contenido proximal de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote fueron diferentes a los encontrados en la bibliografía. Las diferencias se podrían atribuir a factores tales como técnicas de determinación, tipos de solventes/reactivos, zona geográfica, factores ambientales donde se cultivan, entre otros aspectos que influyen en el contenido químico proximal. Rössel Kipping *et al.* (2018) encontraron valores menores a excepción del contenido de cenizas con 6.92 mg g^{-1} , fibra cruda con 45.63 mg g^{-1} , grasa de 283.24 mg g^{-1} , proteínas de 1.29 mg g^{-1} y carbohidratos con 211.19 mg g^{-1} en semillas de calabaza de castilla (*C. moschata*), comparados con los de esta investigación que fueron de 291.50 mg g^{-1} de proteína, 417.00 mg g^{-1} de grasa, 66.70 mg g^{-1} de carbohidratos, 134.00 mg g^{-1} de fibra y 31.00 mg g^{-1} de cenizas. Del mismo modo, el contenido de grasa encontrado por Martínez Aguilar *et al.* (2011) en este estudio (417.00 mg g^{-1}) es mayor al encontrado en semillas de calabaza de castilla (*C. moschata*) con 331.50 a 346.00 mg g^{-1} .

Por otro lado, en el caso del ejote completo (semillas más cáscara) Fernández Valenciano, & Sánchez Chávez (2017) obtuvieron valores de carbohidratos de 346.70 mg g^{-1} y proteína de 185.10 mg g^{-1} , similares con los de este estudio que fueron de 377.50 185.10 mg g^{-1} y 185.10 mg g^{-1} de carbohidratos y proteína, respectivamente. Sin embargo, el contenido de ceniza (82.40 mg g^{-1}), grasa (13.00 mg g^{-1}) y fibra (7.90 mg g^{-1}) son diferentes a los encontrados en este estudio con valores de ceniza de 32.00 mg g^{-1} , grasa de 25.40 mg g^{-1} y fibra de 208.00 mg g^{-1} .

En cuanto al chícharo, los valores encontrados en esta investigación para vainas de chícharo (semilla y cáscara) y sus partes por separado los resultados fueron de 182.10 a 320.90 mg g^{-1} de proteína, 12.30 a 17.20 mg g^{-1} de grasa, y 12.90 a 32.40 mg g^{-1} de ceniza, valores que están en el rango de los reportados en la literatura. Así Mateos Aparicio *et al.* (2010) informaron una cantidad de proteína de 108.00 mg g^{-1} , grasa de 13.00 mg g^{-1} y 66.00 mg g^{-1} de ceniza en esta especie. Del mismo modo Millar *et al.* (2019) reportaron valores de 215.00 mg g^{-1} de proteína, 12.80 mg g^{-1} de grasa y 27.60 mg g^{-1} de ceniza para chícharos verdes. Rempel *et al.* (2019) estudiaron la harina de guisantes y obtuvieron valores de proteína de 420.00 a 500.00 mg g^{-1} , concentraciones de grasa de 13.30 a 15.70 mg g^{-1} , cenizas de 23.40 a 25.60 mg g^{-1} . Mientras que Dahl *et*

al. (2012) en chícharos reportaron valores de proteína entre 212.00 a 329.00 mg g⁻¹, grasa 12.00 a 24.00 mg g⁻¹ y ceniza 23.00 a 34.00 mg g⁻¹.

2.5.2 Composición mineral de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote

De acuerdo con el análisis de varianza, el contenido de los micronutrientes (minerales y oligoelementos) de las semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote presentaron diferencia significativa ($p < 0.001$). Los requerimientos dietéticos de los minerales en los seres humanos varían desde pocos microgramos hasta un gramo por día y son esenciales para el buen funcionamiento del corazón, el cerebro, así como para la coagulación de la sangre, función nerviosa, reconstrucción estructural de los tejidos corporales y huesos, además participan en la mayoría de los procesos metabólicos, reacciones enzimáticas y la contracción muscular (Ciudad Reynaud, 2014). Por ello, es importante que se suministren estos nutrientes minerales en la dieta. Los micronutrientes esenciales para el ser humano se dividen en dos clases: los minerales que deben aportarse en grandes cantidades a la dieta (100 mg al día, o más) y los oligoelementos esenciales que solo son necesarios unos pocos mg al día (Daza, 2001).

En relación con las concentraciones de minerales en las semillas de calabaza de castilla, vainas de chícharo y ejote, éstos últimos presentaron un mayor contenido de sodio (0.139 mg g⁻¹) y potasio (15.63 mg g⁻¹). En cambio, las semillas de calabaza presentaron mayores concentraciones de magnesio (3.19 mg g⁻¹) y fósforo (9.723 mg g⁻¹). Mientras que las vainas de chícharo presentaron mayor contenido de calcio (0.377 mg g⁻¹) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Concentración de los minerales de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote.

Mineral	Semilla de calabaza	Vaina de chícharo	Ejote
----- mg g ⁻¹ -----			
Calcio	0.05c [†]	0.38a	0.35b
Potasio	3.38c	7.35b	0.015a
Magnesio	3.19a	1.71c	0.001722b
Sodio	0.12c	0.13b	0.14a
Fósforo	9.72a	5.44c	6.07b

[†]valores con la misma letra dentro de las filas no presentan diferencia significativa, Tukey ($\alpha = 0.05$; n = 3). Fuente: Elaboración propia.

Karanja *et al.* (2014) reportaron la presencia de potasio (1.24-3.35 mg g⁻¹) en semillas de calabaza los cuales son similares a los encontrados en esta investigación con 3.38 mg g⁻¹ de potasio. Del mismo modo Hussain *et al.* (2021) encontraron valores de potasio (3.88 mg g⁻¹) y calcio (0.05 mg g⁻¹) en semillas de calabaza (*Cucurbita maxima*) similares a los de esta investigación. Sánchez *et al.* (2020) estudiaron seis variantes de semillas enteras de calabaza (*C. moschata*) y encontraron concentraciones (en peso seco) de magnesio de 2.96 a 24.14 mg g⁻¹, similares a los que se obtuvieron en esta investigación que fueron de 3.18 mg g⁻¹. Sin embargo, en el caso de las concentraciones de fósforo sus valores fueron de 1.75 a 4.37 mg g⁻¹, potasio de 172.10 a 715.60 mg g⁻¹ y calcio de 41.00 a 103.50 mg g⁻¹ diferentes a los de esta investigación que fueron de 9.72 mg g⁻¹ de fósforo, 3.38 mg g⁻¹ de potasio y 0.05 mg g⁻¹ de calcio. Por otro lado, Fernández Valenciano & Sánchez Chávez (2017) obtuvieron valores para la vaina de frijol ejotero (0.00018 mg g⁻¹, 0.00142 mg g⁻¹, 0.00033 mg g⁻¹ y 0.00053 mg g⁻¹ de fósforo, potasio, magnesio y calcio, respectivamente) diferentes a los de esta investigación con 6.07 mg g⁻¹ de fósforo, 0.015 mg g⁻¹ de potasio, 0.001722 mg g⁻¹ de magnesio y 0.35 mg g⁻¹ de calcio.

Mateos Aparicio *et al.* (2010) estudiaron las vainas de chícharo (*P. sativum*) y encontraron valores de magnesio de 2.10 mg g⁻¹, similares a los de esta investigación (1.72 mg g⁻¹), en el caso de los valores de potasio (10.30 mg g⁻¹) y calcio (7.70 mg g⁻¹)

fueron diferentes, ya que los de esta investigación fueron de 7.35 mg g⁻¹ de potasio y 0.377 mg g⁻¹ de calcio. Así mismo, Millar *et al.* (2019) reportaron valores de 1.03 mg g⁻¹ de magnesio, 11.35 mg g⁻¹ de calcio y 10.44 mg g⁻¹ de potasio en chícharos verdes. La diferencia de los valores de esta investigación con los de la literatura puede deberse a varios factores que incluyen la variedad de calabaza, las técnicas, equipos y solventes utilizados para la determinación del contenido de estos minerales, las condiciones climáticas y de cultivo, y de igual manera al almacenamiento poscosecha.

2.5.3 Oligoelementos esenciales de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote

Los ejotes presentaron mayor contenido de molibdeno (0.00483011 mg g⁻¹), hierro (0.10030591 mg g⁻¹) y cobalto (0.00013818 mg g⁻¹). Por otro lado, las semillas de calabaza presentaron mayor concentración de cromo (0.00326827 mg g⁻¹), manganeso (0.031832 mg g⁻¹), cobre (0.00634767 mg g⁻¹), zinc (0.03543907 mg g⁻¹) y selenio (0.00001465 mg g⁻¹) en comparación con las vainas de chícharo y ejote. Mientras que las vainas de chícharo presentaron molibdeno (0.00142652 mg g⁻¹), manganeso (0.02506485 mg g⁻¹), cobre (0.00525487 mg g⁻¹) y selenio (0.00000763 mg g⁻¹), con menores concentraciones que las semillas de calabaza y ejote (Cuadro 15).

Cuadro 15. Concentración de los oligoelementos esenciales de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote.

----- mg g ⁻¹ -----			
Oligoelemento	Semilla de calabaza	Vaina de chícharo	Ejote
Cobalto	0.00009c [†]	0.000098b	0.00013a
Cromo	0.00326a	0.00278c	0.00305b
Cobre	0.00634a	0.00525c	0.00542b
Hierro	0.08670c	0.09425b	0.1003a
Manganeso	0.03183a	0.02506c	0.03102b
Molibdeno	0.0017b	0.00142c	0.00483a
Selenio	0.00001a	0.00001c	0.00001b
Zinc	0.03543a	0.02886b	0.01946c

[†]valores con la misma letra dentro de las filas no presentan diferencia significativa, Tukey ($\alpha = 0.05$; $n = 3$). Fuente: Elaboración propia.

La concentración más alta en los 3 productos evaluados fue de hierro, y se detectó en mayor concentración en el ejote (0.10 mg g^{-1}), seguida por concentraciones elevadas de manganeso, siendo la semilla de calabaza la que presenta mayor contenido de éste (0.031 mg g^{-1}). Las concentraciones reportadas por algunos autores son diferentes a las de esta investigación, sin embargo, ellos mencionan que existe diferencia significativa del contenido de oligoelementos esenciales entre las especies de semillas de calabaza que ellos evaluaron.

Esto indica la variabilidad morfológica que existe entre variantes de cada especie y el potencial que tienen como fuentes de oligoelementos esenciales, tal como lo afirman Darrudi *et al.* (2018). Las concentraciones de zinc en este estudio fueron de $0.03543 \text{ mg g}^{-1}$, similares a las reportadas en otras investigaciones que van de 0.0031 a $0.06554 \text{ mg g}^{-1}$ (Sánchez *et al.*, 2020). Las concentraciones de hierro, manganeso y cobre en semillas enteras de calabaza fueron diferentes a las que reportan Sánchez *et al.* (2020) con concentraciones entre 0.000093 a $0.00001375 \text{ mg g}^{-1}$, de 0.0093 a $0.00438 \text{ mg g}^{-1}$ y de 0.00059 a 0.0033 mg g^{-1} , respectivamente. Del mismo modo Hussain *et al.* (2021) reportan concentraciones de hierro (0.0616 mg g^{-1}) y zinc (0.1521 mg g^{-1}) en semillas de calabaza (*C. maxima*), diferentes a los de esta investigación con valores de $0.08670 \text{ mg g}^{-1}$ de hierro y $0.03543 \text{ mg g}^{-1}$ de zinc. En el caso del ejote y los chícharos verdes, los valores encontrados son similares con la investigación Fernández Valenciano & Sánchez Chávez (2017) para la vaina de frijol ejotero donde se encontraron valores de $0.00561 \text{ mg g}^{-1}$ de cobre, $0.02521 \text{ mg g}^{-1}$ de manganeso, $0.07345 \text{ mg g}^{-1}$ de hierro y $0.01928 \text{ mg g}^{-1}$ de zinc. Y con los que reportan Millar *et al.* (2019) de zinc ($0.03880 \text{ mg g}^{-1}$) y hierro ($0.03310 \text{ mg g}^{-1}$) en chícharos verdes.

2.5.4 Oligoelementos tóxicos de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote

Es necesario conocer la cantidad mineral que se encuentra en los alimentos de consumo humano. Especialmente los minerales cuyo peso atómico está comprendido entre 63.55 y 200.59; dependiendo de la concentración en que se encuentren sus iones y compuestos se consideran tóxicos para el ser humano y para el medio ambiente. Algunos minerales que se consideran en esta categoría son: talio, aluminio, antimonio, bario, flúor,

arsénico, cadmio, cobalto, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo, estaño y zinc (Londoño Franco *et al.*, 2016). Sin embargo, estos elementos pueden servir para generar medicamentos modernos. En el Cuadro 16 se muestran los resultados de los datos obtenidos de los principales oligoelementos tóxicos tanto en las semillas de calabaza como en las vainas de chícharo y ejote. La calabaza es el producto estudiado con mayor cantidad de oligoelementos tóxicos, siendo los principales el antimonio (0.00011372 mg g⁻¹), arsénico (0.00004697 mg g⁻¹), mercurio (0.0000233 mg g⁻¹), plomo-208 (0.00008066 mg g⁻¹) y estaño (0.0900679 mg g⁻¹).

Cuadro 16. Concentración de los oligoelementos tóxicos de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote.

Oligoelemento tóxico (mg g ⁻¹)	Semilla de calabaza	Vaina de chícharo	Ejote
Aluminio	0.02516c [†]	0.05138a	0.004594b
Plata	0.0001a	0.00006c	0.00007b
Arsénico	0.00004a	0.00002c	0.00004b
Bario	0.00065c	0.00721a	0.00461b
Berilio	0.00001c	0.00001a	0.00001b
Cadmio	0.00002b	0.00001c	0.00002a
Cesio	0.00001c	0.00007	0.00002b
Galio	0.00001c	0.00001b	0.00001a
Mercurio	0.00002a	0.00002b	0.00001c
Litio	0.00015c	0.00024b	0.00030a
Níquel	0.00241b	0.00204c	0.00370a
Plomo 206	0.00005a	0.00001c	0.00004b
Plomo 207	0.00005a	0.00003c	0.00005b
Plomo 208	0.00008a	0.000071b	0.00005c
Rubidio	0.00339c	0.02226a	0.01628b
Antimonio	0.00011a	0.00009c	0.00010b
Estaño	0.09006a	0.04050c	0.06577b
Estroncio	0.00413c	0.02610a	0.01927b
Titanio	0.00162c	0.01206a	0.00877b
Talio	NP	0.00002	NP
Uranio	0.00001b	0.00001c	0.0001a

Oligoelemento tóxico (mg g⁻¹)	Semilla de calabaza	Vaina de chícharo	Ejote
Vanadio	0.00006c	0.00009a	0.00007b
Boro	0.00251c	0.004.59b	0.00487a
Bismuto	0.000039c	0.00005a	0.00004b
Torio	0.00001b	0.00001a	0.00001a
Escandio	0.00001b	0.00001a	0.00001a
Germanio	0.00001c	0.00001b	0.00001a
Itrio	0.00001c	0.00001b	0.00002
Circonio	0.00010b	0.00007c	0.00011a
Niobio	0.00003a	0.00002c	0.00002b
Telurio	0.00001a	0.00001c	0.00001b
Lantano	0.00001c	0.00001b	0.00001a
Cerio	0.00002c	0.000022b	0.00003a
Praseodimio	0.00001c	0.00001b	0.00001a
Neodimio	0.00001c	0.00001b	0.000011a
Samario	0.00001c	0.00001b	0.00001a
Europio	NP	NP	NP
Gadolinio	0.00001c	0.00001b	0.00001a
Terbio	NP	NP	NP
Disproseo	0.00001c	0.00001b	0.00001a
Holmio	NP	NP	NP
Erbio	0.00001c	0.00001a	0.00001b
Tulio	NP	NP	NP
Iterbio	NP	NP	NP
Lutecio	NP	NP	NP
Hafnio	0.00001a	0.00001b	0.00001b
Tantalio	0.00001a	0.00001b	0.00001c
Wolframio	0.00001b	0.00001a	0.00001c
Renio	NP	NP	NP
Oro	0.01	NP	NP

[†]valores con la misma letra dentro de las filas no presentan diferencia significativa, Tukey ($\alpha = 0.05$; n = 3). Donde: NP = no presente. Fuente: Elaboración propia.

Los oligoelementos tóxicos se presentaron en mayor concentración en los ejotes mientras que en las semillas de calabaza se encontró la menor concentración. De acuerdo con Berdonces (1996), los datos de la tabla de ingesta diaria estimada de metales, oligoelementos y su toxicidad, cuando se consume semilla de calabaza no superan los límites máximos permitidos para su ingesta diaria de cadmio, arsénico, talio, antimonio y plomo. Es decir, se puede consumir hasta 500 g de estas semillas y no supera el límite diario permitido de mercurio. Existe poca información de los oligoelementos tóxicos de semillas de calabaza completas, vainas de chícharo y ejote completas. Sin embargo, Fernández Valenciano & Sánchez Chávez (2017) en vainas de frijol ejotero obtuvieron valores de níquel (0.004 mg g^{-1}) similares a lo encontrado en esta investigación (0.0037 mg g^{-1}).

En general, la contaminación por metales pesados está asociada comúnmente con las descargas municipales e industriales (desechos inorgánicos, descargas sólidas de residuos peligrosos y basura doméstica e industrial) que van directamente hacia los cuerpos de agua. Sin embargo, en este estudio el principal factor que puede explicar las altas concentraciones de aluminio y estaño, es tal vez por la contaminación orgánica y utilización de agroquímicos que se aplican antes y durante la producción de las calabazas, chícharos y ejote. De acuerdo con Berdonces (1996) el aluminio y estaño sobrepasaron los límites permisibles en los tres productos evaluados en este estudio, siendo estos límites distintos en cada país.

De igual forma no se presentó concentración de metales pesados como europio, terbio, holmio, tulio, iterbio, lutecio y renio en estas semillas y vainas y se observaron concentraciones bajas de oro, hafnio, erbio, disprosio, gadolinio, samario y praseodimio.

Para lograr un aprovechamiento óptimo de los productos evaluados, se recomienda el uso combinado de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote para ayudar a combatir la desnutrición con alimentos naturales, a diseñar dietas para recuperación de pacientes crónicos y a prevenir estados carenciales en la población en general (Cáceres & Cruz, 2019). Así mismo estos resultados contribuyen a tener información completa de la composición química de alimentos o generar bases de datos como la tabla suiza (Suiza, 2021).

2.6 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de esta investigación, las cáscaras de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y tienen elevada composición en fibra, carbohidratos, proteína y minerales, por lo que pueden considerarse como una fuente importante de nutrientes esenciales que pudieran constituir una alternativa en el futuro para fortificar las harinas comerciales y ser utilizadas también por la población como alimentos naturales o sintéticos.

Debido a la composición química de las semillas de calabaza con cáscara, las vainas completas de chícharo y ejote (altas concentraciones de potasio, fósforo y magnesio y muy bajas de minerales tóxicos) resultan ser una alternativa para el desarrollo sustentable de la tecnología alimentaria, la salud y la alimentación, sin causar contaminación ambiental. Sin embargo, la información es escasa para generar tecnología, productos alimentarios y no alimentarios; por ello, es necesario realizar investigaciones que permitan utilizar la información de manera óptima, racional y efectiva en el procesamiento de la agroindustria 4.0 y por el consumidor sin dañar el ambiente.

2.7 LITERATURA CITADA

- AOAC. (1975). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (12th ed.). En *AOAC International* (Vol. 65). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jps.2600650148>
- AOAC. (1990). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (15th ed.). En *AOAC International*. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition-2019/>
- Berdonces, J. L. (1996). Toxicidad de metales y oligoelementos y de aditivos alimentarios. *Natura Medicatrix: Revista médica para el estudio y difusión de las medicinas alternativas*, 45(7), 20-25.
- Cáceres, A., & Cruz, S. M. (2019). Edible seeds, leaves and flowers as maya super foods: Function and composition. *International Journal of Phytocosmetics and Natural Ingredients*, 6(1), 2-2. <https://doi.org/10.15171/ijpni.2019.02>
- Ciudad Reynaud, A. (2014). Requerimiento de micronutrientes y oligoelementos. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*, 60(2), 161-170.
- Dahl, W. J., Foster, L. M., & Tyler, R. T. (2012). Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). *The British Journal of Nutrition*, 108 Suppl 1, S3-10. <https://doi.org/10.1017/S0007114512000852>
- Darrudi, R., Nazeri, V., Shokrpour, M., & Ercolano, M. R. (2018). Genetic diversity of Cucurbita pepo L. and Cucurbita moschata Duchesne accessions using fruit and seed quantitative traits. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants.*, 9, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.11.003>
- Daza, C. H. (2001). Malnutrición de micronutrientes. Estrategias de prevención y control. *Colombia Médica*, 32(5), 95-98.
- Fernández Valenciano, A. F., & Sánchez Chávez, E. (2017). Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova scientia*, 9(18), 133-148. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.763>
- Hussain, A., Kausar, T., Din, A., Murtaza, M. A., Jamil, M. A., Noreen, S., Rehman, H. ur, Shabbir, H., & Ramzan, M. A. (2021). Determination of total phenolic, flavonoid, carotenoid, and mineral contents in peel, flesh, and seeds of pumpkin (*Cucurbita maxima*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6), 15542. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15542>
- Jakubowska, M., Zembruski, W., & Lukaszewski, Z. (2006). Oxidative extraction versus total decomposition of soil in the determination of thallium. *Talanta*, 68(5), 1736-1739. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2005.08.035>
- Karanja, J., Mugendi, J., Khamis, F., & Muchugi, A. (2014). Nutritional composition of the Pumpkin (*Cucurbita* spp.) Seed cultivated from selected regions in Kenya.

- International Journal of Agriculture and Forestry*, 4(195-200).
<https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20140403.08>
- Labrador, A. J. P. (2006). Colapso. Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen. *Revista de Investigación en Educación*, 3, 747.
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153.
[https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Martínez Aguilar, Y., Martínez Yero, O., Córdova López, J., Valdivié Navarro, M., & Estarrón Espinosa, M. (2011). Fitoesteroides y escualeno como hipocolesterolémicos en cinco variedades de semillas de Cucurbita maxima y Cucurbita moschata (calabaza). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(1), 72-81.
- Mateos-Aparicio, I., Redondo-Cuenca, A., Villanueva-Suárez, M. J., Zapata-Revilla, M. A., & Tenorio-Sanz, M. D. (2010). Pea pod, broad bean pod and okara, potential sources of functional compounds. *LWT - Food Science and Technology*, 43(9), 1467-1470. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.008>
- Millar, K. A., Gallagher, E., Burke, R., McCarthy, S., & Barry-Ryan, C. (2019). Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. *Subtropical plant science*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.ifca.2019.103233>
- ONU. (2021). *Población mundial | Fondo de Población de las Naciones Unidas*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.unfpa.org/es/data/world-population-dashboard>
- Pachón, H. (2010). El impacto nutricional de cultivos biofortificados o cultivos con mayor calidad nutricional. *AgroSalud; Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, 12.
- Rempel, C., Geng, X., & Zhang, Y. (2019). Industrial scale preparation of pea flour fractions with enhanced nutritive composition by dry fractionation. *Food Chemistry*, 276, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.003>
- Rössel Kipping, D., Ortiz Laurel, H., Amante Orozco, A., Durán García, H. M., & López Martínez, L. A. (2018). Características físicas y químicas de la semilla de calabaza para mecanización y procesamiento. *Nova scientia*, 10(21), 61-77. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1467>
- Sánchez, F. A. C., López, C. J. A., Alejo, J. C., & Ramírez, A. R. (2020). Características morfológicas y determinación de minerales por μ -xrf en fruto de calabaza (*Cucurbita moschata* DUCH). *Agrociencia*, 54(5), 683-690. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i5.2125>

- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Pasado, presente y futuro. *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A. C.*, 16(2), 14-46.
- Suiza. (2021). *Nutrients*. The Swiss Food Composition Database [Base de datos]. <https://naehrwertdaten.ch/en/nutrients/>
- Velasco-Lavín, M. del R. (2016). La desnutrición y la obesidad: Dos problemas de salud que coexisten en México. *Revista Mexicana de Pediatría*, 83(1), 5-6.
- WHO & FAO. (2004). Vitamin and mineral requirements in human nutrition (2nd. Ed). *World Health Organization, and Food and Agriculture Organization of the United Nations*.

CONCLUSIONES GENERALES

El presente trabajo de Tesis permitió realizar la caracterización física y química de las de semillas de calabaza de castilla (*C. moschata*), vainas de chícharo verde (*P. sativum*) y ejote de frijol pinto saltillo (*P. vulgaris*), representa una importante contribución destinada a la revalorización de estas semillas, vainas y sus subproductos (residuos agrícolas) en forma de harinas, para su uso adecuado en la agroindustria 4.0, mediante el desarrollo de alimentos funcionales, sintéticos y semisintéticos, con beneficios potenciales para el consumidor.

La información obtenida a partir de la caracterización de las propiedades físicas de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote es útil para mejorar de manera eficaz la elaboración de máquinas, la elección de sus estructuras para el almacenamiento, transporte, limpieza, selección, y el procesamiento en la agroindustria 4.0. Se obtuvo información acerca de la microestructura de las harinas de semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote mediante microscopía óptica. Las micrografías permitieron visualizar que las harinas están constituidas por partículas de diferentes tamaños, formas y partes de las semillas y vainas (pericarpio y semilla), partes importantes en la mejora de futuras mezclas de diferentes harinas (harinas de plantas, hojas, tallos, raíz, frutos, semillas, etc.). Además, presentaron características estructurales similares, observándose solo pequeñas variaciones en la cantidad del porcentaje en cada tamaño de partícula, así como tamaños de partícula que cumplen con lo establecido en la NOM-007-1982 para su uso en la elaboración de galletas y pastas.

La variación en las propiedades químicas de las semillas de calabaza, vainas de chícharo y ejote puede estar asociada a las proporciones de fibra, grasa y carbohidratos, así como a la concentración de los minerales constituyentes en las harinas. Además, el conocimiento estas propiedades químicas se complementan a los alimentos elaborados, confiriéndoles características sensoriales, nutricionales, físicas y temporales, las cuales son determinantes para maniobrar de manera adecuada la materia prima en procesos agroindustriales 4.0. El contenido de minerales es sustentable para la población mundial

y muy amplio y demuestra que estas harinas pueden considerarse como una fuente importante de nutrientes esenciales, los cuales también podrían estar concentrados en las diferentes partes de las plantas, y generar harinas para potenciar el valor nutricional, siendo una alternativa para complementar las harinas comerciales utilizadas por la población de México y el mundo por sus propiedades físicas y nutricionales que permiten personalizar los productos en respuesta a las demandas de los consumidores y lograr ajustes rápidos en el momento en el que las condiciones de las materias primas o las condiciones del proceso se vean alteradas. Así mismo para que las semillas, vainas y subproductos sean utilizados de manera óptima, racional y efectiva en los procesos de transformación de la agroindustria y por el consumidor, para el desarrollo sustentable de la alimentación, salud, biomateriales y tecnología alimentaria, sin dañar el ambiente.

Los resultados de esta investigación muestran que la producción de harina, a partir de los materiales aquí evaluados, representa una excelente alternativa, dadas las grandes ventajas que tienen las harinas en cuanto a su manejo y almacenamiento, así como a su mayor concentración de energía en relación a los materiales sin procesar. El uso de estas harinas en combinación con la amplia gama de tecnologías disponibles en la agroindustria 4.0 expanden el panorama en la elaboración de productos alimenticios y no alimenticios de buena calidad a partir de estos productos agrícolas.

RECOMENDACIONES

Realizar la caracterización física a las partículas de las harinas.

Realizar la caracterización física y química de otros órganos de las plantas (residuos agroindustriales como raíces, tallos, hojas, flores, entre otros).

Realizar la caracterización reológica y mecánica de las harinas, masa y productos terminados.

LITERATURA CITADA

- AACC Int, A. A. o. C. C. (2000). *55-10.01 Test Weight per Bushel*. Cereals & Grains Association.
<https://www.cerealsgrains.org/resources/Methods/Pages/55PhysicalTests.aspx>
- Aguirre Santos, E. A., & Gomez Aldapa, C. A. (2010). *Evaluación de las características fisicoquímicas en la especie de frijol Phaseolus vulgaris de las variedades; Pinto Saltillo, Bayo Victoria y Negro San Luis*. 8.
https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_FisicAlim/Carlos_Aldapa/4.pdf
- Ancín, J. M. S. de V. (2021). *El plan de marketing digital en la práctica*. ESIC Editorial.
- AOAC. (1975). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (12th ed.). En *AOAC International* (Vol. 65).
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jps.2600650148>
- AOAC. (1990). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (15th ed.). En *AOAC International*. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition-2019/>
- Asto Bonilla, L. M. (2019). Evaluación del contenido de fitoesteroles, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en la harina de semilla de calabaza (*Cucurbita ficifolia*). *Universidad Nacional del Centro del Perú*.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5177>
- Austin, A. L., & Luján, L. L. (2019). *El pasado indígena*. Fondo de Cultura Económica.
- Aviara, N. A., Gwandzang, M. I., & Haque, M. A. (1999). Physical properties of Guna seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021863498903742>
- Babić, L., Babic, M., Turan, J., Matic-Kekić, S., Radojcin, M., Mehandžić-Stanišić, S., Pavkov, I., & Zoranović, M. (2011). Physical and stress-strain properties of wheat

- (*Triticum aestivum*) kernel. *Journal of the science of food and agriculture*, 91, 1236-1243. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4305>
- Barak, S., Mudgil, D., & Khatkar, B. (2014). Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 51, 211-217. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.011>
- Barros Fernández, P. (2014). *Organismos modificados genéticamente en la alimentación humana* [Licenciatura, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/6721>
- Bedolla, S., & Rooney, L. W. (1984). Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World*, 29(11), 732-735.
- Berdonces, J. L. (1996). Toxicidad de metales y oligoelementos y de aditivos alimentarios. *Natura Medicatrix: Revista médica para el estudio y difusión de las medicinas alternativas*, 45(7), 20-25.
- Bhiese, S. R., Kaur, A., & Manikantan, M. R. (2014). Moisture dependent physical properties of wheat grain (PBW 621). *International Journal of Engineering Practical Research*, 3, 40-45.
- Black, R. G., Brouwer, J. B., Meares, C., & Iyer, L. (1998). Variation in physico-chemical properties of field peas (*Pisum sativum*). *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096399699800057X>
- Bradfield, J. P., Taal, H. R., Timpson, N. J., Scherag, A., Lecoeur, C., Warrington, N. M., Hypponen, E., Holst, C., Valcarcel, B., Thiering, E., Salem, R. M., Schumacher, F. R., Cousminer, D. L., Sleiman, P. M. A., Zhao, J., Berkowitz, R. I., Vimalaswaran, K. S., Jarick, I., Pennell, C. E., ...the Early Growth Genetics (EGG) Consortium. (2012). A genome-wide association meta-analysis identifies new childhood obesity loci. *Nature Genetics*, 44(5), 526-531. <https://doi.org/10.1038/ng.2247>

- Bravo Delgado, H. R., Martínez, M. L. O., Loeza Corte, J. M., & Díaz López, E. (2021). Comportamiento ecofisiológico de tres cultivares de ejote *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) bajo un clima de transición templado a seco. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24, 1-7. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.331>
- Cabello, M. C., Dorado Pérez, ma del pilar, & Pinzi, S. (2021). Las grandes aliadas para una cadena alimentaria sostenible. *Distribucion y consumo*, 1, 8.
- Cáceres, A., & Cruz, S. M. (2019). Edible seeds, leaves and flowers as maya super foods: Function and composition. *International Journal of Phytocosmetics and Natural Ingredients*, 6(1), 2-2. <https://doi.org/10.15171/ijpni.2019.02>
- Campos Vega, R., Loarca Piña, G., & Oomah, B. D. (2010). Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food Research International*, 43(2), 461-482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.004>.
- Cáseres, E., Piña, K., Berrío, T., & Leal, N. (2010). Comparación morfológica de frutos y semillas de auyama (*Cucurbita moschata* Duch. Ex Lam). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 28, 32-36.
- Castillo Morgado, L. D. (2020). *Tendencias y desafíos de la impresión 3D en el procesado de alimentos* [Licenciatura, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/103891/DEL%20CASTILLO%20MORGADO%20LUCIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chirico Scheele, S., Binks, M., & Egan, P. F. (2020). *Design and Manufacturing of 3D Printed Foods with User Validation*. ASME 2020 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. <https://doi.org/10.1115/DETC2020-22462>
- Ciudad Reynaud, A. (2014). Requerimiento de micronutrientes y oligoelementos. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*, 60(2), 161-170.

- Dahl, W. J., Foster, L. M., & Tyler, R. T. (2012). Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). *The British Journal of Nutrition*, 108 Suppl 1, S3-10. <https://doi.org/10.1017/S0007114512000852>
- Darrudi, R., Nazeri, V., Shokrpour, M., & Ercolano, M. R. (2018). Genetic diversity of Cucurbita pepo L. and Cucurbita moschata Duchesne accessions using fruit and seed quantitative traits. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants.*, 9, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.11.003>
- Daza, C. H. (2001). Malnutrición de micronutrientes. Estrategias de prevención y control. *Colombia Médica*, 32(5), 95-98.
- Delgado Paredes, G. E., Rojas Idrogo, C., Sencie Tarazona, Á., & Vásquez Núñez, L. (2014). Caracterización de frutos y semillas de algunas cucurbitáceas en el norte del Perú. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(1), 7-20.
- Demain, A. (2007). REVIEWS: The business of biotechnology. *Industrial Biotechnology*, 3, 269-283. <https://doi.org/10.1089/ind.2007.3.269>
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100011
- Dutta, S. K., Nema, V. K., & Bhardwaj, R. K. (1988). Physical properties of gram. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 39(4), 259-268. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(88\)90147-3](https://doi.org/10.1016/0021-8634(88)90147-3)
- Elzebroek, A. T. G. (2008). *Guide to cultivated plants. In: Koop Wind* (CABI Series). <http://books.google.fr/books?id=YvU1XnUVxFQC>
- FAO & IEAEA. (2018). *Resiliencia y adaptación al cambio climático*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; IAEA. <https://www.iaea.org/es/temas/resiliencia-y-adaptacion-al-cambio-climatico>

- Fernández Valenciano, A. F., & Sánchez Chávez, E. (2017). Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova scientia*, 9(18), 133-148. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.763>
- Galan, P., Babio, N., & Salas Salvadó, J. (2019). Nutri-Score: El logotipo frontal de información nutricional útil para la salud pública de España que se apoya sobre bases científicas. *Nutrición Hospitalaria*, 36(5), 1213-1222. <https://doi.org/10.20960/nh.02848>
- Ganjloo, A., Bimakr, M., Zarringhalami, S., Jalili-Safaryan, M., & Ghorbani, M. (2018). Moisture-dependent physical properties of green peas (*Pisum sativum* L.). *International Food Research Journal*, 25(3), 1246-1252.
- Gaspera, P. D. (2013). *Manual del cultivo del zapallo anquito (Cucurbita moschata DUCH.)*. La Consulta.
- Gomez, M. H., Rooney, L. W., Waniska, R. D., & Pflugfelder, R. L. (1987). Dry corn masa flours for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World*, 32(5), 375-377.
- Gritton, E. T. (1980). Field Pea. En *Hybridization of Crop Plants* (pp. 347-356). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2135/1980.hybridizationofcrops.c23>
- Gutierrez Oppe, E. E. (2020). *Modelo de gestión sustentable de residuos agroindustriales para la producción de químicos en biorefinerías en Arequipa* [Licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/12988>
- Hassan, M. H. A. (2005). Nanotechnology. Small things and big changes in the developing world. *Science*, 309, 65-66. <https://doi.org/10.1126/science.1111138>
- Herrera, J., & Hernandez, C. (2019). *Investigaciones científicas y agrotecnológicas para la seguridad alimentaria*. <http://www.ceil-conicet.gov.ar/ojs/index.php/revistaalasru/article/view/154>

https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Characterization+of+the+breaking+behaviour+of+whole+cocoa+Pods.&author=Maduako+J.N.&publication_year=1994

Hussain, A., Kausar, T., Din, A., Murtaza, M. A., Jamil, M. A., Noreen, S., Rehman, H. ur, Shabbir, H., & Ramzan, M. A. (2021). Determination of total phenolic, flavonoid, carotenoid, and mineral contents in peel, flesh, and seeds of pumpkin (*Cucurbita maxima*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6), 15542. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15542>

INEGI. (2020). *Población. Rural y urbana*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema_P

Infantes Otero, L. A. (2022). *Aplicación de la espectroscopia THz en el Análisis no Invasivo de Alimentos: Una revisión* [Licenciatura, Universidad Nacional de Frontera]. <http://repositorio.unf.edu.pe//handle/UNF/133>

INIFAP. (2001). *Pinto Saltillo: nueva variedad de frijol para el sureste del estado de Coahuila*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/678.pdf>

INIFAP. (2006). *Pinto Saltillo, nueva variedad de frijol para el altiplano de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. [inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/208.pdf](http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/208.pdf)

Ixtaina, V. Y. (2010). *Caracterización de la semilla y el aceite de chía (Salvia hispanica L.) obtenido mediante distintos procesos: Aplicación en tecnología de alimentos* [Doctorado, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/2679>

Jacobo Valenzuela, N., Maróstica Junior, M., Zazueta Morales, J., & Gallegos Infante, J. (2011). Physicochemical, technological properties, and health-benefits of *Cucurbita moschata* Duchense vs. *Cehualca* A Review. *Food Research International*, 44, 2587-2593. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.039>

- Jain, R. K., & Bal, S. (1997). Properties of Pearl Millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(66), 85-91. <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0119>
- Jakubowska, M., Zembruski, W., & Lukaszewski, Z. (2006). Oxidative extraction versus total decomposition of soil in the determination of thallium. *Talanta*, 68(5), 1736-1739. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2005.08.035>
- Karanja, J., Mugendi, J., Khamis, F., & Muchugi, A. (2014). Nutritional composition of the Pumpkin (*Cucurbita* spp.) Seed cultivated from selected regions in Kenya. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 4(195-200). <https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20140403.08>
- Kim, M. Y., Kim, E. J., Kim, Y.-N., Choi, C., & Lee, B. H. (2012). Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (*Cucurbitaceae*) species and parts. *Nutrition Research and Practice*, 6(1), 21-27. <https://doi.org/10.4162/nrp.2012.6.1.21>
- Kotler, P., Kartajaya, H., & Setiawan, I. (2021). *Marketing 5.0: Tecnología para la humanidad*. LID Editorial.
- Labrador, A. J. P. (2006). Colapso. Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen. *Revista de Investigación en Educación*, 3, 747.
- Lépiz Idefonso, R., López Alcocer, J. J., Sánchez González, J. J., Santacruz-Ruvalcaba, F., Nuño Romero, R., & Rodríguez Guzmán, E. (2010). Características morfológicas de formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común de hábito trepador. *Revista fitotecnia mexicana*, 33(1), 21-28.
- Linnaeus, C. (1753). *Species Plantarum. La primera Flora de la taxonomía moderna* (Vol. 2). Universidade de Vigo.
- Lira, R., & Arévalo, I. R. (1999). Cucurbitaceae. *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán*, 22, 5-61.

- Lira, S. R. (1995). *Estudios taxonomicos y ecogeograficos de las Cucurbitaceae Latinoamericanas de importancia economica*. Rome (Italy) IPGRI.
- Lira, S. R., & Montes, H. S. (1992). *Cultivos marginados otra perspectiva de 1492. La agricultura en mesoamérica. Cucurbita (Cucurbita spp)*. Cultivos Andinos-FAO. <https://www.fao.org/3/t0646s/t0646s.pdf>
- Llamuca Supe, E. S. (2020). *AMQP empleado en procesos industriales basados en sistemas Ciber físicos de producción*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/30753>
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Maduako J. N, & Faborode, M. O. (1994). Characterization of the breaking behaviour of whole cocoa pods. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59(2), 89-96.
- Manzanal, M. (2016). Acumulación, crisis y la problemática del hambre y de la desnutrición en América latina. *Revista Latinoamericana de Estudios Rurales*, 1(1).
- Martínez Aguilar, Y., Martínez Yero, O., Córdova López, J., Valdivié Navarro, M., & Estarrón Espinosa, M. (2011). Fitoesteroles y escualeno como hipocolesterolémicos en cinco variedades de semillas de Cucurbita maxima y Cucurbita moschata (calabaza). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(1), 72-81.
- Mateos-Aparicio, I., Redondo-Cuenca, A., Villanueva-Suárez, M. J., Zapata-Revilla, M. A., & Tenorio-Sanz, M. D. (2010). Pea pod, broad bean pod and okara, potential sources of functional compounds. *LWT - Food Science and Technology*, 43(9), 1467-1470. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.008>

- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott. (1986). Unit Operations. En *Chemical Engineering (5th Ed.)*. McGRAW-HILL International Editions. <https://silo.pub/unit-operations-in-chemical-engineering-5th-edition.html>
- Mejri, F., Ben Khoud, H., Njim, L., Baati, T., Selmi, S., Martins, A., Serralheiro, M. L. M., Rauter, A. P., & Hosni, K. (2019). In vitro and in vivo biological properties of pea pods (*Pisum sativum L.*). *Food Bioscience*, 32, 100482. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100482>
- Meneses, R., Waaijenberg, H., & Piérola, L. (1996). *Las leguminosas en la agricultura Boliviana, Revisión de información*. <https://research.wur.nl/en/publications/las-leguminosas-en-la-agricultura-boliviana-revisi%C3%B3n-de-informaci>
- Mestre, M. V. (2018). Bioeconomía: El diseño de un cambio de rumbo. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, 125, 18.
- Millar, K. A., Gallagher, E., Burke, R., McCarthy, S., & Barry-Ryan, C. (2019). Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. *Subtropical plant science*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.ifca.2019.103233>
- Mohsenin, N. N. (1986). Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. En *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. (Vol. 31, p. 702). Gordon and Breach Science Publishers. <https://doi.org/10.1002/food.19870310724>
- Mostacero León, J., Mejia Coico, F. R., & Gamarra Torres, O. (2002). *Taxonomía de las fanerógamas útiles del Perú*. Concytec.
- Muñoz, O. Q. (2019). Internet de las Cosas (IoT). ibukku, LLC.
- NMX-F-007. (1982). *Alimento para humanos. Harina de trigo. Foods for humans. Wheat flour. Dirección general de normas. Dirección general de Normas Mexicanas*. http://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-F-007-1982_harina_de_trigo.pdf

- ONU. (2021). *Población mundial | Fondo de Población de las Naciones Unidas*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.unfpa.org/es/data/world-population-dashboard>
- Orhan, I., & Sener, B. (2002). Fatty acid content of selected seed oils. *Journal of Herbal Pharmacotherapy*, 2(3), 29-33. https://doi.org/10.1080/J157v02n03_03
- Ortega-Rivas, E., Juliano, P., Yan, H., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality*. Springer.
- Ortiz Grisales, S., Pasos López, S. C., Rivas Abadía, X. C., Valdés Restrepo, M. P., & Vallejo Cabrera, F. A. (2009). Extracción y caracterización de aceite de semillas de zapallo. *Acta Agronómica*, 58(3), 145-151.
- Pachón, H. (2010). El impacto nutricional de cultivos biofortificados o cultivos con mayor calidad nutricional. *AgroSalud; Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, 12.
- Pantförder, D., Vogel-Heuser, B., & Schweizer, K. (2009). Benefit and Evaluation of Interactive 3D Process Data Visualization for the Presentation of Complex Problems. In: Jacko, J.A. (eds) Human-Computer Interaction. Novel Interaction Methods and Techniques. HCI 2009. *Lecture Notes in Computer Science*, 511, 869-878. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02577-8_95
- Peretti, A. (1994). *Manual para análisis de semillas*. Hemisferio Sur.
- Petkova, Z., & Antova, G. (2015). Changes in the composition of pumpkin seeds (*Cucurbita moschata*) during development and maturation. *Grasas y Aceites*, 66(1), e058. <https://doi.org/10.3989/gya.0706142>
- Pumalpa Meneses, D., Cantaro Segura, H., Estrada Cañari, R., & Huaringa Joaquín, A. (2020). Caracterización Fenotípica y Agronómica de líneas avanzadas del frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a virus en Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(1), 7-20.

- Rempel, C., Geng, X., & Zhang, Y. (2019). Industrial scale preparation of pea flour fractions with enhanced nutritive composition by dry fractionation. *Food Chemistry*, 276, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.003>
- Rössel Kipping, D., Ortiz Laurel, H., Amante Orozco, A., Durán García, H. M., & López Martínez, L. A. (2018). Características físicas y químicas de la semilla de calabaza para mecanización y procesamiento. *Nova scientia*, 10(21), 61-77. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1467>
- Salazar-Barrientos, L. de L., Magaña-Magaña, M. Á., Aguilar-Jiménez, A. N., & Ricalde-Pérez, M. F. (2016). Factores socioeconómicos asociados al aprovechamiento de la agrobiodiversidad de la milpa en Yucatán. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(9), 391-400.
- Sánchez Aceves, L. M. (2014). *"Inclusión de proteína de chícharo en el desarrollo de alimentos funcionales de panificación (pan de caja)"* [Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/14732>
- Sánchez, D. M., Ruiz, L. T., & Suárez, O. J. (2016). Evaluación de la forma, redondez, esfericidad y ecuantidad en granos comerciales de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) y arveja (*Pisum sativum*). *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 3(1), 5-17. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2016v3n1.001>
- Sánchez, F. A. C., López, C. J. A., Alejo, J. C., & Ramírez, A. R. (2020). Características morfológicas y determinación de minerales por μ -xrf en fruto de calabaza (*Cucurbita moschata* DUCH). *Agrociencia*, 54(5), 683-690. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i5.2125>
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Pasado, presente y futuro. *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A. C.*, 16(2), 14-46.

- SIAP. (2019). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sishi, M., & Telukdarie, A. (2020). Implementation of Industry 4.0 technologies in the mining industry—A case study. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 11(1), 1-22. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2020.105852>
- Soetaert, W., & Vandamme, E. (2006). The impact of industrial biotechnology. *Biotechnology Journal*, 1(7-8), 756-769. <https://doi.org/10.1002/biot.200600066>
- Suiza. (2021). *Nutrients*. The Swiss Food Composition Database [Base de datos]. <https://naehrwertdaten.ch/en/nutrients/>
- Tapia Rivera, J. C. T. (2016). *Nutrigenómica y Nutrigenética para nutricionistas*. 17(1), 6.
- Upadhyay, S. K., Singh, J. S., Saxena, A. K., & Singh, D. P. (2012). Impact of PGPR inoculation on growth and antioxidant status of wheat under saline conditions. *Plant Biology (Stuttgart, Germany)*, 14(4), 605-611. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2011.00533.x>
- Valdez, I., Acosta Gallegos, J., Ibarra Pérez, F., Rosales Serna, R., & Robles, E. (2009). *Pinto Saltillo: variedad mejorada de frijol para el Estado de Durango (1a. Ed.)*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Valdivia-Medina, R. Y., Pedro-Valdés, S., & Laurel-Gómez, M. (2010). Agua para uso en laboratorios. *Boletín Científico Técnico INIMET.*, 1, 3-10.
- Velasco-Lavín, M. del R. (2016). La desnutrición y la obesidad: Dos problemas de salud que coexisten en México. *Revista Mexicana de Pediatría*, 83(1), 5-6.
- Vilcapoma, G. (1991). *Manual de Botánica Sistemática*. (Vol. 2). 22.
- Vilchis Velazquez, R. (2019). *Evaluación de las propiedades físicas y viscoelásticas de granos de trigo (Triticum aestivum L.), centeno (Secale cereale L.) y triticale (X*

- Triticosecale Wittmack*) [Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/105736>
- Wang, N., Daun, J. K., & Malcolmson, L. J. (2003). Relationship between physicochemical and cooking properties, and effects of cooking on antinutrients, of yellow field peas (*Pisum sativum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(12), 1228-1237. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1531>
- Weststrate, J. A., Poppel, G. van, & Verschuren, P. M. (2002). Functional foods, trends and future. *British Journal of Nutrition*, 88(S2), S233-S235. <https://doi.org/10.1079/BJN2002688>
- WHO & FAO. (2004). Vitamin and mineral requirements in human nutrition (2nd. Ed). *World Health Organization, and Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Wilhelm, W., Johnson, J. M. F., Hatfield, J. L., Voorhees, W. B., & Linden, D. R. (2004). Crop and Soil Productivity Response to Corn Residue Removal: A Literature Review. *Agronomy Journal*, 96, 1-17. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.1000a>
- Yalçın, İ., Özarıslan, C., & Akbař, T. (2007). Physical properties of pea (*Pisum sativum*). *Journal of Food Engineering*, 79(2), 731-735. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.039>