



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS  
AGRÍCOLAS

CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

POSTGRADO DE INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS  
NATURALES

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS  
Y QUÍMICAS DE LAS  
SEMILLAS DE  
TUNA (*Opuntia* spp) PARA USO  
AGROINDUSTRIAL**

MÓNICA DE JESÚS ÁLVAREZ CASTILLO

T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE:  
MAESTRA EN CIENCIAS

SALINAS DE HIDALGO, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

2022

La presente tesis titulada: **“Características físicas y químicas de las semillas de tuna(*Opuntia spp*) para uso agroindustrial”** realizada por la estudiante: **“Mónica de Jesús Álvarez Castillo”** 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

  
\_\_\_\_\_  
Dr. ERICH DIETMAR RÖSSEL KIPPING

ASESOR

\_\_\_\_\_  
Dr. ISMAEL HERNANDEZ RÍOS

ASESOR

\_\_\_\_\_  
Dr. ALEJANDRO AMANTE OROZCO

ASESOR

\_\_\_\_\_  
Dra. LAURA ARACELI LÓPEZ  
MARTÍNEZ

# CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS SEMILLAS DE TUNA (*Opuntia* spp) PARA USO AGROINDUSTRIAL

Mónica de Jesús Álvarez Castillo, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## RESUMEN

El incremento poblacional tiene como resultado el uso descontrolado de los recursos naturales, siendo México el décimo país en población, lo que conlleva al desarrollo de industrias alimentarias. Esto ocasiona problemas de contaminación debido a la generación de pérdidas en la recolección, almacenamiento, transporte y procesamiento, originando 76 millones de toneladas de residuos al año. En el caso de la tuna, las semillas son consideradas residuo. Para utilizar las semillas de la tuna es necesario conocer sus características físicas y químicas; y así poder someterlas a nuevos procesos agroindustriales, como el proceso de transformación en materia prima tecnológicamente unificada (harina). El objetivo de esta investigación fue medir características físicas tales como curva de secado, dimensiones, fricción interna y externa, distribución de partículas mediante proceso de molienda y tamizado de harina y semillas, así como conductividad eléctrica y análisis químico proximal de grasa, humedad, cenizas, proteína, carbohidratos, fibra y minerales. La evaluación de los resultados fue con un diseño completamente al azar con arreglo factorial al 95 % de significancia y prueba Tukey al 95 %. Las dimensiones, fricción interna y externa de las semillas y harina presentaron diferencias entre variedad ( $p < 0.05$ ) a excepción de la fricción interna de las harinas ( $p > 0.05$ ). Las partículas obtenidas tuvieron del 50 a 60 % de retención en la malla de 0.59 mm, la conductividad eléctrica se ubicó en valores bajos con calidad para la industria alimentaria, dentro del contenido químico las variedades presentaron valores adecuados para la utilización en la agroindustria, destacando el contenido de fibra, proteína y aceite. Finalmente, el contenido de minerales analizados fue diferente entre cada variedad ( $p < 0.05$ ). Con base en los anterior, las semillas de tuna son aptas para ser utilizadas en diferentes procesos agroindustriales.

**Palabras clave:** harina, semillas, tuna, procesos, agroindustria.

**PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF PRICKLY PEAR  
(*Opuntia*)SEEDS FOR AGRO-INDUSTRIAL USE**

**Mónica de Jesús Álvarez Castillo, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2022**

**ABSTRACT**

The increase in population has resulted in the uncontrolled use of natural resources, with Mexico being the tenth country in terms of population, which leads to the development of food industries. This causes pollution problems due to the generation of losses in collection, storage, transportation, and processing, resulting in 76 million tons of wastes per year. In the case of prickly pear, the seeds are considered waste. In order to use prickly pear seeds, it is necessary to know their physical and chemical characteristics, and thus be able to subject them to new agroindustrial processes, such as the transformation process into technologically unified raw material (flour). The objective of this research was to measure physical characteristics such as drying curve, dimensions, internal and external friction, particle distribution by grinding and sieving of flour and seeds, as well as electrical conductivity and proximal chemical analysis of fat, moisture, ash, protein, carbohydrates, fiber and minerals. The results were evaluated with a completely randomized design with factorial arrangement at 95 % significance and Tukey test at 95 % reliability to determine possible differences between samples. The dimensions, internal and external friction of the seeds and flour showed differences between varieties ( $p < 0.05$ ) with the exception of the internal friction of the flours ( $p > 0.05$ ). The particles obtained had 50 to 60% retention in the 0.59 mm mesh, the electrical conductivity was located in low values with quality for the food industry, within the chemical content, the varieties presented adequate values for use in agribusiness, highlighting the fiber, protein and oil content. Finally, the mineral content analyzed was different among each variety ( $p < 0.05$ ). Based on the above, prickly pear seeds are suitable for use in different agroindustrial processes.

**Key words:** flour, seeds, prickly pear, processes, agroindustry.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico para llevar a cabo los estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí, por abrirme las puertas y darme la oportunidad de adentrarme en la investigación, pero sobre todo por apoyarme en el camino de la maestría en ciencias.

A mi profesor consejero Dr. Erich Dietmar Rössel Kipping, no caben palabras para decirle lo cual agradecida estoy por todo el apoyo brindado, me llena de orgullo haber sido su alumna.

A cada uno de mis profesores integrantes del consejo particular, Dr. Alejandro Amante Orozco, Dr. Ismael Hernández Ríos y Dra. Laura Aracely López Martínez, por su apoyo y motivación en este camino.

A los profesores Dr. Gerardo Loera Alvarado, Dr. Francisco Javier Morales Flores y Dra. Alejandra Olivera Méndez que a pesar de no ser integrantes de mi consejo siempre estuvieron apoyándome y aportando sus conocimientos.

A mi esposo Oscar Uriel Montoya Aguilar, por no dejarme rendir.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>CONTENIDO</b> .....	vi
<b>LISTAS DE CUADROS</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	3
<b>2.1 Objetivo general</b> .....	3
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	3
<b>2.3 Hipótesis</b> .....	3
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	4
<b>3.1 Material vegetal</b> .....	4
<b>3.2 Medición de ancho, largo y grosor de las semillas</b> .....	6
<b>3.3 Fricción interna</b> .....	6
<b>3.4 Fricción externa</b> .....	7
<b>3.5 Molienda</b> .....	8
<b>3.6 Tamizado</b> .....	9
<b>3.7 Conductividad eléctrica de harina de semillas de tuna</b> .....	9
<b>3.8 Determinación de humedad</b> .....	9
<b>3.9 Cuantificación de cenizas</b> .....	10
<b>3.10 Contenido de extracto etéreo</b> .....	10
<b>3.11 Contenido de proteína</b> .....	11
<b>3.12 Fibra cruda</b> .....	12
<b>3.13 Carbohidratos totales</b> .....	13
<b>3.14 Determinación de elementos (minerales)</b> .....	14
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	15
<b>4.1 Resultados de las mediciones físicas</b> .....	15

4.1.2 Rendimiento y secado de semillas de tuna .....	15
4.1.2 Dimensiones de las semillas de tuna .....	17
4.1.3 Fricción interna de semillas y harina de tuna.....	18
4.1.4 Fricción externa de las harinas de semillas de tuna.....	19
4.1.5 Tamizado de partículas obtenidas de la molienda.....	20
4.1.6 Conductividad eléctrica de las harinas de semillas de tuna.....	25
<b>4.2 Resultados de los análisis químicos .....</b>	<b>26</b>
V. CONCLUSIONES.....	31
<b>VI LITERATURA CITADA .....</b>	<b>32</b>

## LISTAS DE CUADROS

Cuadro 1. Rendimiento de peso seco en fruto y semillas .....	16
Cuadro 2. Dimensiones de las semillas de cinco variedades de tuna (Opuntia spp.) ..	18
Cuadro 3. Coeficiente de fricción interna de semillas y harina de las variedades de tuna. .....	19
Cuadro 4. Coeficiente de fricción externa de harina en cada material. ....	21
Cuadro 5. Ancho, largo, área y perímetro de las partículas obtenidas del tamizado de harina de tuna en mm .....	23
Cuadro 6. Conductividad eléctrica.....	25
Cuadro 7. Análisis proximal de las harinas de semillas de tuna, para cada variedad. .	27

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de separación de semillas de tuna.....	5
Figura 2. Dimensiones de las semillas de tuna. ....	6
Figura 3. Equipo para la medición de fricción interna de semillas y harina de tuna. ....	6
Figura 4. Equipo para determinación de fricción externa. ....	7
Figura 5. Juego de tamices con harina de semillas de tuna.....	8
Figura 6. Curva de secado de semillas de cinco variedades de tuna (Opuntia spp.) a 60 °C.....	17
Figura 7. Distribución de partículas de harina de cinco variedades de tuna.....	22
Figura 8. Partículas de harina Everest en cada malla retenida.....	22

## I. INTRODUCCIÓN

La demanda mundial de alimentos va en aumento debido al incremento poblacional; esta demanda requiere de un mayor gasto de energía. Al respecto, Lewis y Nocera (2006), mencionan que este incremento es del 60% respecto a las necesidades actuales, teniendo como resultado el uso descontrolado de los recursos naturales (Arce Quesada, 2019). La FAO (2020), reporta que México ocupa el décimo lugar en población, con 127 millones de habitantes. Como consecuencia, conlleva al desarrollo de industrias alimentarias para satisfacer las necesidades de los consumidores, dando lugar a cantidades considerables de desechos causados por la industria alimentaria y ocasionando frecuentemente problemas de contaminación ambiental (Fernández *et al.*, 2013). Con base en lo anterior, obtener productos de manera industrializada genera pérdidas en la recolección, almacenamiento, transporte y procesamiento de las materias primas (Nasrin y Matin, 2017). En México las industrias procesadoras de alimentos (frutas, verduras y cereales) producen aproximadamente 76 millones de toneladas de residuos al año (González *et al.*, 2015). Debido a que la agricultura produce alimentos que deben ser almacenados, todo esto se ha convertido en un gran reto para la industria, en comparación con los métodos utilizados por los primeros agricultores que eran secar, ahumar y salar, para así tener un aspecto apetitoso, sabor agradable, nutritivo, vida útil prolongada, fácil de preparar y accesible.

Los residuos obtenidos de la agroindustria pueden ser aprovechados mediante procesos agroindustriales adicionales, y obtener otros productos, como biomateriales, minerales o elementos químicos renovables, ya que estos compuestos son encontrados en cáscaras, cortezas y semillas (Leyva-López *et al.*, 2020). Algunos ejemplos son los elementos de mezquite (*Prosopis laevigata*), árbol de flor de cruz (*Vachellia*) y moringa (*Moringa oleífera*), en donde pueden ser usadas las vainas verdes, hojas, flores y semillas como alimentos nutritivos, aceites, medicinas, fertilizantes, materia prima para la industria de alimentos, cosméticos, tratamiento de aguas, etc. (Velázquez-Zavala *et al.*, 2016). Así mismo, han sido usados como agentes de limpieza, combustible biológico (biogás, biodiesel), clarificador de miel y de jugo de la caña de azúcar, así como pesticida, tratamiento de enfermedades y bioinsecticidas. En caso del material sólido,

esté puede ser transformado en harina para la integración en los procesamientos físicos, químicos o biológicos (Álvarez-Castillo *et al.*, 2021; Nogueira *et al.*, 2017). Para el aprovechamiento de los desechos del procesamiento, la agroindustria busca a través de diferentes procesos utilizar la materia orgánica, siendo la harina una excelente posibilidad para la transformación y aprovechamiento de compuestos bioactivos de los residuos. Al respecto, León *et al.* (2007) comentan que la industria de la molienda necesita producir distintos tipos de harinas adaptables a las necesidades.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar los valores físicos y químicos sustentables de semillas de cinco variedades de tunas (India Bonita, Jumbo Azul, Roja Libertad, Everest y Ficus Energy), bajo un enfoque de digitalización de la producción agroindustrial, teniendo en cuenta que, dependiendo de sus características, podrían ser utilizados para distintos usos como alimentos y biomateriales de tipo semi-sintéticos y sintéticos.

## **II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **2.1 Objetivo general**

Medir algunas de las características físicas y químicas de materia orgánica tecnológicamente unificada (harinas de cinco variedades de semillas de tuna) para generar masa orgánica agroindustrial como insumo de la producción de alimentos y biomateriales de tipo sintético y semi-sintético.

### **2.2 Objetivos específicos:**

2.2.1. Analizar el proceso de secado de semillas de cinco variedades de tuna.

2.2.2. Medir las propiedades físicas y químicas de harina de cinco variedades de tuna.

2.2.3 Analizar el contenido químico y de minerales de las harinas de semillas de cada variedad de las tunas estudiadas.

### **2.3 Hipótesis**

Las harinas de semillas de tuna presentan propiedades físicas y químicas que las hacen potencialmente útiles en procesos industriales seleccionados, tomando en cuenta técnicas de procesamiento físico y el análisis de biomateriales para la optimización de procesos agroindustriales.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

La sección de materiales y métodos de la investigación “Características físicas y químicas de las semillas de tuna (*Opuntia* spp) para uso agroindustrial” detalla la recolección y obtención de semillas de tuna como materiales vegetales a emplear en la investigación, enuncia el procedimiento de obtención de las semillas, la caracterización de parámetros relacionados con la dinámica de las harinas de semillas de tuna (dimensiones, fricción interna y fricción externa de las semillas de tuna), así como la determinación de características como la distribución de partículas de la harina de semillas de tuna, la conductividad eléctrica, el contenido de humedad, el porcentaje de ceniza residual, el contenido de extracto etéreo, de proteínas, de fibra cruda carbohidratos totales y la determinación de elementos minerales. Con estas actividades se cumplen los objetivos de medir las propiedades físicas y químicas de las harinas de semilla de tuna de cinco variedades.

#### 3.1 Material vegetal

Para realizar la presente investigación, se recolectaron cinco variedades de tuna (*Opuntia* spp); India Bonita, Jumbo Azul, Roja Libertad, Everest y Ficus Energy, durante los meses de mayo y junio de 2021, en el Rancho Agrícola Experimental “El Cuervo” en Villanueva, Zacatecas, México (22.3456211 Norte, -102.8790767 Oeste). Los frutos fueron cosechados de forma manual y colocados en cajas de plástico para ser transportados al laboratorio de energías alternas del Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México (Figura 1).

El proceso de separación de semillas de pulpa y cáscara se llevó a cabo de la siguiente forma:

1. Se seleccionó y cortó el fruto de manera manual en cada una de las parcelas en donde se tienen distribuidas las plantaciones según la variedad de nopal.
2. Los frutos se colocaron en cajas de plástico y transportados al laboratorio de energías alternas del Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Salinas S.L.P (22.632521 N, -101.71210 O).

3. Debido a que algunas de las variedades seleccionadas para la investigación fueron escasas, se tomó la decisión de pesar el contenido de cada caja de plástico para evaluar el rendimiento de semillas por variedad.
4. Las tunas se lavaron y cepillaron para limpiarlas y eliminar lo más posible las espinas.
5. Se eliminó la cáscara de los frutos.
6. El fruto sin cáscara se pasó a una licuadora para realizar una molienda ligera para separar la pulpa.
7. Se realizó un colado con agua a presión para eliminar la pulpa que permanecía adherida a las semillas.
8. Una vez que se realizó este proceso en cada una de las variedades, se dejaron asecar en charolas a temperatura ambiente por 72 horas.
9. Transcurrido el periodo de secado, las charolas se pasaron a un horno de secado a temperatura de 105 °C. Se realizó una curva de secado registrando los pesos de las semillas cada media hora tres veces consecutivas, después cada 2 horas, hasta que el peso de las semillas se mantuvo constante.

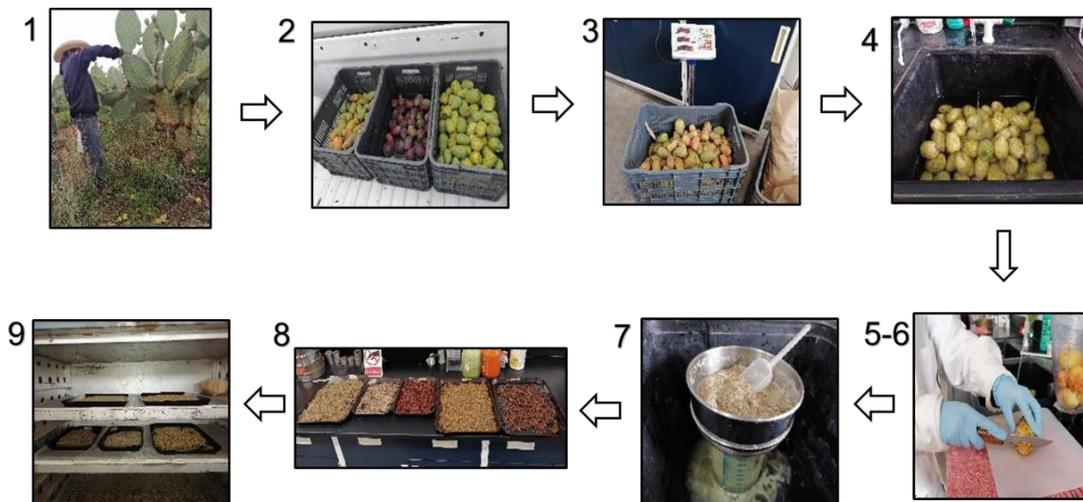


Figura 1. Proceso de separación de semillas de tuna.

### 3.2 Medición de ancho, largo y grosor de las semillas

Veinte semillas de cada variedad fueron seleccionadas al azar para medir las dimensiones (mm) ancho, largo y grosor con un vernier electrónico de 0.1 mm de precisión (Karlen®, México) (Figura 2).

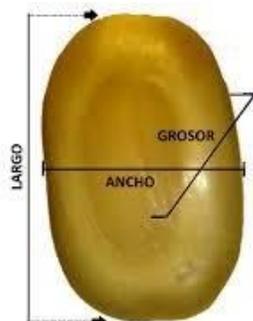


Figura 2. Dimensiones de las semillas de tuna.

### 3.3 Fricción interna

La fricción interna  $\mu_i$  fue determinada como el seno del ángulo de inclinación formada por el deslizamiento a través de un embudo de 100 g de semillas y harina de cada variedad de tuna, creando un cono invertido con altura de 4 cm (cateto opuesto), posteriormente fue medido el radio de la base del cono (cateto adyacente) utilizando una regla milimétrica, para determinar el ángulo. Esta medición fue realizada con 10 repeticiones por variedad (Figura 3).

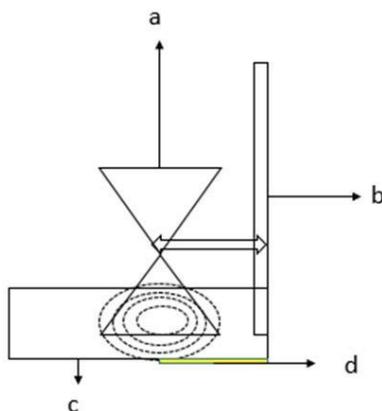


Figura 3. Equipo para la medición de fricción interna de semillas y harina de tuna.

a) Embudo de plástico, b) soporte universal con manilla, c) soporte de madera y d) regla milimétrica.

Obtenidos los valores se procedió a calcular los ángulos de reposo con la Ecuación 1.

$$\tan \theta = co/ca \quad (1)$$

donde:  $\tan \theta$  = ángulo de reposo,  $co$  = cateto opuesto,  $ca$  = cateto adyacente

### 3.4 Fricción externa

La fricción externa de las semillas de tuna se determinó usando una base de madera inclinada con la ayuda de un trasportador de geometría. La inclinación controlada permite evaluar el ángulo de inclinación como fricción externa de las semillas de tuna con diferentes superficies utilizadas en la industria (aluminio, cerámica, vidrio, madera y plástico) (Figura 4).

Se colocaron directamente 100 g de semillas y harina de tuna de las cinco variedades sobre diferentes materiales (aluminio, madera, cerámica, plástico y vidrio). Con la ayuda del equipo, se fue aumentando gradualmente hasta que las semillas y la harina rompieran su fuerza y se deslizaran totalmente hasta la base, en cuyo momento se determinó el ángulo de inclinación. Se realizaron 10 repeticiones de cada variedad con cada uno de los materiales para validar el ángulo de inclinación.

$$\text{Fricción externa} = \mu_e = \tan\beta \quad 2$$

dónde:  $\mu_e$  = fricción externa;  $\tan\beta$  = ángulo de inclinación



Figura 4. Equipo para determinación de fricción externa.

### 3.5 Molienda

La molienda de las semillas fue realizada en un molino de granos acoplado a un motor marca MICRON MOD K10. La molienda se realizó en dos fases, con el fin de controlar la temperatura de las harinas y evitar que el aceite plastificara. Una vez obtenidas las dos moliendas, se prosiguió con una tercera molienda, en este caso en un molino de café, para tratar de homogenizar el tamaño de partículas. Obtenidas las harinas, se almacenaron en bolsas de plástico con cierre debidamente marcadas para el uso posterior.

### 3.6 Tamizado

Una muestra de 100 g de harina de cada variedad fue tamizada por un agitador (Ro-Tap®) durante 10 minutos. Se utilizó un juego de tamices (Alcón®, México) con diferente tamaño de malla #30, #40, #50, #70, #100 y #200 (0.59 mm, 0.42 mm, 0.300 mm, 0.212 mm, 0.146 mm y 0.015 mm) Figura 5.

Se determinó la distribución de partículas con base en el peso de la harina retenida en cada diámetro de malla respecto al peso inicial, realizando una curva de distribución de partículas de acuerdo con la metodología descrita por Rössel-Kipping et al. (2016).

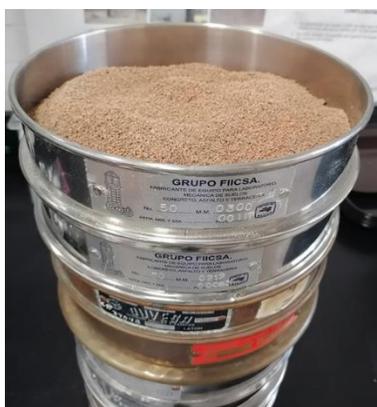


Figura 5. Juego de tamices con harina de semillas de tuna.

### 3.7 Conductividad eléctrica de harina de semillas de tuna

La prueba de la conductividad eléctrica (CE) fue realizada en muestras de 7 g de harina, con tres repeticiones para cada variedad. Las harinas fueron previamente pesadas en una balanza de precisión para posteriormente ser colocadas en una caja de plástico (10 x 5 cm), en la que se agregaron 3 ml de agua destilada a 22 °C, para humedecer la harina. Después, los valores de la conductividad eléctrica fueron medidos empleando un multímetro digital de la marca Truper® MUT-33. Los resultados de resistencia eléctrica expresada en Kiloohmios (KΩ), que fueron convertidos en conductividad eléctrica expresada en Siemens (S).

$$S = 1 * \Omega^{-1} \quad 3$$

donde: S= conductividad eléctrica expresada en siemens; Ω= Ohm

### 3.8 Determinación de humedad

La humedad fue determinada con el método gravimétrico (931,04) descrito por la metodología AOAC 2012 por triplicado utilizando cápsulas de porcelana las cuales fueron colocadas en un horno marca Felisa a temperatura de 105 °C por 45 min para eliminar la humedad. Transcurrido el tiempo de 45 min las cápsulas fueron puestas en el desecador para enfriarse por 30 min. Posteriormente, se pesaron en una balanza analítica (OHAUS Adventurer, H-5276). Una vez registrado el peso de las cápsulas, se agregaron 5 g de cada una de las muestras de harina. Una vez preparadas las cápsulas con las muestras, se pasaron a la estufa sin cambiar la temperatura de 105 °C, hasta alcanzar un peso constante. Por último, teniendo el peso final, se utilizaron las Ecuaciones 4 y 5 para determinar el porcentaje de humedad, así como la masa de agua perdida.

$$m H_2O = m \text{ muestra} - (P2 - P1) \quad 4$$

$$\% \text{ humedad} = \frac{m H_2O}{m \text{ Muestra}} \times 100 \quad 5$$

donde:  $m H_2O$  = peso del agua,  $m \text{ muestra}$  = peso de la muestra,  $P1$  = peso inicial de la muestra con cápsula,  $P2$  = peso de salida del horno con cápsula.

### 3.9 Cuantificación de cenizas

El contenido de cenizas totales en harinas de semillas de tuna se determinó por la metodología descrita por Kirk *et al*, (1996), el cual consistió en poner a peso crisoles a 550 °C por, 2 h. Una vez pasado el tiempo indicado, los crisoles fueron enfriados en un desecador por 30 min. Se tomó el peso del crisol para agregar 3 g de muestra. Después de esto, se pasó a la campana de extracción de gases para calcinar cada muestra en estufa eléctrica. Ya calcinadas, se pasaron a la mufla por 2 h, a temperatura de 550°C. Las cenizas de las muestras pasaron al desecador hasta que estuvieran completamente frías para pesarlas y obtener el resultado con la ayuda de la Ecuación 6.

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{m \text{ cenizas}}{m \text{ seca}} \times 100 \quad 6$$

donde:  $m \text{ cenizas}$  = peso de las cenizas,  $m \text{ seca}$  = peso de la muestra seca.

### 3.10 Contenido de extracto etéreo

La determinación de extracto etéreo realizada por triplicado (AOAC, 1990, Norma 920.39C), utilizando un equipo de extractor de grasas Soxhlet (FOSS, ST 243 Soxtec™) con los siguientes pasos:

1. Se limpian y rotulan las tasas de extracción del equipo.
2. Una vez preparadas las tasas con los balines, pasaron a la estufa por una hora a 105°C.
3. Las tasas de extracción se limpiaron durante una hora en una estufa a 105 °C.
4. Se pesaron 3 g de muestras de cada variedad, para ser puestas en dedales.
5. Una vez que las muestras estuvieron en los dedales, estos se taparon con algodón (para evitar la salida) y se prosiguió a colocar los dedales en los imanes del equipo Soxhlet.
6. En las tasas se agregaron 60 ml de hexano como vehículo de la extracción.
7. Las tazas se montaron en el equipo, para iniciar el proceso de extracción.
8. Al final de la extracción de grasas, las tasas se secan en un horno por una hora a 105 °C.
9. Las tasas se enfrían en el desecador, para registrar el peso final.
10. Con el peso se determina el contenido de extracto etéreo de las muestras de harina de semillas de tuna usando la Ecuación 7.

$$\% \text{ EE} = \frac{P_2 - P_0}{P_1} * 100 \quad 7$$

donde:  $P_2$  = peso de las tasas, balines y aceite,  $P_0$  = peso tasas y balines y  $P_1$  = peso de la muestra.

### 3.11 Contenido de proteína

El contenido de proteína se determinó por la metodología Kjeldhal número 2.062 de la AOAC 1984. El procedimiento se llevó a cabo por triplicado para cada muestra con la siguiente metodología:

1. Los matraces Kjendahl fueron señalados, para identificar las muestras.
2. En cada matraz se agregaron 0.10 g de muestra, 1 g de catalizador y 2.5 ml de ácido sulfúrico concentrado.
3. El matraz se colocó en el digestor (Gerhardt), para el calentamiento hasta que las muestras quedaran completamente transparentes.
4. Una vez obtenidas las muestras transparentes, pasaron a enfriarse a una caja de cartón con arena.
5. Frías las muestras, se adicionaron de forma paulatina 55 ml de agua desionizada.
6. Para el proceso de destilación, las muestras se pasaron a tubos.
7. A los tubos con las muestras, seles agrego 10 ml de sosa tiosulfato.
8. En matraces Erlenmeyer de 125 ml, se agregaron 5 ml de solución de ácido bórico y 4 gotas de indicador.
9. Se procedió al destilado (Kjeltec™ 2300).
10. En los matraces Erlenmeyer se recolectaron aproximadamente 75 ml del destilado.
11. Culminado el proceso de destilación, se procedió a titular con ácido clorhídrico 0.1 N.
12. Finalmente, obtenido el volumen gastado del ácido clorhídrico 0.1N, se procedió a realizar la Ecuación 8:

$$\% \text{ de proteína} = (vHCL)(NHCL)(MeqN)(factor)(100)/W0 \quad 8$$

donde:  $VHCL$  = Volumen del título de ácido clorhídrico,  $NHCL$  = Normalidad del ácido clorhídrico,  $MeqN$  = Miliequivalentes del nitrógeno (0.014),  $factor$  = 0.014 y  $W0$  = peso de la muestra.

### 3.12 Fibra cruda

El contenido de fibra cruda se determinó por la metodología 962.09 AOAC, la cual consiste en la pérdida por calcinación del residuo seco de la muestra digerida con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a 1.25 % e hidróxido de sodio (NaOH) al 3.52 % con el siguiente método.

1. Se pesó 1 g de muestra libre de humedad y grasa.
2. En un matraz Erlenmeyer de 250 ml, se agregó la muestra y 50 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1.25 %, para llevar a ebullición con reflujo por 30 min.
3. Posterior a los 30 minutos de ebullición, fueron adicionados 50 ml de NaOH al 3.25 %, para seguir con la ebullición por 30 min adicionales.
4. En un sistema de vacío, se colocó papel filtro de tara conocida, para agregar la muestra digerida y realizar lavados con con agua desionizada caliente.
6. Se agregó ácido sulfúrico paulatinamente hasta que la muestra quedara neutralizada.
7. Finalizado el filtrado, la materia sólida retenida en el papel filtro pasó a una cápsula de peso conocido, para ser llevadas al horno a 105° C por 1 h.
8. Transcurrido el tiempo indicado en el punto anterior, las cápsulas se pusieron en el desecador para enfriarse por 10 min y posteriormente registrar el peso.
9. Una vez registrado el peso de las cápsulas se procedió a meterlas en la mufla a temperatura de 550°C durante 1 h.
10. Por último, una vez que la materia orgánica fue destruida, las muestras fueron sacadas de la mufla y puestas en la estufa por 30 min (para eliminar algún resto de humedad), finalizando con la colocación de las muestras en el desecador por 15 min y posteriormente registrar el peso y realizar los cálculos correspondientes.

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{[(W_1 - W_{\text{papel}}) - (W_2)] * 100}{W_{\text{muestra}}} \quad 9$$

dónde:  $W_1$  = peso del papel filtro después de secar en la estufa con el residuo filtrado,  $W_{\text{papel}}$  = peso del papel seco,  $W_2$  = peso de cenizas y  $W_{\text{muestra}}$  = peso de la muestra.

### 3.13 Carbohidratos totales

Los carbohidratos totales se obtuvieron con base en la Norma (NMX-F-312, 1978). Esta Norma Mexicana establece el método volumétrico de Lane-Eynon para determinar azúcares reductores directos y totales presentes en alimentos en general y bebidas no alcohólicas en la siguiente forma metódica.

1. Se pesaron 1.25 g en una balanza analítica Ohaus. La muestra fue disuelta en un poco de agua destilada para aforar en un matraz de aforo de 25 ml (solución al 5%).
2. Posteriormente la solución se colocó en un matraz Erlenmeyer de 50 ml y se agregó 1 ml de HCL concentrado.
3. La muestra fue tapada con un refrigerante de reflujo para llevar a ebullición por una hora.
4. Transcurrido el tiempo la muestra fue puesta en papel filtro para ser enfriada y neutralizada con NaOH al 20 % gota a gota y después con NaOH al 10 %, hasta conseguir un pH de 7.
5. Neutralizada la muestra, se aforó en un matraz de 50 ml.
6. De la solución neutralizada sin partículas, fue tomada la cantidad necesaria para aforar una bureta de 25 ml.
7. En un matraz Erlenmeyer de 50 ml, se agregó 1 ml del reactivo A y 1 ml del reactivo B de Fehling-Soxhlet, 5 ml de agua destilada y dos gotas de indicador de azul de metileno.
8. Por último, el matraz Erlenmeyer se puso a calentamiento con agitador en una placa hasta ebullición constante para llevar a cabo la titulación, hasta obtener una coloración rojo ladrillo.
9. Finalizando con el registro del volumen gastados en la titulación, para calcular el porcentaje de carbohidratos totales a partir de la Ecuación 10:

$$\% CHO_s = \left[ \frac{(\text{reactivo A y B})(\text{ml del aforo})}{\frac{\text{ml gastados}}{W \text{ de la muestra}}} \right] * 100$$

donde: *W de la muestra* = peso de la muestra, *Reactivo A y B de Fehling – Soxhlet* 1 ml, *volumen de aforo* y *volumen gastado*

### **3.14 Determinación de elementos (minerales).**

El análisis de los siguientes minerales: calcio (Ca), hierro (Fe), magnesio (Mg), sodio (Na), fósforo (P), potasio (K), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu) fue realizado con el método analítico de espectrometría de masa de plasma acoplado inductivamente (Thermo Scientific iCAP RQ ICP-MS) descrito por Kastenmayer (1997).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados de las mediciones físicas

#### 4.1.2 Rendimiento y secado de semillas de tuna

El rendimiento obtenido de semillas de las variedades cosechadas de tuna varió con respecto al peso inicial de cosecha. El peso promedio de cada fruta en fresco (tuna) por variedad osciló entre 125.35 y 190.39 g, siendo la variedad Jumbo Azul la que presentó el valor mayor y Ficus Energy la de peso menor. Para el fruto seco, el peso varió entre 18.773 y 33.24 g, manteniéndose la variedad Jumbo Azul con mayor peso, mientras que el peso menor se registró en la variedad Roja Libertad. Sin embargo, en el porcentaje de peso de semillas por fruto, que tuvo un rango de 9.62 a 16.3 %, la variedad India Bonita presentó el valor más alto y Ficus Energy la de menor porcentaje en el peso de las semillas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rendimiento de peso seco en fruto y semillas.

<b>Variedad</b>	<b>Peso por fruto fresco (g)</b>	<b>Peso fruto seco (g)</b>	<b>Peso de Semillas* (%)</b>
Jumbo Azul	190.39	33.24	12.28
Roja Libertad	145.51	18.73	14.90
India Bonita	115.02	19.34	16.13
Everest	153.16	26.08	13.07
Ficus Energy	125.35	21.41	9.62

\*Respecto al peso seco del fruto

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales

Las cinco variedades de semillas presentaron similitud en las curvas de pérdida de peso durante el proceso de secado. La distancia entre curvas se debe a la extracción de semillas que se obtuvo en base a la cosecha de tunas de cada variedad, sin embargo el tiempo de secado como los g de semillas son parecidos a la variedad Roja Libertad y Ficus Energy, que perdieron alrededor de 11.8% de humedad respecto al peso inicial. La variedad India Bonita perdió 13.7% de humedad, siendo la mayor pérdida de humedad de todas las variedades. El resto de las variedades (Everest, Jumbo Azu) perdieron 10.7% de humedad. Mientras tanto en los 500 minutos de secado, el secado de las semillas se mantiene constante para cada variedad (Figura 6).

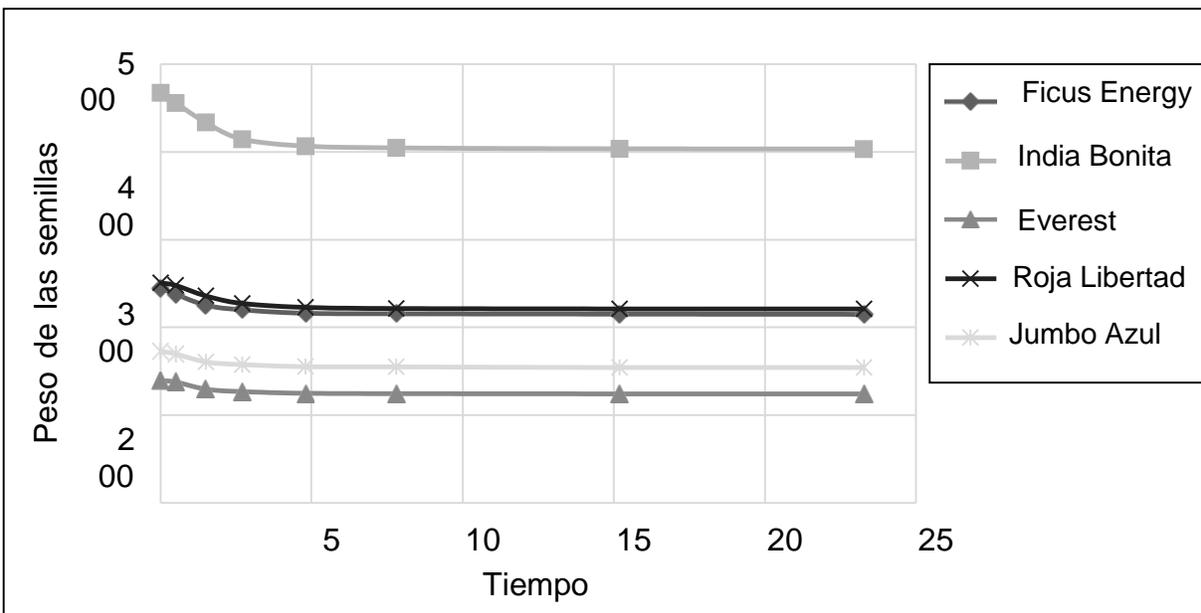


Figura 6. Curva de secado de semillas de cinco variedades de tuna (*Opuntia* spp.) a 60 °C.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el porcentaje de rendimiento de semillas por tuna de las cinco variedades, que varió de 9.62 a 16.13 %, fue mayor a otros datos encontrados en la literatura, donde se reporta que las semillas de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, tienen un porcentaje de 6.3 % de peso en la tuna completa, mientras que solamente en la pulpa ocupan 15.5 % (Cerezal y Duarte, 2005; Ramadany Mörcel, 2003). Por otro lado, Chougui *et al.* (2013), reportan que el porcentaje de semillas en peso seco es del

30 al 40 %; sin embargo, los porcentajes de semillas tanto en peso fresco como peso seco, tienden a tener diferencias debido a las formas de cultivo, así como morfología del mismo (Fernández *et al.*, 2010). Las semillas de tuna contienen gran cantidad de humedad al ser extraídas (Nassa, 2008; Chougui *et al.*, 2013). En consecuencia, al secar un material orgánico permite el manejo adecuado para la transformación y/o procesos industriales (Rössel *et al.*, 2012).

#### 4.1.3 Dimensiones de las semillas de tuna.

De acuerdo con el análisis de varianza, se presentó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en las dimensiones de las semillas de las cinco variedades (Cuadro 2), destacando la variedad Roja Libertad la cual presentó el mayor tamaño de las semillas (4.60 mm largo, 3.90 mm ancho y 2.00 mm grosor). La variedad Jumbo Azul presentó las semillas de menor tamaño (3.40 mm largo, 3.20 mm ancho, 1.70 mm grosor). Las dimensiones promedio de las cinco variedades fueron 4.15 mm largo, 3.65 mm ancho y 1.73 mm grosor.

Cuadro 2. Dimensiones de las semillas de cinco variedades de tuna (*Opuntia* spp.).

<b>Variedad</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Grosor (mm)</b>
India Bonita	4.4 ± 0.33 ab*	4.0 ± 0.31 a	1.2 ± 0.12 b
Ficus Energy	4.1 ± 0.40 b	3.5 ± 0.35 bc	2.0 ± 0.39 a
Jumbo Azul	3.4 ± 0.30 c	3.2 ± 0.22 c	1.7 ± 0.13 b
Everest	4.2 ± 0.43 b	3.6 ± 0.29 b	1.8 ± 0.17 ab
Roja Libertad	4.6 ± 0.30 a	3.9 ± 0.27 a	2.0 ± 0.24 a
<b>Promedio</b>	4.15	3.65	1.73

\* Medias con diferente letra en cada columna presentan diferencia significativa ( $\alpha = 0.05$ )

Los datos de dimensiones, comparados con los que reportan Reyes *et al.*, (2005), donde el ancho promedio de las semillas es de 3.4 mm y de largo o longitud de 4.0 mm demuestran que las dimensiones de semillas de tuna se encuentran en rangos de tamaños similares. Este dato es importante para el proceso de almacenamiento de granos mediante el uso de tolvas, por lo que este proceso agroindustrial requiere de calidad del grano, particularmente en su tamaño. Rössel *et al.* (2013) comentaron que uno de los parámetros importantes para determinar la calidad de las semillas es la uniformidad en el tamaño, ya que en el caso del procesamiento, la maquinaria utilizada tendría un parámetro establecido, haciendo más homogéneo el proceso y sin pérdidas de material y energía.

#### 4.1.2 Fricción interna de semillas y harina de tuna

Se encontraron diferencias significativas en la fricción interna de las semillas de las cinco variedades de tuna evaluadas ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 3), siendo la variedad Everest la que mostró mayor coeficiente de fricción interna. Sin embargo, en el caso de la harina de las semillas no se encontró alguna diferencia estadística en el coeficiente de fricción interna ( $P > 0.05$ ). El coeficiente de fricción interna de las semillas osciló de 0.94 a 0.80  $\mu_i$ , mientras que el coeficiente de fricción interna de las harinas fue de 0.76 a 0.72  $\mu_i$ , siendo entonces menor el coeficiente de fricción interna en las harinas.

Cuadro 3. Coeficiente de fricción interna de semillas y harina de las variedades de tuna.

Variedad	Semillas	Harina
	$\mu_i$	$\mu_i$
Everest	0.94 a*	0.72
Roja Libertad	0.85 b	0.74
Ficus Energy	0.84 b	0.73
Jumbo Azul	0.82 b	0.76
India Bonita	0.80 b	0.72

\* Medias con la diferente letra en cada columna presentan diferencia significativa ( $\alpha = 0.05$ ).

La diferencia de la fricción interna de las semillas de la variedad Everest se debe a su tamaño. Así mismo, la diferencia de fluidez entre la semilla y la harina es atribuida al tamaño de partícula (Teunou *et al.*,1999). De acuerdo con Herle y Gudehus (1999), al rodar las partículas en el proceso de formación de pila, los granos grandes tienden a superar esfuerzos más grandes, debido a que el coeficiente de fricción interna es afectado en función del flujo, donde las operaciones de carga y descarga dependen principalmente del material, del mismo modo un material cohesivo con poca fluidez tiende a tener más pérdidas de energía a diferencia de un material no cohesivo (Geldart *et al.*, 2006).

Por otro lado, comparando los valores de fricción interna de harina de semillas de tuna (0.72 a 0.76  $\mu_i$ ) con otras harinas, los resultados son similares a los de almidón de papa 0.74  $\mu_i$  (Peleg *et al.*,1973); considerando que el almidón de papa es una harina fina. En el caso de la harina de garbanzo, Emami y Tabil (2008) reportaron un valor de 0.68  $\mu_i$ , siendo más pequeña que la de las harinas obtenidas de la tuna.

#### 4.1.3 Fricción externa de las harinas de semillas de tuna

Los resultados de la fricción externa de las harinas de las cinco variedades son expuestosen el Cuadro 4, en donde se relacionó la diferencia de coeficiente de fricción ( $p < 0.05$ ) entre los materiales utilizados (madera, aluminio, cerámica, plástico y vidrio), así como la desviación estándar por variedad en cada material. Respecto a los resultados obtenidos, los materiales utilizados con respecto a las variedades tienen similitud en el coeficiente de fricción. Para el caso de la madera en todas las variedades es el que presenta mayor coeficiente de fricción (de 0.97 a 0.82) y desviación de 0.06 a 0.04. Sin embargo, el vidrio es el que menor coeficiente de fricción presenta en cada variedad, con valores de entre 0.72 a 0.57  $\mu_d$ , con desviación estándar igual a la del material de madera.

Cuadro 4. Coeficiente de fricción externa de harina en cada material.

Material	/μe/				
	Jumbo Azul	Roja Libertad	India Bonita	Everest	Ficus Energy
Madera	0.87±0.04 a*	0.92±0.05 a	0.82±0.04 a	0.97±0.04 a	0.92±0.06 a
Plástico	0.87±0.04 a	0.87±0.06 a	0.83±0.05 a	0.89±0.05 b	0.79±0.04 b
Cerámica	0.67±0.04 c	0.78±0.03 b	0.68±0.05 c	0.82±0.07 c	0.56±0.02 d
Aluminio	0.72±0.03 b	0.73±0.02 bc	0.72±0.07 b	0.71±0.04 d	0.61±0.06 cd
Vidrio	0.67±0.04 bc	0.69±0.04 c	0.57±0.06 d	0.72±0.06 d	0.62±0.04 c

\*Medias con diferente letra en cada columna presentan diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ).

Con respecto a la fricción externa, investigaciones como la de Subramanian y Viswanathan (2007), en la que se determinaron los coeficientes de fricción de harinas de mijo en diferentes materiales (uno de ellos aluminio) y a distintos porcentajes de humedad, mostraron que la fricción en la harina de mijo de huerta en aluminio fue  $\mu_e = 34.99$ . Esos datos son parecidos a los aquí obtenidos para la harina de tuna, también en el material aluminio. De manera similar, Singh y Goswami (1996) expusieron que el coeficiente de fricción es dependiente de la humedad y el estado físico del material biológico. En la presente investigación, los datos obtenidos respecto a la fricción externa solo están expuestos a un porcentaje de humedad, por lo que la molienda fue la que tuvo el efecto principal en los resultados.

#### 4.1.4 Tamizado de partículas obtenidas de la molienda

En el proceso de molienda de las semillas, se obtuvieron partículas de distintas dimensiones establecidas por el tamizado las cuales se muestran en la Figura 6. El acumulado de las partículas se concentran principalmente en la malla de 0.59 y 0.45 mm.

En las variedades Roja Libertad, India Bonita y Everest más de 60 g fueron retenidos en la malla de 0.59 mm, mientras que en las variedades Jumbo Azul y Ficus Energy la retención de más de 55 g fue en la malla de 0.45 mm. El resto de la harina se concentró en las mallas de 0.300, 0.212, 0.149 y 0.015 mm, con menos de 10 g.

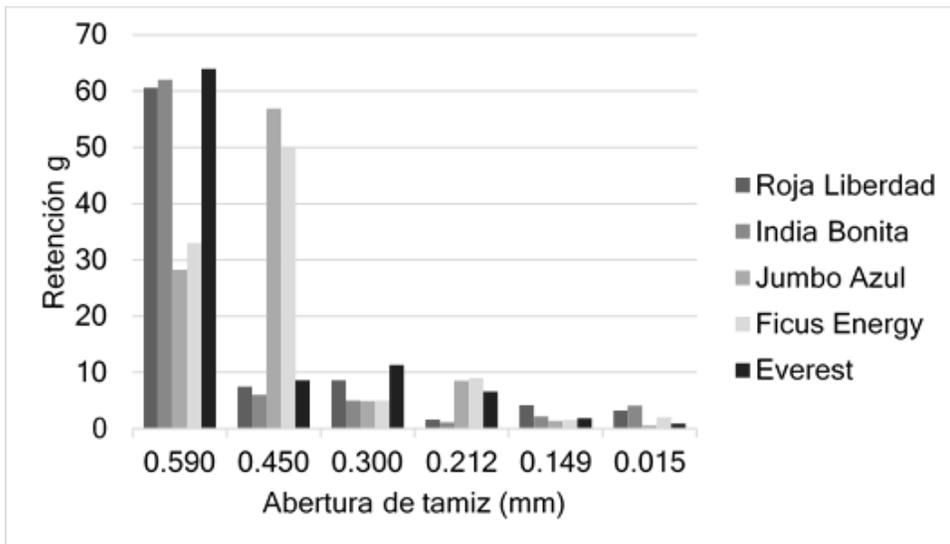


Figura 7. Distribución de partículas de harina de cinco variedades de tuna.

De igual manera, las partículas obtenidas en cada malla tuvieron tamaños distintos. A manera de ejemplo, la Figura 8 muestra las diferencias de tamaño y forma de cada partícula en cada tamiz de la variedad Everest. Así mismo, en el Cuadro 5 se muestran las dimensiones medidas bajo el microscopio, las cuales presentaron tamaños distintos en cada variedad.

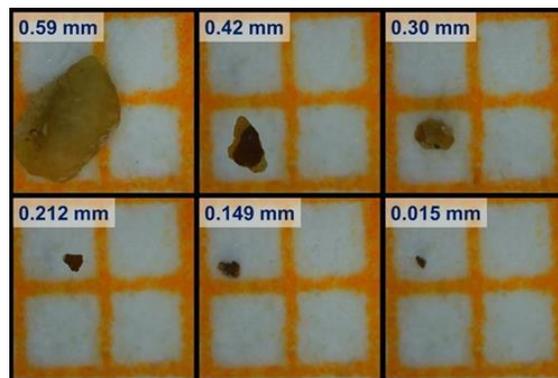


Figura 8. Partículas de harina Everest en cada malla retenida.

Cuadro 5. Ancho, largo, área y perímetro de las partículas obtenidas del tamizado de harina de tuna en mm

Variedad	Propiedad	Apertura de tamiz (mm)					
		0.590	0.450	0.300	0.212	0.149	0.015
Everest	Ancho (mm)	1.384	0.464	0.412	0.197	0.227	0.085
	Largo (mm)	1.951	0.805	0.513	0.295	0.311	0.188
	Área (mm <sup>2</sup> )	2.136	0.253	0.161	0.055	0.047	0.013
	Perímetro (mm)	5.636	2.067	1.539	0.926	0.893	0.482
Ficus Energy	Ancho (mm)	0.844	0.563	0.572	0.291	0.341	0.284
	Largo (mm)	1.008	1.485	0.737	0.312	0.383	0.314
	Área (mm <sup>2</sup> )	0.882	0.818	0.442	0.086	0.001	0.058
	Perímetro (mm)	3.957	3.891	3.478	1.151	0.341	0.996
India Bonita	Ancho (mm)	1.176	0.447	0.595	0.49	0.415	0.244
	Largo (mm)	1.947	1.404	0.542	0.553	0.63	0.364
	Área (mm <sup>2</sup> )	1.982	0.6	0.254	0.17	0.191	0.079
	Perímetro (mm)	5.915	3.608	1.987	1.831	2.26	1.161
Jumbo Azul	Ancho (mm)	1.564	0.563	0.406	0.25	0.287	0.176
	Largo (mm)	2.587	0.831	0.467	0.536	0.315	0.195
	Área (mm <sup>2</sup> )	2.038	0.417	0.217	0.038	0.061	0.006
	Perímetro (mm)	6.088	2.69	2.026	0.827	0.93	0.32
Roja Libertad	Ancho (mm)	0.998	0.555	0.404	0.114	0.291	0.067
	Largo (mm)	2.512	0.986	0.587	0.323	0.299	0.114
	Área (mm <sup>2</sup> )	2.038	0.417	0.217	0.038	0.061	0.006
	Perímetro (mm)	6.088	2.69	2.026	0.827	0.93	0.32

De acuerdo con el tamizado, en el tamiz # 30 (0.59 mm) se observó una mayor fracción retenida. De acuerdo con la norma NMX-F-007-1982, la granulometría de partículas establecidas para harina de panificación es 10 % de retención en tamiz #120 (0.0049 mm). El 90 % de las partículas tienen que pasar por este tamiz para cumplir con la norma, por lo que la granulometría de la harina de semillas de tuna, si se tratase de una harina para panificación, no cumpliría con ese estándar.

Por otro lado, la norma AOAC 965.22 para harina de maíz sin germen establece que el 95 % o más deberá pasar por un tamiz de 0.85 mm (tamiz #20), 45 % o más deberá pasar por un tamiz de 0.71 mm (tamiz #25) y 25 % o menos deberá pasar por un tamiz de 0.210 mm (tamiz #70). Considerando esos valores para maíz y tomando en cuenta solo el factor de granulometría, las harinas de las semillas de tuna podrían ser utilizadas para procesos similares a la harina de maíz sin germen. Siendo así, las harinas con partículas gruesas retenidas en tamiz de 0.59, 0.42 y 0.300 mm son aptas para elaborar productos crujientes. Así mismo, la viscosidad de las harinas aumenta cuando disminuye el tamaño de partícula (Fernández-Muñoz, 2008), por lo que las harinas de tunas presentan comportamiento viscoelástico-plástico, donde ocurre una deformación permanente del material plástico.

Sin embargo, las partículas de harina de semillas de tuna no son simétricas en cada tamiz. Esto se debe a que las aberturas de las mallas están diseñadas con figuras circulares o cuadradas, lo que provoca la obstrucción de las partículas que no tienen simetría similar a la del tamiz (Cuadro 5). Sin embargo, Rössel *et al.* (2015) señalaron que la heterogeneidad de las partículas es causada por el esfuerzo que sufren las semillas al rompimiento en la molienda. En este caso, es posible evaluar las dimensiones mediante parámetros presentes en las partículas; las imágenes de la Figura 7, muestran que las harinas o partículas de semillas de tuna tienen características de un polígono irregular (Figura 7), comúnmente las evaluaciones a las dimensiones de las partículas las realizan con base en la figura del tamiz, como es el caso de Prieto *et al.* (2008), donde determinaron las características de partículas obtenidas a partir de semillas *O. matudae* y *O. imbricata* basándose sólo en el diámetro como si todas las partículas presentaran características circulares.

También McGuire *et al.*, (2022) mencionaron que la diferencia de formas genera errores en las mediciones con respecto a las partículas retenidas en los tamices.

#### 4.1.5 Conductividad eléctrica de las harinas de semillas de tuna.

La conductividad eléctrica de las harinas de las semillas varió entre 3.2 a 5.42  $\mu\text{S}/\text{cm}$  como conversión final, aunque para mejores referencias también se muestran los valores en  $\text{k}\Omega$  y  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Cuadro 6). Los resultados de las harinas de las variedades ( $p < 0.05$ ) donde las Ficus Energy, Roja Libertad y Jumbo Azul no son estadísticamente diferentes, sin embargo, son diferentes a las variedades India Bonita y Everest.

Cuadro 6. Conductividad eléctrica.

<b>Variedad</b>	<b><math>\text{k}\Omega</math></b>	<b><math>\mu\text{S cm}^{-1}</math></b>
Ficus Energy	312.86	3.20 a
Roja Libertad	276.63	3.61 a
Jumbo Azul	291.90	3.43 a
Everest	222.93	4.49 b
India Bonita	184.50	5.42 b

Los resultados de conductividad eléctrica de las harinas obtenidas de las semillas de tuna, de acuerdo a la bibliografía se puede estipular que es de calidad debido a que autores como Rasadore (2016) menciona que una de las estipulaciones para medir la calidad de las semillas es menor a  $2 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Por el contrario, las semillas con presencia de daños físicos, poseen menor capacidad de recuperar sus propiedades de permeabilidad selectiva o lo hacen muy lentamente de manera que liberan una gran cantidad de solutos al medio durante la imbibición en agua haciendo que la conductividad eléctrica aumente (Bewley y Black, 1985; Hampton y Tekrony, 1995; Vieira y krzyzanowski, 1999).

En base a lo mencionado, las harinas presentaron CE de 3 a 5  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , donde hubo un proceso mecánico de molienda y las semillas sufrieron cambios físicos y químicos. Sin embargo, los valores de las harinas no difieren del estándar de las semillas, por lo que en base al dato las harinas de semillas de tuna pueden ser consideradas harinas de calidad ya que la cantidad de absorción de solutos en la molienda no afectó de forma prominente en las lecturas de CE. Además, semillas con altas lecturas de conductividad pueden perder su vigor rápidamente durante el almacenamiento, AOSA (1983).

#### **4.2 Resultados de los análisis químicos**

Los análisis químicos reportan porcentajes de concentración de extracto etéreo, cenizas, humedad, proteína, carbohidratos y fibra (Cuadro 7). La variedad Everest desplegó valores de mayor porcentaje de extracto etéreo en comparación con las demás variedades  $8.17\pm 0.48$ , para el caso de las cenizas la variedad Ficus Energy tuvo un mayor porcentaje ( $4.39\pm 0.05$ ) que las variedades India Bonita y Jumbo Azul, aunque estadísticamente no presentó diferencias con las variedades Roja Libertad y Everest.

Por otro lado, la variedad que mayor porcentaje de humedad presentó Jumbo Azul ( $3.08\pm 0.30$ ); sin embargo, no fue estadísticamente significativa respecto a las variedades India bonita y Ficus Energy. Por su parte la variedad Everest presentó el menor porcentaje de humedad ( $2.01\pm 0.36$ ).

En cuanto a proteína, se observaron diferencias entre variedades, siendo la variedad Jumbo Azul la que mayor porcentaje presentó (11.37 %) y la que menos porcentaje la variedad Ficus Energy con 9.66 %. De igual manera, la concentración de carbohidratos por variedad fue diferente, teniendo mayor porcentaje la variedad India Bonita, mientras que las variedades Roja Libertad y Ficus Energy tienen menores porcentajes.

Para el caso de la fibra la variedad Everest con  $66.88\pm 0.03$  y Ficus Energy  $67.19\pm 0.12$  presentaron valores mayores, sin embargo, la variedad Jumbo Azul reportó menor porcentaje ( $59.64\pm 0.60$ ).

Cuadro 7. Análisis proximal de las harinas de semillas de tuna, para cada variedad.

Variedad	*E.E	Cenizas	Humedad	%		
				Proteína	Carbohidratos	Fibra
India Bonita	4.7±0.23c*	3.9±0.56b	2.72±0.29ab	8.1 ± 0.29 d	18.8 ± 0.56 a	63.92±0.11b
Jumbo Azul	6.42± 0 b	3.77±0.13b	3.08±0.30a	11.37 ± 0 a	14.9 ± 0.70 b	59.64±0.60d
Everest	8.17±0.48a	3.97±0.12ab	2.01±0.36c	8.75 ± 0 c	3.85 ± 0.07 d	66.88±0.03a
Roja Libertad	5.82±0.12b	4.03±0.07ab	2.32±0.33bc	10.28±0.31 b	11.8 ± 0.28 c	62.57±0.12c
Ficus Energy	6.08±0.40b	4.39±0.05a	2.64±0.07ab	9.66 ± 0.03 c	11.29 ± 0.18 c	67.19±0.12a

\*Medias con la diferente letra en cada columna presentan diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ), dónde E.E= extracto etéreo (grasa).

En lo referente a contenido nutrimental, las harinas obtenidas de las semillas de tuna muestran niveles elevados de macronutrientes como K y P. Para el caso de Ca, Mg y Fe pueden ser considerados con niveles favorables debido a su concentración; los micronutrientes Mn, Zn y Cu se encontraron en concentraciones menores. Para el caso del K, la concentración la cual varió de 96 a 145 mg g<sup>-1</sup>, siendo la harina India Bonita la de mayor concentración, mientras que la harina Everest presentó el valor más bajo.

Por otro lado, la concentración de P varió de 88 a 110.67 mg g<sup>-1</sup>, siendo la variedad RojaLibertad la que presentó la concentración más alta, mientras que la variedad India Bonitala concentración más baja. Por otra parte, el Mg obtuvo valores de 43 a 55.75 mg g<sup>-1</sup>, Ca 4.80 a 11.56 mg g<sup>-1</sup>, Na 12.32 a 17 mg g<sup>-1</sup> y Cu 0.53 a 1.38 mg g<sup>-1</sup>, siendo la variedad Roja Libertad la que presenta valores altos en estos elementos, y la harina de Jumbo Azul la de los valores más bajos. Sin embargo, para Mn (5 mg g<sup>-1</sup>) y Zn y Zn (2 mg g<sup>-1</sup>), la variedad Jumbo Azul tuvo las mayores concentraciones. Para e casa de Fe, las concentraciones fueron dispersas, con valores de (4 mg g<sup>-1</sup> a 40.63 mg g<sup>-1</sup>), la variedad Ficus Energy presentando la mayor concentración y, Jumbo Azul la de menor concentración (Cuadro 8).

Cuadro 8. Minerales contenidos en las harinas de semilla de tuna.

Variedad	Minerales (mg g <sup>-1</sup> )								
	Ca	Fe	Mg	Na	P	K	Mn	Zn	Cu
Roja Libertad	11.56	8.00	55.75	17.00	110.67	139.21	3.00	1.50	1.38
Jumbo Azul	4.80	4.00	54.00	12.32	99	137.00	5.00	2.00	0.53
India Bonita	10.85	30.00	45.18	16.00	88	145.00	2.24	1.60	1.00
Ficus Energy	10.98	40.63	53.17	14.00	103.4	105.00	2.17	1.50	0.81
Everest	11.40	13.00	43.00	15.25	69.17	96.00	3.00	1.50	1.25

En los análisis químicos el porcentaje de fibra es alto en todas las variedades de semillas de tuna (59.64-67.19 %). Después le sigue el contenido de carbohidratos en donde los valores son distintos en cada variedad de semilla (18.8-3.85 %), el contenido más bajo y diferente lo obtuvo la semilla Everest. Para el caso de las proteínas los valores son de 11.37 % para la harina Jumbo Azul y 8.1 % en la variedad India Bonita, el contenido de aceite 4.7 a 8.17 %. Los resultados de los análisis químicos de las harinas de semilla de tuna en comparación con datos de la literatura son semejantes en donde el aceite oscilade 6.77 a 10.42 %, ceniza 3.14 a 6.47 %, proteína 11.8 % a 13.62 % y fibra 49.60 a 54.2% y carbohidratos 13.45 % (El Safy *et al.*, 2012; El Kossori *et al.*, 1998; Nassar., 2008).

Algunos autores han evidenciado la importancia de algunos contenidos químicos de las semillas de tuna, como es el caso del aceite, el cual es utilizado principalmente como biomaterial en la industria, no alimentario, debido a las altas temperaturas que lo plastifican haciéndolo resistente al sol (Ing. Silvestre, comunicación personal, 18 de septiembre de 2020). Matthäus y Özcan (2011) comentan que este aceite es reconocido por la industria farmacéutica y cosmetológica debido a la presencia de tocoferoles y

antioxidantes naturales los cuales oscilan entre 3.9 y 50 %. Sin embargo no es lo único que lo hace atractivo para la industria, ya que el alto contenido de ácido linoleico en el aceite de las semillas de tuna tiene potencial como agente nutracéutico, así como efecto antioxidante y antimicrobiano (Özcan & Al Juhaimi, 2011) (Kıralan et al., 2021). Sin embargo, el bajo rendimiento de aceite en las semillas no lo hace atractivo para la industria alimentaria, aunque la composición de ácidos grasos en el aceite de semilla de tuna es similar a la del aceite de girasol y aceite de semilla de uva. (aproximadamente 98.8 g/kg de aceite) (Krist, 2020). El porcentaje de humedad en la harina de semillas de tuna es relativamente bajo (2.01 - 3.08 %), comparado con la de otras especies de semillas utilizadas en la industria, comola harina de trigo que presenta hasta un 12.45 % de humedad (Álvarez *et al.*, 2011)

El contenido de fibra en las harinas obtuvo una concentración mayor, a diferencia del resto de los análisis elaborados, esto se debe a la rigidez que tienen las semillas por lo que según Hammiche *et al.*, (2015), mencionan que cuando la fibra tiene un nivel suficiente de celulosa, tiene una fuerte tendencia a formar enlaces de hidrógeno que son los responsables de una estructura rígida; debido a ésto la harina de semilla de tuna es áspera. Asi mismo, se menciona que el alto contenido de fibra puede aprovecharse en formulaciones dietéticas en alimentos (Masmoudi *et al.*, 2021). De igual forma, las proteínas de las semillas de tuna pueden considerarse aptas para formulaciones alimenticias, considerando que harinas de leguminosas como el caso del frijol y lenteja al ser ricas en proteína son utilizadas para formulaciones en harina de trigo para distintos usos (Maquilena y Moros, 2012; Torres *et al.*, 2014). Sobre ese tema, (Rayan et al., 2018) realizaron una investigación realizando formulaciones a distintos porcentajes de harina de semillas de *O. dillenii* con harina de arroz para elabora un producto texturizado aumentando el valor nutrimental del producto final.

Los minerales analizados en las harinas de semillas de tuna, presentaron contenidos equivalentes a los que presenta El-Mannoubi *et al.*, (2019), donde los autores determinaron una concentración de P de 123.84 mg/100 g, seguido por el contenido de K (121.64 mg/ 100 g), Ca (92.94 mg/ 100 g), Mg (79.37 mg/100 g), Na (11.58 mg/100 g),

Cu (0.26 mg/100 g) y Mn con 2.3 mg/100 g, considerando elevados contenidos de calcio, potasio y fósforo, entre otros minerales. Así mismo, Sawaya *et al.*, (1983), mencionan el aporte nutrimental de las semillas de tuna, particularmente los contenidos de Mg, P, K, Zn y Cu, indicando que 100 g de peso seco podrían cubrir 10 y 20 % de la ingesta diaria recomendada (RDA, por sus siglas en inglés). Por consiguiente, Martínez y Lendoiro (2005) indican que la ingesta máxima de Ca es de 1200 mg/d, Zn 10 mg/d, P 800- 1500 mg/d y Mg 100-500 mg/d. Por lo que, considerar 100 g de harina de tuna en promedio aporta 992 mg/100 g de calcio, 162 mg/100 g de Zn, P 9404.8 mg/100 g y Mg 308.2 mg/100 g de harina de semillas de tunas.

De acuerdo a lo anterior, la evidencia de buen contenido de micro y macro minerales en las semillas de tuna pueden consumirse como ingrediente alimentario (Al-Juhaimi & Özcan, 2013), considerando que en algunos alimentos procesados se carece de una adecuada disponibilidad de nutrientes (Valenzuela B, 2015).

## V. CONCLUSIONES

Las cinco variedades de tuna estudiadas (Roja Libertad, Jumbo Azul, India Bonita, Ficus Energy y Everest) presentaron resultados ampliamente favorables tanto en las mediciones físicas como en los análisis químicos, los cuales permitieron conocer las características físicas y el contenido químico en las semillas y harinas de tuna, donde indican que son aptas para procesos agroindustriales tales como transformación, almacenamiento, dosificación y selección, entre otros. Por medio de mediciones básicas de porcentaje de semillas en peso seco, dimensiones de las semillas, secado, fricción externa e interna, tamizado para determinar los tamaños de partículas de las harinas y establecer un estándar y conductividad eléctrica como rango de calidad. Así mismo, los datos obtenidos en cada análisis químico sugieren que las harinas de tuna tienen potencial para la fortificación de alimentos mediante la extracción de los compuestos de interés o el uso de la harina en sí misma, la elaboración de productos nuevos y para la transformación agroindustrial como biomaterial, alimento funcional, sintético o semi-sintético. Por lo que, la transformación de las semillas de tuna en harina cumple con las exigencias industriales en el insumo, el cual presenta homogeneidad de valores tecnológicos, mecánicos y químicos. Sin embargo, cabe mencionar que la investigación queda abierta para nuevas investigaciones, en base a los resultados que se obtuvieron a lo largo de cada medición y análisis de esta tesis.

## VI LITERATURA CITADA

- Álvarez-Castillo, M. de J., Rössel Kipping, E. D., López-Martínez, L. A., Ortiz-Laurel, H. & Amante-Orozco, A. (2021). *Potential of the physical and chemical characteristics of prickly pear (Opuntia albicarpa Seheinvvar var. Villanueva) seeds in agroindustrial processes.* Agro Productividad. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i10.1834>
- Arce Quesada, S. (2019). *La innovación agroindustrial: Componentes, tendencias y acciones.* E-Agronegocios, 6(1), 25-37.
- Al-Juhaimi, F., & Özcan, M. M. (2013). *Determination of some mineral contents of prickly pear (Opuntia ficus-indica L.) seed flours.* Environmental Monitoring and Assessment, 185(5), 3659-3663. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2817-4>.
- AOSA, 1983. ASSOCIATION OFFICIAL SEED ANALYSTS. Seed vigor testing handbook. s.l. pp. 65-68 (Contribution no. 32).
- AOAC, (2012). Official Method of Analysis: Association of Analytical Chemists. 19th Edition, Washington DC.
- AOAC, (1990). Official Methods of Analysis, 15th ed. The Association: Arlington, VA.
- AOAC, (1984). Official Methods of Analysis. Kjeldahl method (2.062). 14 th edition. Washington D.C., USA.
- Álvarez, M., Ochoa, M., Hernández, G., Falco, A., Fraga, R., & de Villavicencio, M. N. (2011). *Evaluación de la harina de trigo durante el almacenamiento en refrigeración.* Letras, 14(88a), 0-04.
- Bewley, J.D., & Black, M. (1985). *Seeds. Physiology of development and germination.* New York: plenum press. 367 pp.
- Chougui, N., Tamendjari, A., Hamidj, W., Hallal, S., Barras, A., Richard, T., & Larbat, R. (2013). *Oil composition and characterisation of phenolic compounds of Opuntia ficus-indica seeds.* Food Chem. 139, 796–803. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.054>.

- Cerezal, P., & Duarte, G. (2005). *Some characteristics of cactus pear (Opuntia ficus- indica L.) harvested in the Andean altiplane of region 2 of Chile*. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 7, 34-60.
- Hammiche, A., Boukerrou, H., & Djidjelli. (2015). *Etude des Propriétés Physico-chimiques, Thermiques et Mécaniques des Fibres d'Alfa Grasses, Revue des Composites et des Matériaux avancés*. J. com-post. Adv. Mat. 25, 7–24.
- El-Mannoubi, I., Barrek, S., Skanji, T., Casabianca, H., & Zarrouk, H. (2009). *Characterization of Opuntia ficus-indica seed oil from Tunisia*. Chemistry of Natural Compounds, 45(5), 616–620
- El Kossori, R. L., Villaume, C., El Boustani, E., Sauvaire, Y., & Méjean, L. (1998). *Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (Opuntia ficus indica sp.)*. Plant Foods for Human Nutrition, 52(3), 263-270. <https://doi.org/10.1023/A:1008000232406>
- El-Safy, F. S., Salem, R. H., & Abd El-Ghany, M. E. (2012). *Chemical and nutritional evaluation of different seed flours as novel sources of protein*. World Journal of Dairy & food sciences, 7(1), 59-65.
- Emami, S., & Tabil, T.G. (2008). *Friction and compression characteristics of chickpean flour and components*. Power Tecnology 182, 119-126.  
<https://doi.org/10.1016/J.powtec.2006.12.021>
- Fernández, T. M., da Silva, J. A., Andrade da Silva, A. H., de Oliveira Cavalheiro, J. M., & da Conceicao, M. L. (2013). *Flour production from shrimp by-products and sensory evaluation of flour-based products*. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 48(8), 962-967.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800022>
- Fernández-López, J. A., Almeda, L., Obón, J. M., & Castellar, R. (2010). *Determination of antioxidant constituents in cactus pear fruits*. Plant Food Hum. Nutr. 65, 253- 259.

- Fernández-Muñoz, J. L., San Martín-Martínez, E., Días-Góngora, J. A., & Calderón-Ortiz, A. (2008). *Evaluación de las Distribuciones de Tamaño de Partícula de Harina de Maíz Nixtamalizado por medio de RVA*. *Superficies y vacío*, 21 (3).
- Geldart, D., Abdullah, E. C., Hassanpour, A., Nwoke, L. C., & Wouters, I. (2006). *Characterization of powder flowability using measurement of angle of repose*. *China Particuology*, 4(3), 104-107. [https://doi.org/10.1016/S1672-2515\(07\)602474](https://doi.org/10.1016/S1672-2515(07)602474)
- González-Sánchez, M. E., Pérez-Fabiel, S., Wong-Villarreal, A., Bello-Mendoza, R., & Yañez-Ocampo, G. (2015). *Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia*. *Rev. Argent. Microbiol*, 47, 229–235.
- Herle, I., & Gudehus, G. (1999). *Determination the parameters of a hypoplastic constitutive model from properties of grain assemblies*. *Mechanics of cohesive- Frictional Materials*, 4, 461–486.
- Hampton, J. G., & TeKRONY, D. M. (1995). *Handbook of vigour test methods*. The International Seed Testing Association, Zurich (Switzerland).
- Kastenmayer, P. (1997). *ANALISIS DE MINERALES Y ELEMENTOS TRAZA EN ALIMENTOS*. En *Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición* (1.ª ed., p. Capítulo 20). Saturnino de Pablo, Santiago Chile:FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/3/ah833s/AH833S00.html>
- Kıralan, M., Ketenoglu, O., Kıralan, S. S., & Özkan, G. (2021). *Opuntia spp. Essential Oils*. En M. F. Ramadan, T. E. M. Ayoub, & S. Rohn (Eds.), *Opuntia spp.: Chemistry, Bioactivity and Industrial Applications* (pp. 355-367). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78444-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78444-7_16)
- Krist, S. (2020). *Cactus Pear Seed Oil*. En S. Krist (Ed.), *Vegetable Fats and Oils* (pp. 165-169). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-30314-3\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-30314-3_24)

- Kirk, R. S. (1999). *Composición y análisis de alimentos de Pearson*. Biblioteca Hernán Malo González de la Universidad del Azuay; Biblioteca Hernán Malo González. <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/50112>
- Leyva-López, N., Lizarraga-Velázquez, C. E., Hernández, C., & Sánchez-Gutiérrez, E.Y. (2020). *Exploitation of Agro-Industrial Waste as Potential Source of Bioactive Compounds for Aquaculture*. *Foods*, 9(7), 843. <https://doi.org/10.3390/foods9070843>
- Lewis, N. S., & Nocera, D. G. (2006). *Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(43), 15729-15735. <https://doi.org/10.1073/pnas.0603395103>
- León, A. E., Rosell, C. M., Gómez Pallarés, M., Brites, C., Haros, M., Trigo, M. J., Pedrozalslas, R., Pérez Sira, E. E., Gularte, M. A., Igrejas, G., Collar, C., Repo-Carrasco, R., Cortez, G., Onofre Montes, R., Quispe Villalpando, L., Ramos Calderón, I., Puppo, M. C., Gularte, M. A., Pérez, G. T., & Benedito Mengod, C. (2007). *De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica*. ISEKI-Food. <https://digital.csic.es/handle/10261/17118>
- Mcguire, C., Siliveru, K., Ambrose, K., & Alavi, S. (2022). *Food Powder Flow in Extrusion: Role of Particle Size and Composition*. *Processes*, 10(1), 178. <https://doi.org/10.3390/pr10010178>.
- Miquilena, E., & Moros, A. H. (2012). *Evaluación del contenido de proteína, minerales y perfil de aminoácidos en harinas de *Cajanus cajan*, *Vigna unguiculata* y *Vigna radiata* para su uso en la alimentación humana*. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(3), 730-740.

- Masmoudi, M., Baccouche, A., Borchani, M., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2021). *Physico-chemical and antioxidant properties of oils and by-products obtained by cold press-extraction of Tunisian Opuntia spp. Seeds*. Applied Food Research, 1(2), 100024. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100024>
- Matthäus, B., & Özcan, M. M. (2011). *Habitat effects on yield, fatty acid composition and tocopherol contents of prickly pear (Opuntia ficus-indica L.) seed oils*. Scientia Horticulturae, 131, 95-98. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.09.027>
- Martínez-Puga, E., & Lendoiro, R. M. (2005). *Ingestas recomendadas de micronutrientes: vitaminas y minerales*. In Fisiología y fisiopatología de la nutrición: I Curso de Especialización en Nutrición (pp. 87-100). Universidade da Coruña.
- Nassar, A.G. (2008). *Chemical composition and functional properties of prickly pear (Opuntia ficus indica) seeds flour and protein concentrate*. World J. Dairy Food Sci.3, 11–16.
- Nasrin, T.A.A., & Matin, M.A. (2017). *Valorization of vegetable wastes*. In Food Processing By-Products and Their Utilization; Anal, A.K., Ed.; JohnWiley & Sons Ltd.: Hoboken, NJ, USA; pp. 53–88. <https://doi.org/10.1002/9781118432921.ch4>
- Nogueira, R.S., Sales, J. A., Pereira, V. S., Castelo-Branco, D. de S. C. M., Cordeiro, R. de A., de Souza Sampaio, C. M., de Araújo Neto Paiva, M., Santos, J. B. F. dos, Sidrim, J. J. C., & Rocha, M. F. G. (2017). *Research advances on the multiple uses of Moringa oleifera: A sustainable alternative for socially neglected population*. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 10(7), 621-630. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.07.002>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura): México en una mirada. (2020). Disponible en <https://www.fao.org/mexico/fao-en-mexico/mexico-en-una-mirada/es/> (Fecha de consulta: 15-03-2022)
- Prieto-García, F., Méndez-Marzo, M. A., Pérez-Cruz, E., Filardo-Kerstupp, S., & Cruz-Martínez, B. R. (2008). *Morfología, tamaño y distribución de partículas en semillas de cinco especies del género Opuntia*. Universidad y ciencia, 24(2), 159-162.

- Peleg, M., C.H. Mannheim, N., & Passy. (1973). *Flow properties of some food powders*. Journal of Food Science, 38 (6): 959–964.
- Rössel Kipping, E. D. Ortiz Laurel, H., Méndez Gallegos, S., & Amante Orozco, A. (2012). *Fundamentos del secado solar de productos vegetales teoría cum praxi*. Colegio de postgraduados.
- Rössel Kipping, E. D. Ortiz Laurel, H., & Talavera Magaña D. (2013). *Logística rural: transporte, transborde, almacenamiento*. Colegio de postgraduados.
- Rössel Kipping, H., Durán García. H.M, E.D., & Ortiz Laurel, H. (2015). *Técnicas de procesos agrícolas I: sistema del procesamiento de corte reducción de tamaños*. Colegio de postgraduados.
- Rössel Kipping, E. D., Ortiz Laurel, H., & Durán García, H. M. (2016). *Técnicas de procesos agrícolas II: dosificar, mezclar, cribar*. Colegio de postgraduados.
- Reyes-Agüero, J.A., Rivera, J.R., & Flores, J.L. (2005). *Variación morfológica de "Opuntia" ("Cactaceae") en relación con su domesticación en la altiplanicie meridional de México*. Interciencia, 30, 476-484.
- Rayan, A. M., Morsy, N. E., & Youssef, K. M. (2018). *Enrichment of rice-based extrudates with Cactus Opuntia dillenii seed powder: A novel source of fiber and antioxidants*. Journal of Food Science and Technology, 55(2), 523-531. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2961-5>
- Ramadam, M.F., & Mörsel, J.T. (2003). *Oil cactus pear (Opuntia ficus L)*. Food chemistry, 82, 339-345.
- Rosadore-Astiasuan, L.C. (2016). *Desarrollo y evaluación de la prueba de conductividad eléctrica individual para determinar la calidad de semillas de cebada*. Tesis especialidad. Facultad De Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Rosario. P 6
- Subramanian, S. & Viswanathan, R. (2007). *Bulk density and friction coefficients of selected minor millet grains and flours*. Journal of food Engineering. 81, 118-126.
- Singh, K. K. & Goswami, T. K. (1996). *Physical Properties of Cumin Seed*. Journal of Agricultural Engineering Research 64: 93 – 98.

- Teunou, E., Fitzpatrick, J., & Synnott, E.C. (1999). *Characterisation of food powder flowability*. Journal of Food Engineering, 39, 31-37.
- Sawaya, W. N., Khalil, J. K., & Al-Mohammad, M. M. (1983). *Nutritive value of prickly pear seeds, Opuntia ficus-indica*. Plant Foods for Human Nutrition, 33(1), 91-97. <https://doi.org/10.1007/BF01093742>
- Torres-González, M. P., Jiménez-Munguía, M. T., & Bárcenas-Pozos, M. E. (2014). *Harinas de frutas y/o leguminosas y su combinación con harina de trigo*. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos, 8(1), 94-102.
- Özcan, M. M., & Al Juhaimi, F. Y. (2011). *Nutritive value and chemical composition of prickly pear seeds (Opuntia ficus indica L.) growing in Turkey*. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 62(5), 533-536. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.552569>
- Velázquez-Zavala, M., Peón-Escalante, I. E., Zepeda-Bautista, R., Jiménez-Arellanes, M. A., Velázquez-Zavala, M., Peón-Escalante, I. E., Zepeda-Bautista, R., & Jiménez-Arellanes, M. A. (2016). *Moringa (Moringa oleifera Lam.): Potential uses in agriculture, industry and medicine*. Revista Chapingo. Serie Horticultura, 22(2), 95-116. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.07.018>
- Vieira, R.D. & Krzyzanowski, F.C. (1999). *Teste de Condutividade Eléctrica*. In: *Vigor de Sementes: conceitos e testes*. (Ed.) KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. Londrina: ABRATES. Cap. 4, p. 1-20