



Universidad Nacional

**SAN LUIS GONZAGA**



## [Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

[http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

**CONSTANCIA**

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

**DESHIDRATACION DE LA TUNA (*Opuntia tuna*)**

Presentado por:

**ABAD CARBAJO, LUCIANA**

**Bachiller** del nivel **PREGRADO** de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos. El resultado obtenido es **5 % de porcentaje de similitud** por el cual se otorga el calificativo de:

**APROBADO**

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

**APROBADO OBTUVO EL 5% (MENOR AL 20% REQUERIDO)**

Ica, **16** de diciembre de 2021

.....  
JUAN MARINO ALVA FAJARDO  
DIRECTOR DE UNIDAD DE INVESTIGACION  
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE  
ALIMENTOS

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”**

**“FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE  
ALIMENTOS”**



**“DESHIDRATACION DE LA TUNA (*Opuntia tuna*)”**

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERÍA DE  
ALIMENTOS**

**BACHILLER: ABAD CARBAJO LUCIANA**

**PISCO - PERÚ**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta monografía a mi familia, ya que ellos fueron mi motivación durante estos años de la carrera

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida y la salud, los ingenieros por haberme brindado los conocimientos necesarios, a mis Padres por inculcarme el deseo de superación y el amor que me brindan cada día en que han sabido guiar mi vida por el sendero de la verdad a fin de poder honrar a mi familia con los conocimientos adquiridos, brindándome el futuro de su esfuerzo y sacrificio por ofrecerme un mañana mejor.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pag.</b>
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Introducción	1
<b>1.2. Objetivos</b> .....	<b>2</b>
1.3. Antecedentes	2
1.3.1. Antecedentes internacionales	2
1.3.2. Antecedentes nacionales	3
<b>1.3.3. Antecedentes locales</b> .....	<b>4</b>
1.4. Bases teóricas	6
1.4.1. Descripción de la tuna	6
1.4.1.1. Clasificación taxonómica de la tuna	7
<b>1.4.1.2 Origen</b> .....	<b>8</b>
<b>1.4.1.3 Variedades de tuna en Perú</b> .....	<b>9</b>
<b>1.4.1.4 Beneficios del consumo de tuna</b> .....	<b>12</b>
<b>1.4.1.5 Composición química de la tuna</b> .....	<b>13</b>
1.4.2. Proceso de secado en los alimentos	13
<b>1.4.3 Mecanismos y cinética de secado</b> .....	<b>26</b>
<b>CAPITULO II DESARROLLO</b> .....	<b>20</b>
2.1. Desarrollo del tema	20
2.1.1. Materiales y equipos	20
2.1.2 Descripción el proceso	21
<b>2.1.2.1 Recepción de la materia prima</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1.2.2 Lavado</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1.2.3 Selección</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1.2.4 Pelado</b> .....	<b>22</b>

<b>2.1.2.5 Cortado</b> .....	22
<b>2.1.2.6 Pesado</b> .....	22
<b>2.1.2.7 Secado</b> .....	23
<b>2.1.2.8 Empacado</b> .....	23
<b>2.1.2.9 Almacenamiento</b> .....	24
<b>2.1.3 Diagrama de flujo</b> .....	25
2.2. Opinión crítica .....	29
2.3. Conclusiones .....	29
<b>CAPITULO III. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	31
3.1. Referencias bibliográficas .....	31

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
Tabla 1 Composición química de la tuna .....	13
Tabla 2 Contenido de humedad y velocidad de secado para la tuna.....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
Figura 1. La tuna .....	7
Figura 2. Tuna variedad blanca .....	8
Figura 3. Tuna variedad amarilla .....	10
Figura 4. Tuna variedad morada .....	10
Figura 5. Tuna variedad colorada .....	11
Figura 6. Curva de deshidratación.....	18
Figura 7. Recepción de la materia prima .....	21
Figura 8. Lavado de la tuna.....	22
Figura 9. Pelado de la tuna .....	22
Figura 10. Secado de la tuna .....	23
Figura 11. Empacado de la tuna .....	24
Figura 12. Curva de secado .....	28

## **CAPITULO I: MARCO TEORICO**

### **1.1 Introducción**

Una de las causas de pérdida y deterioro de las frutas es la cantidad de agua libre presente en estos. A expensas de este elemento vital, muchos microorganismos proliferan, los enzimas catalizan reacciones degradativas que aceleran el deterioro o podredumbre; causando un gran problema en la conservación del recurso.

La deshidratación es una de las alternativas de solución al problema del deterioro de las frutas. Los productos conservados deshidratados ofrecen un fácil manejo, transporte cómodo de un volumen reducido de producto, abaratando costos de transporte y almacenaje y facilitando los tratamientos posteriores

Las frutas son consumidas por los seres vivos, por sus características sensoriales de sabor, aroma, textura y apariencia; además, por la presencia de nutrientes, como las vitaminas y minerales y otras sustancias químicas que mantienen saludables a los humanos. Los frutos poseen, por lo general, una vida útil relativamente corta; además, existe una competencia por el alimento entre el hombre y otros entes vivos superiores e inferiores. Los microorganismos son competidores importantes y pueden ser causantes de enfermedades en el hombre. (Salazar O s.f)

La tuna o nopal es una planta originaria de América tropical y subtropical, que se vende en las calles de nuestro país, ya que es muy demandada y consumida por las personas. Existen varios tipos de tunas: las rojas, anaranjadas y verdes, y todas pueden ser consumidas enteras, en jugos o en la preparación de cualquier plato gastronómico

## 1.2 Objetivos

Bridar información de las características de la tuna

Describir el proceso tecnológico de la elaboración de la tuna deshidratada

Brindar información del secado con aire caliente

## 1.3 Antecedentes

### 1.3.1 Antecedentes internacionales

A nivel internacional tenemos el trabajo de investigación de Ruiz Luisa y Castro Lizbeth (s.f) titulado “Influencia de las condiciones de secado en el color de las fresas variedad Chandler” . En este trabajo se ha recurrido a técnicas de conservación como la deshidratación. En este trabajo, fresas variedad Chandler de tamaño 1,4 cm de diámetro y 2 mm de espesor fueron sometidas a deshidratación en diferentes condiciones con el fin de evaluar la influencia de la temperatura y el flujo de aire en el color de la fruta. Durante el tiempo de secado se monitoreó la actividad de agua y humedad y se evaluó el color a la fruta fresca y deshidratada mediante colorimetría triestímulo con los parámetros  $L^*$   $a^*$   $b^*$ . Los resultados encontrados mostraron que el secado a 45°C y flujo de aire 6,0 m/s permite obtener fresas secas sin cambio significativo en el color y en menor tiempo de secado.

También podemos mencionar el trabajo de investigación de Estrada (2018) “deshidratación osmótica y secado por aire caliente en mango, guayaba y limón para la obtención de ingredientes funcionales” donde se presenta y se discute los resultados de la aplicación de técnicas de deshidratación osmótica y secado por aire caliente en mango, guayaba y limón procedentes de pequeños productores agropecuarios del Departamento de Atlántico-

Colombia como estrategia para dar valor agregado y aprovechamiento a sus cosechas a través de la obtención de ingredientes funcionales. Se determinaron compuestos de interés nutraceútico: fibra, calcio y vitamina C antes y después de los procesos de deshidratación. Se obtuvieron productos de humedad baja comprendidos por ralladura de limón deshidratada, lámina de mango-limón, mango en polvo, guayaba en polvo y de humedad intermedia comprendido por mango y guayaba osmo-deshidratada. La técnica de secado por aire caliente permitió obtener ralladura de cascara de limón, mango y guayaba en polvo, con contenidos importantes de fibra dietaría y los dos últimos también de vitamina C, en contraste con una pérdida drástica de vitamina C en los productos osmo-deshidratados.

### **1.3.2 Antecedentes nacionales**

A nivel nacional tenemos el trabajo de tesis Rodríguez y Lozano (2014) de la Universidad Nacional del Santa del Perú titulada “Efecto del pre tratamiento osmótico en la deshidratación por aire caliente de manzana e agua” El objetivo del presente trabajo de investigación fue estudiar la influencia del pre tratamiento osmótico sobre el secado por aire caliente de la manzana de agua (*Syzygium Malaccense*), la cual se cortó en rodajas de 2mm de espesor y 6.6mm de diámetro. Se utilizaron dos técnicas sucesivas de conservación: ósmosis directa (pre secado por osmosis) seguida de secado por aire caliente (secador de bandejas), para lo cual se ensayaron distintas variables de estudio (tipo y concentración de la solución osmótica, temperatura osmótica, relación fruta/solución, temperatura de secado y tiempo de procesamiento), los parámetros de pre secado osmótico fueron: 30°Bx, 40°Bx y 50°Bx y una temperatura de osmosis de 30°e y 40°e, la relación de fruta solución fue de  $\frac{1}{1}$  y el tiempo de inmersión en la solución osmodeshidratante fue de 6h~ para luego ser sometido a un secado por aire caliente a 50°e y 65°e. Del tratamiento

osmótico, se evaluó la humedad, los grados Brix de la solución y de la fruta y la actividad de agua, realizando también un modelamiento matemático (modelado Box eox). Del secado por aire caliente se analizó influencia de las variables del proceso sobre la pérdida de humedad, la actividad de agua, la vitamina e y el color (mediante el colorímetro Minolta y el análisis de la imagen).

La pérdida de humedad, la pérdida de actividad de agua y el aumento de color se incrementaron con respecto al aumento de la temperatura de secado. Asimismo, se observó que todos los tratamientos presentaron únicamente el período de velocidad decreciente, durante el secado con aire, por lo que el tratamiento osmótico favoreció la pérdida de humedad en las muestras. El secado por métodos combinados permitió disminuir la actividad acuosa mediante la eliminación del agua y la incorporación de solutos provenientes del tratamiento osmótico. Por último, se logró la estabilidad de las muestras tanto de humedad actividad de agua y vitamina e y color de las muestras sometidas a diferentes tratamientos a lo largo de su proceso de secado por aire caliente, obteniéndose así un producto estable con una humedad (%) de 3.85% y una actividad de agua de 0.113, estas características mantienen al producto estable y alargan su vida en anaquel..

### **1.3.3 Antecedentes locales**

A nivel local tenemos el trabajo de tesis de Arbizu Gutierrez Juliza Flor y Samaniego Alvarado Rubby Cecilia (2017) “Influencia del diámetro de turión de espárragos (*Asparagus officinalis*) en la cinética de deshidratación con aire caliente a las temperaturas de proceso de 40°C, 50°C y 60°C)” que tuvo como objetivo general Determinar la influencia del diámetro del turión de espárragos en la cinética de deshidratación con aire

caliente a las temperaturas de proceso de 40°C, 50°C y 60°C . y como objetivos específicos: Determinar el tiempo y la velocidad de secado en la deshidratación con aire caliente a diferentes temperaturas (50°C, 60°C y 70°C) para cada espesor seleccionado y determinar la difusividad aparente a diferentes temperaturas (40°C,50°C y 60°C). La formulación del problema fue: ¿El diámetro de turión del espárrago influye en la cinética de la deshidratación con aire caliente a las temperaturas de proceso de 40°C, 50°C y 60°C

Las principales conclusiones de la tesis fueron: Los diámetros de los turiones del espárrago (0.75 cm, 1.00 cm y 1.50 cm) influyen en el tiempo de deshidratado, para la temperatura de 40 °C, el tiempo de secado aumento en función al aumento del diámetro, los mismo se apreció a las temperaturas de 50°C y 60°C.

Las velocidades en el periodo constante a la temperatura de 40°C disminuyen en función al aumento del diámetro, lo mismo sucedió a las temperaturas de 50°C y 60°C.

Las difusividades aparentes para la temperatura de 40°C se aprecian que estas disminuyen en fusión al aumento del diámetro, lo mismo se observa a las temperaturas de 50°C y 60°C.

## **1.4 Bases teóricas**

### **1.4.1 Descripción de la tuna**

La tuna al igual que otras cactáceas tiene bajas necesidades de agua y por lo tanto, una alta eficiencia en el aprovechamiento de esta, lo que les permite vivir en condiciones áridas y semiáridas. (Gurrieri et al 2000).

La tuna es una fruta carnosa (67 a 216 g. de peso total) que varia en forma, tamaño y color dependiendo de la variedad, y tiene la característica de poseer una gran cantidad de semillas, un alto contenido de carbohidratos y una baja acidez, lo que le proporciona un sabor dulce y agradable. (Piga, A. 2004). Existe una gran variedad en la constitución de la tuna que depende del tipo de cultivo, prácticas culturales, periodos de luz, clima y temporada de cosecha. Sin embargo, de manera general, está constituida por una cascara gruesa y una pulpa jugosa. La cascara, pulpa y semillas constituyen alrededor del 33% al 50%, 45 al 67% y del 2 al 10% del peso total del fruto, respectivamente. Durante el desarrollo de la tuna el contenido de pulpa se va incrementando, mientras que la cascara se va haciendo más delgada restándole protección, pero ayudando al manejo postcosecha del fruto.( Piga,A. 2004).



*Figura 1.* La tuna

#### 1.4.1.1 Clasificación taxonómica de la tuna

La tuna presenta la siguiente clasificación taxonómica

<b>Reino</b>	<b>: Plantae</b>
<b>División</b>	<b>: Magnoliophyta</b>
<b>Clase</b>	<b>: Magnoliopsida</b>
<b>Subclase</b>	<b>: Caryophyllidae</b>
<b>Orden</b>	<b>: Carophyllales</b>
<b>Familia</b>	<b>. Cactaceae</b>
<b>Subfamilia</b>	<b>: Opuntioideae</b>
<b>Tribu</b>	<b>: Oputieae</b>
<b>Género</b>	<b>: <i>Opuntia</i></b>

**Especie** : *Opuntia tuna*

**Fuente** : **Wikipedia**

#### **4.1.1.2 Origen**

Los primeros restos sobre el uso de cactáceas encontrados en el Perú datan de la época del Horizonte Pre-agrícola (10,000 años de antigüedad), y se encontraron en los basurales próximos a la cueva de Pachamachay en las cercanías del lago de Junín sobre los 4200 msnm. En ese sitio se hallaron semillas de una especie de Opuntia de una antigüedad de más de 11,800 años, la cual podría tratarse de *Austrocylindropuntia floccosa*, que es la única que crece en tales altitudes y cuyos frutos aún siguen siendo consumidos en las serranías del centro y sur del país. Desafortunadamente son escasos los estudios de coprolitos humanos que son los tipos de restos arqueológicos que determinarían la identidad de las especies de cactáceas que formaban parte de la dieta del hombre antiguo del Perú. (Amaya, J. 2009).

Posteriormente se encontraron restos de opuntia y otras cactáceas, formando parte de ofrendas con las que se enterraban a los muertos como anzuelos, alfileres o peines hechos con espinas de *Austrocylindropuntia exaltata* y *Neoraimondia arequipensis*. También se han encontrado restos de opuntia formando parte del material de construcción en algunas edificaciones prehispánicas. (Amaya, J. 2009).

El estudio de las manifestaciones artísticas de las culturas preincas ha permitido identificar otras especies de gran importancia, siendo el cactus “San Pedro” el de mayor relevancia en el Perú prehispánico. (Amaya, J. 2009).

#### **4.1.1.3 Variedades de tuna en Perú**

En el Perú se presentan las variedades de tuna: variedad blanca, variedad amarilla, variedad morada, variedad colorada y variedad forrajera

##### **Variedad blanca**

Se produce tanto en la Costa como en la Sierra. Sus frutos son de color verde claro cristalino, de consistencia buena, firme, jugosa, muy dulce, con pocas semillas. Su cáscara es dura, gruesa y con espinas pequeñas. Presenta mayor aceptación. (Castillo, C.2014)



*Figura 2* Tuna variedad blanca

##### **Variedad amarilla**

Dentro de la variedad amarilla hay dos tipos: la amarilla serrana (de monte o de huerta) y la amarilla costeña. Las tunas amarillas serranas son de menor tamaño que la variedad blanca, en cambio la tuna amarilla costeña es de similar tamaño. En ambos casos su pulpa es amarilla-anaranjada, sabrosa, con bastantes semillas y ligeramente más harinosa que la tuna blanca. Su cáscara es gruesa. (Castillo, C.2014)



*Figura 3* Tuna variedad amarilla

### **Variedad morada**

Esta variedad se produce principalmente en la Sierra, de fruto grande, jugoso, dulce, delicado, es más harinosa que la tuna blanca. Su color va del rojo claro al rojo oscuro pudiendo ser incluso púrpura. Rendidora y de buena calidad. Tiene cáscara gruesa con escasas y pequeñas espinas. (Castillo, C.2014)



*Figura 4* Tuna variedad morada

### **Variedad colorada**

La variedad colorada es originaria de la Sierra, se caracteriza por presentar fruto grande y harinoso, tiene cáscara delgada y presenta problemas por su rápida sobre maduración, siendo bastante delicada, no apropiada para el transporte, lo que impide su comercialización en gran escala. Debido a ello es de menor aceptación. Similar descripción ha sido realizada para los frutos de *O. streptacantha*. (Castillo, C.2014)



*Figura 5* Tuna variedad colorada

### **Variedad forrajera**

La variedad forrajera no presenta espinas (inermes), sus cladodios o pencas son de forma redonda y de gran desarrollo vegetativo, es cultivada exclusivamente para la producción de forraje, pudiendo ser ensilada. De buena aceptación por parte de cualquier tipo de ganado. Posee mayor cantidad de proteínas por hectárea que muchas otras plantas forrajeras con excepción de la alfalfa. (Castillo, C.2014)

#### **1.4.1.4 Beneficios del consumo de tuna**

En los últimos años la comunidad científica ha mostrado mayor interés con respecto a los beneficios que proporciona la tuna a la salud. Diferentes investigaciones han demostrado la mejora de la función plaquetaria, la reducción de lípidos y triglicéridos en la sangre y el colesterol total y la reducción de las concentraciones de isoprotanos en la sangre lo cual indica un menor daño oxidativo, Sin embargo, son escasos los trabajos realizados y aún se desconocen los mecanismos de acción. La tuna ha sido muy utilizada en tratamientos contra la gastritis, hiperglucemia, arterosclerosis y diabetes. (Galati et al 2003).

Se presume que los beneficios del consumo de tuna se deben a que es una fuente importante de componentes funcionales y nutraceuticos, tales como el ácido ascórbico, compuestos fenólicos, flavonoides,  $\alpha$ -tocoferoles y betalainas en tunas rojas y amarillas El-Samahy et al (2006). Estudios en la tuna han demostrado que la actividad antioxidante de plantas bioactivas basa su acción de manera directa como secuestrante de radicales libres y de manera indirecta en la relación que tiene con la quelación de los elementos de transición. (Chae et al 2002). No obstante, estas concentraciones de antioxidantes en general parecen ser muy variables, ya que no solo existe una gran variabilidad de estos compuestos en las plantas, sino que además existen muchas variedades de tuna, así como una gran diversidad de opiniones en los métodos adecuados para evaluar estos antioxidantes en los tejidos vegetales. (El-Samahy et al 2007)

### 1.4.1.5 Composición química de la tuna

En la tabla 1 se presenta la composición de la tuna por cada 100 g

Tabla 1

#### *Composición química de la tuna*

Componentes	Porcentaje (%)
Agua	83,5
Proteína	0,6
Carbohidratos	11,8
Fibra	3,7
Cenizas	0,4

Fuente: Centro Nacional de Alimentación y Nutrición Instituto Nacional de Salud (2009)

### 1.4.2 Proceso de secado en los alimentos

El secado o deshidratación es una técnica de conservación de alimentos cuyo objetivo principal es la disminución de la actividad del agua de estos. Desde la antigüedad se ha reconocido que los alimentos con mayor contenido en humedad son los más perecederos, de tal manera que el control del contenido en agua es una herramienta para su conservación. Se ha observado también que diferentes alimentos con el mismo nivel de humedad pueden ser muy diferentes en su estabilidad por lo que se deben tener en cuenta además las interacciones del agua con otros componentes del alimento. (Contreras, C. 2006). En este sentido, un aumento de la estabilidad se relaciona con una depresión de la actividad del agua ( $a_w$ ), de manera que este parámetro puede ser considerado como una medida indirecta de la disponibilidad del agua presente en el producto para participar en las reacciones de deterioro o en el crecimiento microbiano. La operación de deshidratación permite además reducir el coste de transporte y almacenamiento por la disminución del peso y volumen de los productos. Y en último término, puede ser una herramienta para el desarrollo de nuevos productos. (Contreras, C. 2006)

Si bien, como se ha comentado, el principal objetivo de la operación de secado es aumentar la estabilidad, el proceso en sí provoca ciertos cambios en los alimentos que deben tenerse en cuenta. La deshidratación de alimentos constituidos por células vegetales, tales como las frutas, supone una serie de cambios físicos, químicos y sensoriales como consecuencia del estrés térmico e hídrico al que se ve sometido el tejido vegetal, de morfología compleja, durante todo el proceso. La ruptura y la degradación de la lámina media, la separación y ruptura de las paredes celulares, la lisis del citoplasma, la pérdida de la funcionalidad de la membrana y el colapso estructural de las células. (Moraga, G. 2002), pueden ocasionar cambios físicoquímicos tales como la cristalización de la celulosa, despolimerización y solubilización de pectinas, desnaturalización de proteínas, cambios en los sólidos solubles y en la capacidad de rehidratación, encogimiento, así como cambios en las propiedades mecánicas relacionadas con la textura. (Crapiste 2000). Los cambios químicos contribuyen a la calidad final tanto de los productos deshidratados como de sus equivalentes reconstituidos, en lo referente al color, sabor, textura, viscosidad, velocidad de reconstitución, valor nutritivo y estabilidad en el almacenamiento. (Contreras, C. 2006). El grado en que ocurren estos cambios depende de la composición del alimento y de la severidad del método de secado. Las reacciones de oscurecimiento pueden deberse a acciones enzimáticas (por lo que se suele inactivarlas mediante tratamientos de escaldado) o pueden deberse a reacciones no enzimáticas, las cuales se aceleran cuando los alimentos se someten a altas temperaturas y el alimento posee una elevada concentración de grupos reactivos. Otra consecuencia de la deshidratación de los alimentos es la dificultad que presenta su rehidratación en el caso de que éste sea un objetivo deseado. (Contreras, C. 2006). Las causas son de origen físico y químico, teniendo en cuenta por una parte el encogimiento y daño celular ocasionado, y por otra, la desnaturalización de las proteínas ocasionada por el calor y la concentración de sales. En estas condiciones estas proteínas de

las paredes celulares no son capaces de absorber de nuevo el agua tan fácilmente, perdiendo así el tejido la turgencia y alterando la textura que caracteriza a un determinado alimento.

La pérdida parcial de componentes volátiles y de sabor es otro efecto de la deshidratación; por esta razón algunos métodos pretenden atrapar y condensar los vapores producidos en el secador y devolverlos al producto seco, aunque un control de la temperatura empleada puede evitar en gran medida la volatilización de estas sustancias. (Contreras, C. 2006)

Estos factores relacionados con la calidad del producto deben ser analizados cuando se va a diseñar una operación de deshidratación de alimentos, para así provocar un mínimo daño al alimento, sin olvidarse de otros aspectos más tecnológicos relacionados con la eficacia y el costo del proceso. (Contreras, C. 2006)

A nivel industrial, cuando el secado se hace por transmisión de calor al sólido húmedo, diversos son los tipos de secadores utilizados dependiendo de las características y propiedades físicas del producto húmedo y/o del procedimiento deseado para que ocurra dicha transmisión de calor. Entre ellos se encuentran:

Secadores directos: se caracterizan por utilizar gases calientes para suministrar el calor en contacto directo con el alimento, fundamentalmente por convección, y arrastrar el líquido vaporizado. Ejemplo de este tipo son los secadores de horno o estufa, de bandejas o de armario, de túnel, de cinta transportadora, de torre o bandejas giratorias, de cascada, rotatorios, de lecho fluidizado, por arrastre neumático, por atomización. (Contreras, C. 2006)

Secadores indirectos: el calor se transmite al alimento por conducción a través de la pared que lo contiene, eliminándose el líquido vaporizado independientemente del medio

calefactor; entre ellos se encuentran los secadores de bandeja a vacío, por sublimación (liofilizadores), de tornillo sin fin, de rodillo. (Contreras, C. 2006)

Otro tipo de secadores menos frecuentes son los secadores por radiación, en donde la energía se produce eléctricamente (infrarrojos) o por medio de refractarios únicamente calentados con gas, y los secadores dieléctricos y por microondas. Los tipos de secadores de interés en este estudio son los secadores directos. (Contreras, C. 2006)

### **1.4.3 Mecanismos y cinética de secado**

Teniendo en cuenta que el alimento sometido a deshidratación se puede considerar como un sistema trifásico (matriz sólida, fracción líquida y fracción gaseosa), pueden distinguirse varios mecanismos de transporte de materia según la fase a través de la cual se produce el transporte y según se trate de agua líquida, agua líquida más solutos o vapor de agua.

(Contreras, C. 2006). Sin embargo, los mecanismos de transferencia más importantes en el interior del sólido son la difusión de agua en forma vapor o en fase líquida y la capilaridad.

Por otro lado, en el seno del aire de secado también tiene lugar transporte de agua en forma vapor por mecanismo turbulento. El transporte de calor tiene lugar, en primer término, hacia la interfase sólido-gas (transferencia externa) y, en segundo lugar, a través del sólido (transferencia interna). La transferencia de calor hacia la interface puede realizarse por mecanismos de convección, conducción y radiación. En algunas ocasiones es alguno de estos mecanismos el que predomina, mientras que en otras el calor se transmite por combinación de ellos (Fito et al., 2001). El estudio de estos fenómenos de transmisión de calor y materia, precisa de la cuantificación de los flujos que ocurren durante el secado y, frecuentemente, del uso de modelos cinéticos que permitan predecir la evolución del

proceso, lo cual puede llegar a ser de gran ayuda en el diseño y optimización de la operación a nivel industrial. La modelización de la deshidratación requiere identificar las posibles etapas del proceso y los mecanismos de transferencia de materia que las gobiernan. A este respecto, es importante mencionar que en los procesos de secado por aire caliente se observan normalmente los siguientes periodos de secado:

**Periodo de inducción o de velocidad de secado creciente:** en esta etapa se inicia el proceso de secado de manera que el producto se calienta y aumenta la temperatura de la interfaz, produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado. La duración de este periodo es función del contenido inicial de humedad del sólido, de su temperatura, de la velocidad del aire, etc., pero a fines de cálculo se prescinde de él ya que se considera que en su transcurso el secado tiende al régimen estacionario y suele ser de corta duración. (Contreras, C. 2006)

**Periodo de velocidad de secado constante:** la velocidad con que se elimina agua de la superficie del sólido es igual que la velocidad con que llega a ella desde el interior de este. De esta manera la superficie del material se mantiene constantemente mojada y se comporta como una masa de líquido. De aquí que la velocidad de secado sea igual a la velocidad de evaporación del agua, que será a su vez proporcional a la velocidad de flujo de calor que llega desde el aire al sólido. En tales condiciones, la temperatura de la interfase permanece constante y el calor que llega al sólido se invierte totalmente en evaporar el líquido. (Contreras, C. 2006). En la figura 2 el periodo de velocidad constante corresponde a la porción BC, que corresponde a un modelo lineal.

$$W = W_0 - B \cdot t$$

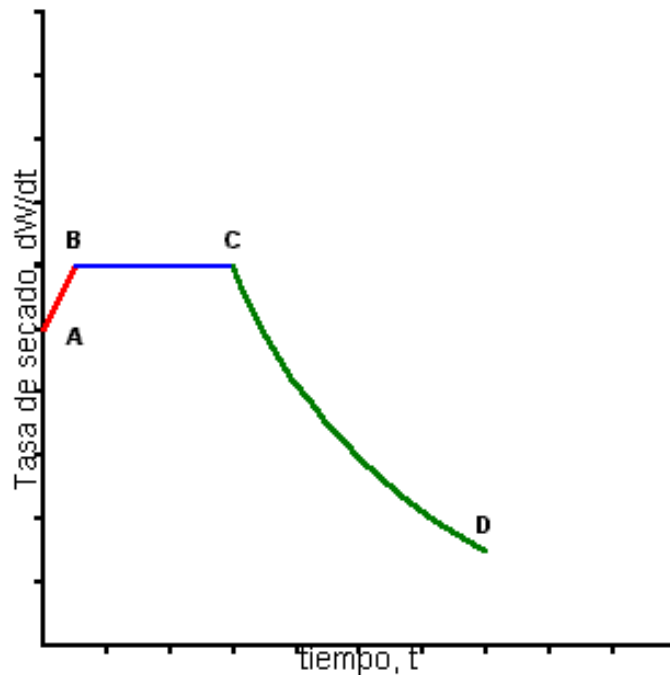
Donde:

$W$  = Contenido de humedad en cualquier tiempo

$W_0$  = Contenido de humedad inicial

$T$  = tiempo

$B$  = pendiente de la curva que es la velocidad constante



**Figura 6.** Curva de deshidratación velocidad de secado vs tiempo

**Periodo de velocidad de secado decreciente:** la humedad del producto sigue disminuyendo hasta alcanzar la humedad de equilibrio. Cuando la disminución de la velocidad de secado es lineal con el contenido en humedad, se supone que la evaporación del agua que contiene el material continúa produciéndose en la misma forma que en el

periodo de velocidad constante, con la salvedad de que no ocurre en toda la superficie, ya que comienzan a aparecer zonas secas, de manera que la velocidad de secado disminuye a medida que lo hace la superficie mojada. (Contreras, C. 2006). Con relación al secado combinado, aire caliente-microondas, puede que los periodos de secado mencionados no sean tan fáciles de distinguir y, por lo tanto, la modelización del proceso sea más compleja (Bilbao, 2002; Andrés et al., 2004). En este periodo, a medida que avanza la deshidratación se hace más difícil el paso del agua desde las partes internas, debido al encogimiento de la parte exterior del producto dando como resultado un periodo de velocidad decreciente variable.

Cuando la difusión de los líquidos controla el periodo de velocidad decreciente se emplea la ecuación de Sherwood y Newman.

$$\frac{W - W_e}{W_o - W_e} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \left[ e^{-D \cdot t \cdot \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2} + \frac{1}{9} \cdot \left[ e^{-9 \cdot D \cdot t \cdot \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2} \right] \dots \right] \\ + \frac{1}{25} \cdot \left[ e^{-25 \cdot D \cdot t \cdot \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2} \right] + \dots$$

Donde:

D = Difusividad del líquido en metros cuadrados por hora

L = Mitad del espesor de la capa sólida de la cual difunde el líquido.

Cuando el tiempo es grande se tiene una fórmula límite de la ecuación de Newman como sigue:

$$\frac{W - W_e}{W_o - W_e} = \frac{6}{\pi^2} \cdot \left( e^{-D \cdot t \left( \frac{\pi}{2L} \right)^2} \right)$$

## **CAPITULO II    DESARROLLO**

### **2.1    Desarrollo del tema**

#### **2.1.1    Materiales y equipos**

##### **Materia prima**

**Tuna en rodajas**

##### **Equipos y materiales de laboratorio**

Secador artificial

Cuchillos de acero inoxidable

Bandejas de plástico de 10 x 20 cm

Coladeras de plástico

Balanza de precisión

Higrómetro digital marca

Termómetros digitales

Placas Petrix de 9 cm de diámetro

## 2.1.2 Descripción del proceso

### 2.1.2.1 Recepción de la materia prima

Las tunas fueron adquiridas de los mercados de Chincha, Pisco e Ica. Una vez recepcionada la materia prima inmediatamente se realizó el control de frescura, separando aquellos en mal estado o que no tengan el punto adecuado de maduración.



*Figura 7* Recepción de la materia prima

### 2.1.2.2 Lavado

Las tunas se lavan con agua limpia para eliminar las impurezas (tierra) o con chorros de agua clorada. Para clorar el agua basta agregar cloro al agua de lavado en una proporción de dos partes de cloro por millón de agua (2 ppm).



*Figura 8.* Lavado de la tuna

### **2.1.2.3 Selección**

Se recomienda seleccionar la fruta en base a su grado de madurez apariencia y tamaño.

### **2.1.2.4 Pelado**

Para el pelado se utilizan cuchillos, primero se cortan los extremos y luego se realiza un corte longitudinal y se separa la cascara



*Figura 9.* Pelado de la tuna

### 2.1.2.5 Cortado

La tuna después del pelado se procede a cortar en rodajas de aproximadamente 0,5 cm de espesor

### 2.1.2.6 Pesado

Se realiza el pesado de las rodajas de tuna para determinar el rendimiento

### 2.1.2.7 Secado

Una vez pesadas las muestras son llevadas al secador artificial de bandejas al cual previamente se le ha regulado la temperatura de procesamiento  $60^{\circ}\text{C}$ . El secado se suspendió hasta que se alcanzaron contenidos de humedad de 8 % a 10 % (b.h); humedad a la cual se puede considerar un producto estable para su almacenamiento.



*Figura .10* Secado de la tuna

### **2.1.2.8 Empacado**

Finalizado la operación de secado se empacan las tunas deshidratadas en bolsas flexibles de plástico de 150 g. de capacidad y se sellan.

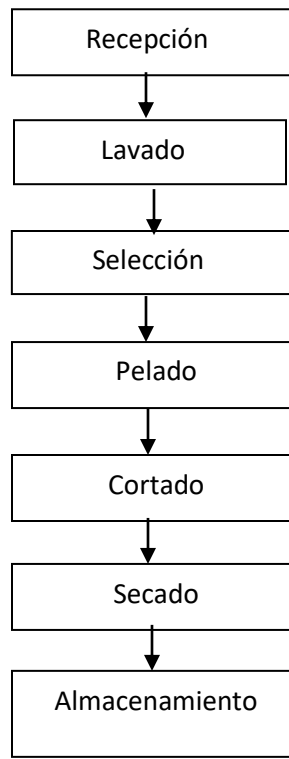


*Figura 11.* Empacado de la tuna

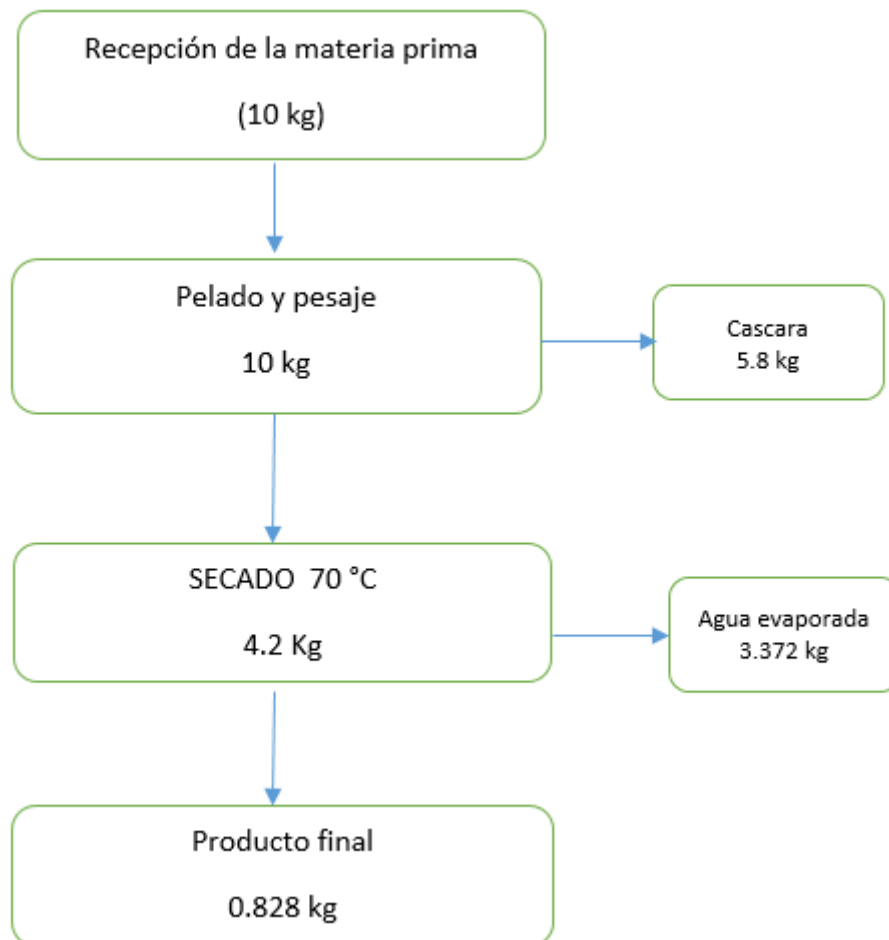
### **2.1.2.9 Almacenamiento**

Se almacenada en un lugar fresco

### 2.1.3 Diagrama de flujo



### 2.1.4 Balance de materia en base a 10 kg de materia prima



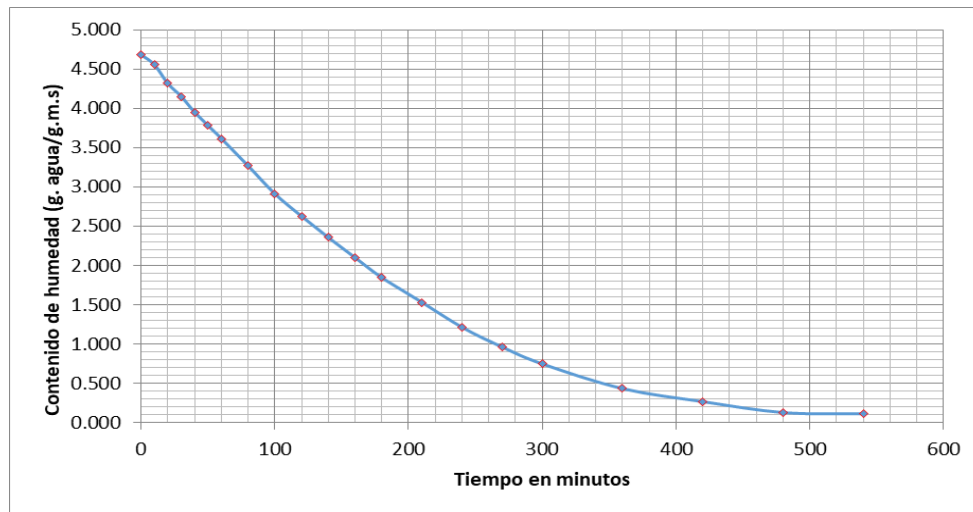
### 2.1.5 Datos experimentales del secado de la tuna a 70°C

En la tabla 2 se presenta los datos obtenidos en la deshidratación de la tuna a la temperatura de 70 °C y la figura 11 la curva de contenido de humedad vs tiempo.

Tabla 2

Contenido de humedad y velocidad de secado para la tuna

Tiempo (min)	Contenido de humedad (g de agua/g.m.s)	Velocidad de secado (g de agua/g.m.s.min)
0	4.682	0
10	4.554	0.0128
20	4.316	0.0183
30	4.151	0.0177
40	3.951	0.0183
50	3.782	0.0180
60	3.615	0.0178
80	3.268	0.0177
100	2.912	0.0177
120	2.625	0.0171
140	2.355	0.0166
160	2.099	0.0161
180	1.845	0.0158
210	1.530	0.0150
240	1.212	0.0145
270	0.961	0.0138
300	0.747	0.0131
360	0.432	0.0118
420	0.267	0.0105
480	0.128	0.0095
540	0.112	0.0085



**Figura 12.** Curva de secado a 70 °C para la tuna.

#### Parámetros del periodo constante

**Velocidad de secado**  $\frac{dw}{dt} = 0.0179$  g de agua / g.m.s min

**Contenido de humedad critica**  $W_c := 2.912$  g de agua / g.m.s

**Ecuacion**  $W = 4.689 - 0.0179t$

**Tiempo de secado del periodo constante** 100 minutos

#### Parámetros del periodo DECRECIENTE

**Difusividad** =  $1.96 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s

**Ecuacion**  $\ln\left(\frac{W - W_e}{W_0 - W_e}\right) = 0.3859 - 0.0116 \cdot t$

**Tiempo de secado del periodo decreciente** = 40 minutos

## 2.2 Opinión crítica

La tuna es una planta de gran importancia en los sistemas agropastoriles de los andes peruanos. Esta cactácea se encuentra ampliamente distribuida en el país, especialmente en los valles interandinos donde ha encontrado condiciones adecuadas para su establecimiento. Sus frutos son consumidos en forma natural tanto por campesinos como por pobladores locales y son comercializados en los principales mercados del país.

El secado de los alimentos genera estabilidad microbiana y química, disminuye el peso y volumen de los alimentos, consiguiéndose así una importante reducción de los costos de transporte y almacenamiento de estos productos.

## 2.3 Conclusiones

Las principales conclusiones del trabajo monográfico son:

La tuna es rica en calcio, potasio y fósforo, y contiene otros minerales; aporta cantidades importantes de vitamina C y pequeñas cantidades de varias vitaminas del complejo B. Contiene aproximadamente un 15% de carbohidratos de buena calidad y es alcalinizante. Es baja en calorías, pues una tuna de 100 gramos contiene aproximadamente 41 calorías

Los beneficios del consumo de tuna son: Ayuda a perder peso, es diurética. Es una aliada perfecta para combatir el colesterol malo, la semilla nos ayuda a combatir la gastritis, la acidez estomacal y la úlcera gástrica. La tuna contiene un alcaloide llamado Cantina, el cual ayuda a reducir problemas del corazón

El secado se realiza a 70°C durante 9 horas en un secador con aire caliente.

La elaboración de tuna deshidratada es una gran alternativa para los agricultores que pueden darle un valor agregado, y aumentar la vida útil del recurso

## CAPITULO III BIBLIOGRAFÍA

### 3.1 Referencias bibliográficas

Bilbao, C. (2002). *Estudio del secado combinado aire/microondas en manzana Granny Smith*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Contreras C. (2006) *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas*. Tesis Universidad Politécnica de Valencia. España .

Gustavo V. Barbosa-Cánovas (2000) *Deshidratación de Alimentos* Editorial Acribia España

Moraga, G.; Martínez-Navarrete, N.; Chiralt, A. (2004). *Water sorption isotherms and glass transition in strawberries: influence of pretreatment*. Journal of Food Engineering

Piga A. (2004) *Cactus pear: A fruit of nutraceutical and functional importance*. Journal of the Professional Association for Cactus Development .

El-Samahy et al (2006) *Chemical and Rheological Characteristics of Orange-Yellow Cactus-Pear Pulp from Egypt*. Journal of the Professional Association for Cactus Development Recuperado el 25 de Febrero 2019 de <http://www.jpacd.org>.

Gelati et al (2003) *Chemical characteristics and biological effects of sicilian Opuntia ficus indica (L.) Mill, Fruit juice: antioxidant and antiulcerogenic activity*. Journal of Agricultural and Food Chemistry.

Chae et al (2002) *Antioxidant Property of an Ethanol Extract of the Stem of Opuntis ficus-indica var. Saboten-* Journal of Agricultural and Food Chemistry.

Crapiste, G. (2000). *Simulation of drying rates and quality changes during the dehydration of foodstuffs. En: J. Lozano; C. Añon; E. Parada-Arias; G. BarbosaCánovas (Eds.): Trends in Food Engineering. Food Preservation Technology Series.* Technomic Publishing CO., INC. Lancaster Basel

Fito P. et al (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente.* Editorial Universidad Politécnica de Valencia

Andrés, A et al (2004). *Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air-microwave dehydration.* Journal of Food Engineering,

Páginas de internet

Amaya,J. (2009) *Cultivo de tuna (Opuntia ficus indica)* Recuperado el 13 de mayo 2020 de <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>.

Castillo, C. (2014) *Taxonomía de la tuna en el Perú* Recuperado el 13 de Mayo de <https://willkamikhuna.lamula.pe/2014/07/31/taxonomia-de-la-tuna-en-el-peru/ccperalta/>

Centro Nacional de Alimentación y Nutrición Instituto Nacional de Salud (2009) *Tablas peruanas de composición de alimentos* Recuperado el 14 de marzo 2020 de

<https://repositorio.ins.gob.pe/xmlui/bitstream/handle/INS/1034/tablas-peruanas-QR.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Ruiz, L. y Castro L. (s.f) Influencia de las condiciones de secado en el color de fresas variedad Chandler Recuperado el 13 de Marzo 2020 de [http://investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion\\_bogota/documentos/enid/2015/memorias2015/ingenieria\\_tecnologias/influencia\\_de\\_las\\_condiciones\\_de\\_secado\\_en\\_e.pdf](http://investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion_bogota/documentos/enid/2015/memorias2015/ingenieria_tecnologias/influencia_de_las_condiciones_de_secado_en_e.pdf)

Salazar, O. (s.f) *Manual de prácticas para el procesamiento de frutas*. Recuperado el 10 de Febrero 2020 de [file:///C:/Users/Ruiz/Downloads/Manual%20practicas%20para%20el%20procesamiento%20de%20frutas%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Ruiz/Downloads/Manual%20practicas%20para%20el%20procesamiento%20de%20frutas%20(1).pdf)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Opuntia\\_tuna](https://es.wikipedia.org/wiki/Opuntia_tuna)