



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“EFECTO DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE  
LA SOLUCIÓN OSMÓTICA SOBRE LA TRANSFERENCIA DE  
MASA DE LA PAPAYITA ANDINA (*Carica pubescens*)”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**HELIAM MARYLIA ALBARRACIN ZUÑIGA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

*A ti mi Dios, por permitirme vivir  
cada experiencia, por ser mi  
principal compañía y soporte en  
cada momento de mi vida.*

*A mis seres queridos que me  
acompañan desde el cielo, quienes  
siempre creyeron en mí.*

*Para el amor de mi vida y los dos  
regalos mas valiosos que me pudo  
dar, quienes son mi motor y motivo.*

*A cada uno de ustedes familia que me  
dieron fortaleza, impulso, consejos,  
para poder llegar a este momento.*

***Heliam Marylia A. Z.***



## AGRADECIMIENTOS

A Dios mi creador, quien siempre es mi guía e impulsor en mi vida profesional.

Mi más sincero agradecimiento y reconocimiento a los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por haber contribuido en mi formación profesional universitaria a través de sus enseñanzas y consejos.

A mi director de tesis Dr. Alejandro Coloma Paxi, por su invaluable orientación y acertada dirección en este trabajo de investigación.

A la M.Sc. karol Heidy Aranibar Bejar por ser una de mis guías a lo largo de la realización de esta tesis.

A los miembros del jurado: M.Sc. Cesar Paul Laqui Vilca, Dr. Ronald Astete Tebes, y M.Sc. Juan Quispe Ccama, por su rigurosidad, correcciones y comprensión en la evaluación durante la elaboración del presente estudio.

Al personal administrativo, por las facilidades brindadas en las instalaciones, para la ejecución del presente trabajo.

A mis tías Nilda Béjar y Frida Málaga por su constante motivación para la ejecución de esta tesis.

*Heliam Marylia A. Z.*



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 13**

**ABSTRACT ..... 15**

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

### **CAPÍTULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. PAPAYITA ANDINA (*Cárica pubensces*) ..... 19**

2.1.1. Origen y distribución de la papayita andina..... 19

2.1.2. Clasificación taxonómica ..... 20

2.1.3. Bioecología ..... 20

2.1.4. Descripción botánica ..... 21

2.1.5. Características morfológicas ..... 21

2.1.6. Características fisicoquímicas ..... 25

2.1.7. Formas de consumo y aprovechamiento ..... 26

**2.2. COEFICIENTE DE DIFUSIÓN ..... 28**

**2.3. ÓSMOSIS..... 28**

**2.4. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA..... 28**



2.4.1. Etapas de la deshidratación osmótica.....	30
<b>2.5. DIFUSIÓN SE AGUA.....</b>	<b>32</b>
<b>2.6. TRASFERENCIA DE MASA DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA..</b>	<b>34</b>
<b>2.7. CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....</b>	<b>37</b>
<b>2.8. VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....</b>	<b>37</b>
2.8.1. Tipo de agente osmótica.....	37
2.8.2. Concentración del soluto en la solución.....	41
2.8.3. Temperatura de la solución osmótica.....	42
2.8.4. Tiempo de inmersión.....	43
2.8.5. Relación solución: alimento .....	43
2.8.6. ph de la solución osmótica .....	44
2.8.7. Propiedades del soluto empleado .....	44
2.8.8. Geometría y tamaño del producto .....	44
<b>2.9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....</b>	<b>45</b>
2.9.1. Ventajas.....	45
2.9.2. Desventajas.....	46
<b>2.10. IMPORTANCIA DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN LA INDUSTRIA.....</b>	<b>47</b>
<b>2.11. ALIMENTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS .....</b>	<b>47</b>



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODO

<b>3.1. EJECUCIÓN .....</b>	<b>48</b>
3.1.1. Lugar de ejecución .....	48
3.1.2. Materia prima e insumo .....	48
3.1.3. Materiales .....	48
3.1.4. Equipos.....	49
3.1.5. Reactivos .....	50
<b>3.2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>50</b>
3.2.1. Acondicionamiento de las muestras .....	51
3.2.2. Proceso de deshidratación osmótica.....	52
3.2.3. Análisis fisicoquímico .....	52
<b>3.2.4. Descripción del proceso de deshidratación osmótica.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3. DISEÑO ESTADÍSTICO .....</b>	<b>55</b>
<b>3.4. EVOLUCIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE MASA .....</b>	<b>56</b>
3.4.1. Modelo fenomenológico .....	58
3.4.2. Difusividad efectiva .....	58
3.4.3. Ley de arrhenius .....	59

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DE LA PAPAYITA ANDINA FRESCA Y LA PAPAYITA ANDINA OSMODESHIDRATADA .....</b>	<b>61</b>
--	-----------



<b>4.2. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN AGUA Y DE SACAROSA Y TEMPERATURA EN LA VARIACIÓN DE MASA TOTAL, PÉRDIDA DE SÓLIDOS SOLUBLES DE LA PAPAYITA ANDINA.....</b>	<b>63</b>
4.2.1. Efecto de la concentración de sacarosa y temperatura en la determinación de variación de masa .....	63
4.2.2. Efecto de la concentración de sacarosa y temperatura en la determinación de la pérdida de agua .....	68
4.2.3. Efecto de la concentración de sacarosa y temperatura en la ganancia de sólidos solubles.....	72
<b>4.3. EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN (45°, 55°, 65° BRIX DE SACAROSA) Y TEMPERATURA (35, 45 Y 55°C) EN LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DE TRANSFERENCIA DE MASA DE LA PAPAYITA ANDINA.....</b>	<b>77</b>
4.3.1. Cálculo de los parámetros cinéticos $k_w$ y $k_{ss}$ .....	77
4.3.2. Cálculo de la difusividad efectiva .....	81
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>97</b>

**Área:** Ingeniería y tecnología.

**Tema:** Propiedades físicas y estructurales.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 18 de marzo del 2021



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Papayita andina .....	22
<b>Figura 2.</b>	Raíz .....	23
<b>Figura 3.</b>	Tronco .....	23
<b>Figura 4.</b>	Hojas .....	24
<b>Figura 5.</b>	Flores.....	25
<b>Figura 6.</b>	Fruto .....	25
<b>Figura 7.</b>	Diagrama de los fenómenos de transferencia de masa que ocurren en las células de los alimentos durante la deshidratación ósmótica.....	30
<b>Figura 8.</b>	Primera etapa de la deshidratación.....	31
<b>Figura 9.</b>	Segunda etapa de la deshidratación.....	31
<b>Figura 10.</b>	Transferencia de masa.....	34
<b>Figura 11.</b>	Estructura de la sacarosa .....	41
<b>Figura 12.</b>	Diagrama de flujo de la deshidratación osmótica de la papayita andina ( <i>Cárica pubescens</i> ).....	51
<b>Figura 13.</b>	Variación de los componentes fisicoquímicos de la papayita andina fresca y la papayita andina osmodeshidratada.....	64
<b>Figura 14.</b>	Variación de masa a una temperatura 35°C .....	65
<b>Figura 15.</b>	Variación de masa a una temperatura 45°C .....	65
<b>Figura 16.</b>	Variación de masa a una temperatura 55°C .....	65
<b>Figura 17.</b>	Pérdida de agua a una temperatura de 35°C.....	69
<b>Figura 18.</b>	Pérdida de agua a una temperatura de 45°C.....	69
<b>Figura 19.</b>	Pérdida de agua a una temperatura de 55°C.....	70
<b>Figura 20.</b>	Ganancia de sólidos solubles a una temperatura de 35°C.....	73





<b>Figura 21.</b>	Ganancia de sólidos solubles a una temperatura de 45°C.....	73
<b>Figura 22.</b>	Ganancia de sólidos solubles a una temperatura de 55°C.....	74
<b>Figura 23.</b>	Gráfico de Arrhenius para las constantes cinéticas $K_w$ y $K_{ss}$ .....	79



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Clasificación taxonómica de papayita andina .....	21
<b>Tabla 2.</b>	Características fisicoquímicas de la papayita andina .....	26
<b>Tabla 3.</b>	Valores de la difusividad efectiva de la sacarosa .....	32
<b>Tabla 4.</b>	Usos y función de algunos agentes osmóticos .....	40
<b>Tabla 5.</b>	Niveles codificados de las variables .....	55
<b>Tabla 6.</b>	Matriz de diseño experimental codificada ( $3^2$ ) .....	55
<b>Tabla 7.</b>	Compuestos fisicoquímicos de la materia prima y el producto final .....	61
<b>Tabla 8.</b>	Análisis de varianza para variación de masa.....	67
<b>Tabla 9.</b>	Análisis de varianza para la pérdida de agua .....	71
<b>Tabla 10.</b>	Análisis de varianza para la ganancia de sólidos solubles. ....	77
<b>Tabla 11.</b>	Valores de los parámetros cinéticos $K_w$ y $K_{SS}$ para cada tratamiento .....	78
<b>Tabla 12.</b>	Valores de difusividad efectiva de agua ( $D_{we}$ ) y de sólidos solubles ( $D_{sse}$ ) .....	82



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

$\Delta M$	: Variación de masa total
$\Delta M_w$	: Pérdida de agua
$\Delta M_{ss}$	: Ganancia de sólidos solubles
$M_t$ y $M_0$	: Peso de la muestra a tiempo $t$ y $0$ respectivamente (g)
$X_{wt}$ y $X_{w0}$	: Fracción de masa de agua a tiempo $t$ y $0$ respectivamente (g agua.g <sup>-1</sup> m.s)
$X_{sst}$ y $X_{ss0}$	: Fracción de masa de sólidos solubles a tiempo $t$ y $0$ respectivamente (g sólidos.g <sup>-1</sup> m.s)
$X_{we}$	: Fracción de masa de agua en equilibrio (g agua.g <sup>-1</sup> m.s)
$K_w$ y $K_{ss}$	: Constantes cinéticas fenomenológicas
$Y$	: Fuerza impulsora (adimensional)
$Y_e$	: Fuerza impulsora experimental (adimensional)
$T$	: Temperatura (°C)
$C$	: Concentración de sacarosa (%)
$D_e$	: Difusividad efectiva (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )
$t$	: Tiempo (s)



<b>L</b>	: Semi espesor (m)
<b>D<sub>we</sub></b>	: Difusividad efectiva de agua (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )
<b>D<sub>sse</sub></b>	: Difusividad efectiva de sólidos solubles (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )
<b>D<sub>0</sub></b>	: Constante difusional (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )
<b>E<sub>a</sub></b>	: Energía de activación (kJ.mol <sup>-1</sup> )
<b>R</b>	: Constante de los gases ideales (kJ.mol <sup>-1</sup> K)
<b>Y<sub>c</sub></b>	: Fuerza impulsora calculada (adimensional)
<b>z</b>	: Número de constantes
<b>N</b>	: Número de datos



## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la temperatura y concentración de la solución osmótica, en la transferencia de masa de la papayita andina. Para este propósito se utilizó dos variables experimentales, la temperatura (35°, 45° y 55°C) y la concentración de la solución osmótica (45°, 55° y 65° Brix), utilizando sacarosa, en intervalos de tiempo (0, 15, 30, 45, 90, 135 y 180 minutos). Para lo cual se determinó la variación de la composición fisicoquímica de la papayita andina fresca y la papayita andina osmodeshidratada. Así mismo, se determinó la variación de masa total, pérdida de agua, ganancia de sólidos solubles y modelado cinético. Los resultados de los análisis fisicoquímicos mostraron una disminución en el contenido de humedad y un incremento en los carbohidratos de la muestra osmodeshidratada respecto a la muestra fresca, por otra parte, en el porcentaje de cenizas, proteína, grasas y fibra este disminuye. Se encontró la mayor ganancia de masa (2.50%), pérdida de agua (30%) y ganancia de sólidos solubles (15.8%), a una temperatura de 35°C y una concentración de 65°Brix, hasta los 180 minutos de tratamiento. Se observa que la concentración afecta más que la temperatura en la cinética de la pérdida de agua ( $K_w$ ) y la ganancia de sólidos solubles ( $K_{SS}$ ). El efecto de la temperatura sobre las constantes cinéticas  $K_w$  y  $K_{SS}$  mediante la ecuación de Arrhenius muestra mayor dependencia de la temperatura sobre  $K_w$  (pérdida de agua) para una concentración de 55°Brix, ya que el coeficiente de correlación  $r^2$  es superior a 0.90. En el caso de los sólidos, muestra que existe mayor dependencia de la temperatura sobre la constante cinética  $K_{SS}$  para una concentración de 45° y 65°Brix, ya que el coeficiente de correlación  $r^2$  es superior a 0.90. Los valores de difusividad efectiva de agua ( $D_{we}$ ) y de sólidos solubles ( $D_{sse}$ ) muestran una clara dependencia positiva con la concentración.

**Palabras claves:** Papayita andina, ósmosis, modelos cinéticos, difusividad efectiva.



## ABSTRACT

The objective of this investigation was to determine the effect of the temperature and concentration of the osmotic solution, in the mass transfer of the Andean papayite. For this purpose, two experimental variables were used, the temperature (35 °, 45 ° and 55 ° C) and the concentration of the osmotic solution (45 °, 55 ° and 65 ° Brix), using sucrose, in time intervals (0, 15, 30, 45, 90, 135 and 180 minutes). For which the variation of the physicochemical composition of the fresh Andean papayite and the osmodehydrated Andean papayite was determined. Likewise, the variation of total mass, water loss, soluble solids gain and kinetic modeling were determined. The results of the physicochemical analyzes showed a decrease in the moisture content and an increase in the carbohydrates of the osmodehydrated sample with respect to the fresh sample, on the other hand, in the percentage of ash, protein, fat and fiber this decreases. The highest mass gain (2.50%), water loss (30%) and soluble solids gain (15.8%) were found, at a temperature of 35 ° C and a concentration of 65 ° Brix, up to 180 minutes of treatment. It is observed that the concentration affects more than the temperature in the kinetics of the loss of water ( $K_w$ ) and the gain of soluble solids ( $K_{ss}$ ). The effect of temperature on the kinetic constants  $K_w$  and  $K_{ss}$  through the Arrhenius equation shows a greater dependence of temperature on  $K_w$  (water loss) for a concentration of 55 ° Brix, since the correlation coefficient  $r$  is greater than 0.90. In the case of solids, it shows that there is a greater dependence of temperature on the kinetic constant  $K_{ss}$  for a concentration of 45 ° and 65 ° Brix, since the correlation coefficient  $r$  is greater than 0.90. The effective diffusivity values for water ( $D_{we}$ ) and soluble solids ( $D_{sse}$ ) show a clear positive dependence on concentration.

**Keywords:** Andean papayite, osmosis, kinetic models, effective diffusion.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La papayita andina (*Carica pubescens*) es conocida en el Perú por distintos nombres comunes tales como papayita de monte, papayita andina y papaya de montaña. Una fruta que podemos encontrar en las distintas regiones del Perú (Amazonas, Cajamarca, Huánuco, Ancash, Junín, Arequipa y Puno) (Balcázar, 2014). En la zona sur del Perú existe una Asociación de Productores de Papaya Andina Orgánica (ASPPAO), dedicada a la producción y comercialización de papayita andina en Sandía – Puno. (Los Andes, 2015).

La papayita andina, es una fruta de consumo popular, un alimento de importancia, no sólo por sus características sensoriales sino también por las bondades nutricionales que posee, como son los minerales y las vitaminas. Es un fruto estacional, es susceptible al deterioro lo que tiende a acortar el tiempo de vida útil, por lo que se hace necesario buscar alternativas de transformación de tal modo que se obtengan productos estables con el tiempo y que puedan estar a disposición durante todas las épocas del año (Concha, Guevara & Araujo, 2002).

Por otro lado, la deshidratación osmótica es una técnica de remoción de agua en la cual el alimento a deshidratar es sumergido en una solución que hace posible la incorporación de componentes fisiológicamente activos, preservativos y saborizantes. Las variables del proceso de deshidratación osmótica dependen tanto de la geometría y espesor del producto como de las propiedades del jarabe, que se utilice como solución osmótica, para la deshidratación de frutas, en este método se recomienda utilizar temperaturas entre 40–80 °C (García, 2013). Los productos a osmodeshidratar se sumergen en diferentes soluciones acuosas, por lo general de azúcar o sal. Durante el



proceso osmótico, el agua fluye fuera del producto hacia la solución osmótica concentrada, mientras que pequeñas cantidades de soluto osmótico es transferido de la solución hacia adentro del producto (Ramos *et al.*, 2012).

Existen estudios de las principales variables que producen efecto sobre la deshidratación osmótica, específicamente sobre la cinética de transferencia de materia, entre ellas destacan las propias del producto como composición, tamaño, forma, presencia de piel, pretratamientos previos (Barat *et al.*, 1998), y de la solución osmótica como temperatura, concentración, naturaleza del agente osmótico, presión de trabajo, razón alimento-solución, tiempo y agitación (Lerici, 1985).

Una ventaja del proceso de deshidratación osmótica es que el alimento deshidratado conserva la mayor parte de sus nutrientes, puede ser utilizado como una operación previa en el secado y la liofilización, reduciéndose así los costos energéticos, es un proceso tecnológicamente sencillo, se puede trabajar con pequeños volúmenes de producto, produce un daño mínimo en la estructura del alimento deshidratado ya que no debe someterse a altas temperaturas, no obstante, el producto reduce su tamaño hasta cinco veces durante el proceso de deshidratación, es decir, al perder humedad el volumen del fruto se reduce notablemente, por lo que para tener un kilo de alguna fruta deshidratada se necesitarán varios kilos de fruta fresca (Spiazzi, 2001).

En este contexto, la evaluación de la transferencia de masa en interacción de la temperatura y la concentración de la solución osmótica en la papayita andina (*Carica pubescens*) es una alternativa prometedora de conservación para un producto tan beneficioso de nuestra región de Puno y ampliar su aprovechamiento nutricional, medicinal y la incursión al mercado, en base a lo mencionado anteriormente se planteó el siguiente objetivo general: Determinar el efecto de la temperatura (35, 45 y 55°C) y





concentración (45, 55, 65 °Brix) de la solución, en la transferencia de masa de la papayita andina. Para lo cual se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la variación de la composición fisicoquímica de la papayita andina fresca y la papayita andina osmodeshidratada.
- Determinar el efecto de la concentración (45, 55, 65 °Brix) y temperatura (35, 45 y 55°C) en la variación de masa total, pérdida de agua y ganancia de sólidos solubles de la papaya andina.
- Evaluar la concentración (45, 55, 65 °Brix) y temperatura (35, 45 y 55°C) en los parámetros cinéticos de transferencia de masa de la papayita andina.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. PAPAYITA ANDINA (*Carica pubescens*).

La papayita andina es una fruta nativa de América tropical que pertenece a la familia de las Caricaceas y al género y especie *Carica pubescens*. Esta es la única especie de importancia económica dentro del género *Carica*, el cual agrupa más de 20 especies. Es una fruta cultivada en casi todas las regiones tropicales del mundo (Ortiz, 2009).

El género *Carica* comprende varias especies entre las más conocidas se encuentran: *Carica pubescens*, *Carica monoica* y el híbrido ecuatoriano *Carica xheilbornii* (Babaco), sin embargo, la más importante de todas las especies es *Carica papaya* (Chiriboga, 2000).

##### 2.1.1. Origen y distribución de la papayita andina

La Caricaceae es una familia que se ha distribuido considerablemente, tanto en sudamérica y centro américa con 33 especies y 2 en la parte tropical de África. De igual forma, *Vasconcellea* es una de los géneros que pertenecen a esta familia y se distribuyen ampliamente en la parte noreste de los Andes (Carvalho & Renner, 2012).

La papayita andina (*Carica pubescens*) es nativa de América tropical, originaria de las tierras bajas de América central. Sin embargo, en las tierras altas de América del Sur crecen diferentes parientes con cierto potencial. Una de ellas es la llamada papaya de altura, que recibe diferentes nombres como: chilhuacán, chiglacón, chamburu (Ecuador); chamburu, huanarpu hembra (Perú, Bolivia); en castellano: papaya de monte, papaya arequipeña, papaya andina (Perú y Bolivia); papayuela (Colombia); y en inglés: "mountain papaya" (Tapia, 2000).



La “papayita andina” (*Carica pubescens*), es una especie nativa que crece en algunos distritos de las provincias de Carabaya y Sandia de la región Puno (Perú), entre los pisos altitudinales de los 1600 a los 2800 msnm, estas corresponden a las zonas agroecológicas yunga y quechua, el clima templado de las áreas de ceja de selva de las provincias de Sandia y Carabaya, brindan condiciones apropiadas para el desarrollo de esta especie frutal (Vallenas, 2013).

La papayita andina (*Carica pubescens*), es una especie de planta con flor de la familia de las Caricaceae. Posee una sabrosa fruta, es nativa del noreste de Sudamérica y es cultivada desde Panamá hasta Bolivia, sobre los 1000 a 3300 m.s.n.m. (Neill & Ulloa, 2011).

En Sandia, los productores de “papayita andina el 2014 lograron instalar 140 hectáreas de esta fruta, el 2015, incrementaron su producción en 50% con respecto al año anterior (Andes, 2015). En la campaña agrícola de 2016 – 2017 fue de 904 t, 2017 – 2018 de 914 t (DRAP, 2018).

### **2.1.2. Clasificación taxonómica**

Según Muñoz (2004) la clasificación taxonómica de la papayita andina es la siguiente:

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de papayita andina

Reino	Plantae
División	Angiospermae
Clase	Eudicots
Sub clase	Rosids
Orden	Brassicales
Familia	Caricaceae
Genero	Carica
Especie	<i>Carica ubeescens</i>

### 2.1.3. Bioecología

La especie papayita andina (*Carica pubescens*), es sensible a las bajas temperaturas y al intenso sol del mediodía en el invierno (mayo-septiembre). Estos extremos de temperatura afectan al follaje y a la maduración normal de los frutos. Aunque es necesario hacer mayores estudios al respecto, parece recomendable el cultivo en asociación con otros arbustos. Esto se deduce de su buen desempeño en los huertos profundos y con abundante materia orgánica. La planta no soporta sequías prolongadas porque presenta una numerosa caída de hojas (Tapia, 2000).

### 2.1.4. Descripción botánica

El conocimiento concerniente al cultivo de *C. pubescens* en los andes es limitado. Su cultivo es tradicional y su crecimiento en los campos rurales es utilizado más como una planta decorativa y por el consumo doméstico de sus frutos. Luego de la época de producción del fruto, los campesinos en forma artesanal retiran las semillas del interior del fruto, y después de un corto periodo de secado al aire libre ellos son puestos en maceteros para la germinación.

Las plántulas son puestas en terreno cuando tienen cerca de 10 – 15cm de largo (de dos a cuatro hojas). La distancia entre plántula y plántula es de alrededor de 3x3 m (Araujo, 2013).

### 2.1.5. Características morfológicas

- a) **Forma:** Planta arborescente perennifolia, de 1 a 2 m de altura con un diámetro a la altura del pecho de 6 a 15 cm (hasta 30 cm), con un olor acre distintivo, conforme se muestra en la Figura 1 (Iquira,1996).



**Figura 1.** Árbol de papayita andina

FUENTE: Masson *et al* (2003).

- b) **Raíz:** El sistema radical consta de pocas raíces, grandes, tuberosas, de textura flexible y de color blanco cremoso, provistas de muchas raicillas superficiales, tienden a ramificarse profundamente y en forma más o menos radial, explotando una capa de suelo de aproximadamente 1m, conforme se muestra en la Figura 2 (Linné, 1753).



**Figura 2.** Raíz

FUENTE: Cornejo (2019)

- c) **Tronco /Ramas:** Es erguido, cilíndrico, hueco excepto en los nudos, más grueso en su base, herbáceo, semileñoso, succulento con látex sin ramas y con las características cicatrices que dejan las hojas al caer Crecimiento monopódico cuando joven y al madurar se ramifica, conforme se muestra en la Figura 3 (Linné, 1753).



**Figura 3.** Tronco

FUENTE: Cornejo (2019).

- d) **Hojas:** Son perennes, atractivas, de apariencia tropical, largas (20 - 25 cm de longitud y 35 - 40 cm de ancho), con lóbulos. El lóbulo principal tiene de 3 a 5 lóbulos laterales, de forma variable. El envés está cubierto por finos pelos. Además, tienen largos peciolo, entre 16 y 34 cm. Los tallos exudan látex cuando sufren heridas. Así mismo, tiene hojas grandes que se distinguen de la papaya por

su forma y por la presencia de una pubescencia que cubre las hojas y las flores, conforme se muestra en la Figura 4 (Duque *et al.*, 2005).



**Figura 4.** Hojas

FUENTE: Cornejo (2019).

- e) **Flores:** Las flores son cerosas, discretas con cinco pétalos carnosos y cubiertos de finos pelos, de color verde amarillento, por la noche son fragantes, nacen por debajo de las hojas en las axilas foliares del tallo principal. Las flores exudan un látex blanco cuando todavía no están maduras. Muchas plantas son dioicas y el sexo se encuentra en plantas diferentes, algunas son monoicas y hermafroditas, y en la misma flor se encuentran ambos sexos, como en la papaya, las plantas pueden cambiar el sexo de las flores durante el año, probablemente debido a los cambios de temperatura, conforme se muestra en la Figura 5 (Duque *et al.*, 2005).



**Figura 5.** Flores

FUENTE: Cornejo (2019).

- f) **Fruto:** En comparación con la papaya tropical, los frutos en este caso son pequeños (8-20 cm de longitud), poseen cinco caras y son de color naranja-amarillo. Nacen en las axilas de las hojas, directamente del tallo principal, desde primavera hasta otoño en áreas frías y en regiones más cálidas durante todo el año. La pulpa es jugosa, amarilla y con un sabor ácido, aunque esté madura. Los frutos tardan en madurar entre 3 y 4 meses en las regiones frías y después desarrollan un dulce aroma afrutado (Bosmediano & Coronel, 2014).



**Figura 6:** Fruto

FUENTE: Masson *et al.* (2003).

Duque *et al.* (2005) manifiesta que el fruto es muy aromático, de color amarillo claro, oblongo-elíptico, truncado en la base y agudo en el ápice, de 8 a 11 cm de largo y 5 a 6 cm de diámetro, con cinco costillas muy pronunciadas. La pulpa, ligeramente





amarilla, constituye cerca del 60 % del peso total de la fruta y contiene numerosas semillas en la cavidad central cubiertas por una membrana dulce, transparente y gelatinosa, conforme se muestra en la Figura 6 (A y B).

Duque *et al.* (2005) indica que antes de alcanzar la madurez, el fruto exuda un látex, al que se le han atribuido propiedades medicinales para el tratamiento de la micosis y otras enfermedades de la piel. Generalmente, no se consume al natural, sino procesada en forma de jugos o conservas.

Iquira (1996) menciona que presentan frutos apiñados alrededor del tronco. Bayas entre elipsoides a esféricas, piel lisa y delgada tornándose de verde a anaranjada en la madurez, pulpa blanda, jugo lechoso. El fruto silvestre mide de 4 a 6 cm de largo y de 3 a 4,5 cm de ancho. Cada fruto conteniendo de 200 a 400 semillas. Fruto cultivado de 10 a 15 cm de largo, dependiendo del cultivo.

#### **2.1.6. Características fisicoquímicas**

La papayita andina, conocida como papaya arequipeña o papaya de olor se distribuye en la región andina y selva alta del Perú. Contiene papaína y carpaína; nutrientes tales como proteínas (0,7%) carbohidratos (3,9%), grasas (0,1%), agua (93,5%), fibra (1,2%), vitamina A (100 UI), vitamina C (70mg/100g), calcio, fósforo, tiamina, riboflavina y niacina (Muñoz, 2006)

En la Tabla 2 se observa las características fisicoquímicas de la papayita andina en pulpa fresca.

**Tabla 2:** Características fisicoquímicas de la papayita andina.

Características	Pulpa fresca (g/100g)
Humedad	90.70
Proteína	1.32
Grasa	0.14
Ceniza	2.15
Fibra	4.93
Carbohidratos	5.69
Vitamina C	0.053
Papaína	0.353
Kilocalorías (Kcal)	29.30

FUENTE: Muñoz, 2006

### 2.1.7. Formas de consumo y aprovechamiento

Investigaciones previas mostraron que las hojas de papayita andina (*Carica pubescens*) inhiben efectivamente ciertas bacterias que causan diarrea. Según el análisis fisicoquímico, la fracción de acetato de etilo de las semillas de *C. pubescens* contiene flavonoides, alcaloides y fenol. Mientras que la fracción n-hexano de la corteza contiene alcaloides y taninos (Sugiyarto *et al.*, 2019). Así como la *Vasconcellea pubescens* contiene compuestos flavonoides que pueden proteger la piel de la luz solar debido a su actividad antioxidante, está probada que la actividad de la planta mostró su importancia y utilidad profiláctica en la formulación antisolar y esta será una alternativa mejor, más barata y segura al protector solar químico dañino que se usa actualmente en la industria (Advaita *et al.*, 2018).



## **2.2. COEFICIENTE DE DIFUSIÓN**

Esta ecuación corresponde a la solución de la ecuación de Fick para una lámina plana sometida a unas condiciones en las que el contenido de humedad de la superficie se encuentra en equilibrio con las condiciones de aire y la transferencia de masa externa desde la superficie es elevada comparado con la transferencia de agua en el interior del producto. La segunda ley de Fick, considerando una distribución de humedad uniforme al inicio y que la resistencia externa a la masa es omitible (Alvarado,1996.)

## **2.3. ÓSMOSIS**

La ósmosis es el flujo de agua a través de una membrana semipermeable inducida por una diferencia de concentraciones de soluto. El proceso osmótico es un tipo de difusión pasiva caracterizada por la inmersión del alimento en donde se basa en el paso parcial de agua removida a través de la membrana semipermeable desde la solución más diluida (hipotónica) a la más concentrada que rodea la membrana (hipertónica-jarabe concentrado de sólidos solubles), la difusión continuará hasta que las dos soluciones tengan la misma concentración (Apaza, 2007).

## **2.4. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA**

Coloma (2008) menciona que la deshidratación osmótica es el proceso de remoción de agua en el cual los alimentos (tales como frutas y vegetales) son colocados en una solución concentrada de sólidos solubles donde ocurre deshidratación parcial del agua del producto. Simultáneamente a la remoción del agua, se presenta en menor cantidad, el ingreso de soluto desde la parte externa hasta el interior del producto a deshidratar. Las soluciones que se usan como agentes osmóticos son soluciones concentradas de sacarosa, salmueras de alta concentración, maltodextrinas y jarabes de maíz de variada composición. Se deben buscar las soluciones de mayor fuerza osmótica,

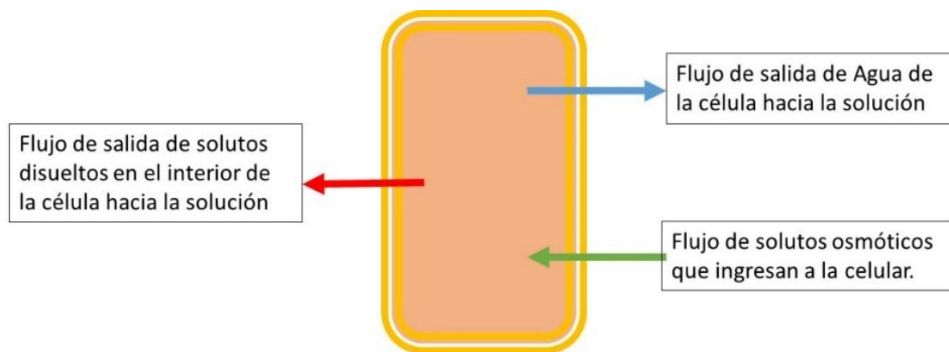


pero que al mismo tiempo afecten lo menos posible las características sensoriales del producto. La deshidratación osmótica es un método no térmico de deshidratación mediante el cual se logra obtener productos de humedad intermedia con buena calidad organoléptica.

Castillo & Cornejo (2007) señala que la deshidratación osmótica como pretratamiento, mejora las características organolépticas del color y sabor de los productos deshidratados, es una técnica que permite reducir el contenido de humedad e incrementar el contenido de sólidos solubles en las frutas, mediante la inmersión de esta en solución acuosa de alta concentración de soluto, para que ocurra el proceso de osmosis entre la fruta y la solución concentrada. El agua se traslada desde la disolución menos concentrada en soluto (alimento) hacia la más concentrada (solución hipertónica), de tal manera que las concentraciones tienden a igualarse. Existen varios factores (temperatura, concentración de solución osmótica, etc.) que ejercen influencia sobre los fenómenos de transferencia de masa en el proceso de deshidratación osmótica. Si bien el producto obtenido no es estable para su conservación, su composición química permite obtener, después de un secado con aire caliente o temperatura fría, un producto final de buena calidad organoléptica (Morgado *et al.*, 2014).

Genina *et al.* (2002) mencionan que han identificado dos etapas en el proceso de DO. En la primera, denominada deshidratación, la pérdida de agua es mayor que la ganancia de sólidos y en una segunda etapa, llamada impregnación, se obtiene una ganancia de sólidos mayor a la pérdida de agua. En esta segunda etapa, la masa total del sólido aumenta con el tiempo. (Campos & Flores, 2012), mencionan que la deshidratación osmótica (DO) es una técnica para producir alimentos de humedad intermedia, ya sea enteros o en placas, consiste en sumergir los alimentos en soluciones hipertónicas.

La base de este proceso es la ósmosis, que consiste en el movimiento molecular de ciertos componentes de una solución a través de una membrana semipermeable hacia otra solución de menor concentración de cierto tipo particular de moléculas con el objetivo de producir dos efectos principales: los cuales se representan en la Figura 7, el flujo del agua desde el producto hacia la solución hipertónica y flujo de solutos hacia el interior de la placa del alimento a procesar. De tal manera que las concentraciones tienden a igualarse es decir cuando la velocidad neta de transporte de materia se anula y alcanza el equilibrio terminando así el proceso osmótico.



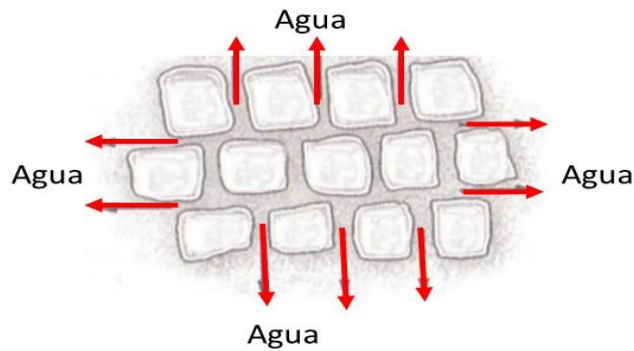
**Figura 7:** Diagrama de los fenómenos de transferencia de masa que ocurren en las células de los alimentos durante la deshidratación osmótica

FUENTE: Campos & Flores (2012).

#### **2.4.1. Etapas de la deshidratación osmótica**

##### **2.4.1.1. Primera etapa de la deshidratación osmótica**

Como indica la Figura 8, en la primera etapa de la deshidratación se observa el alimento en estado fresco e intacto estructuralmente en donde el agua comienza a ser eliminada por capilaridad en el transcurso del proceso osmótico (Colina, 2010).

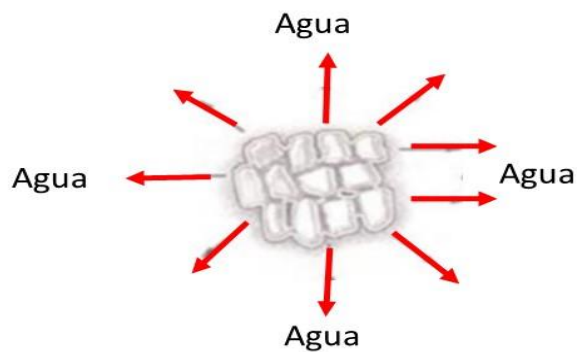


**Figura 8:** Primera etapa de la deshidratación

FUENTE: Colina (2010).

#### 2.4.1.2. Segunda etapa de la deshidratación osmótica

Como demuestra la Figura 9 el agua interna del alimento se va eliminando, en donde sus células se observan ligeramente compactadas y distribuidas hacia el exterior en un proceso de capilaridad. Mientras que si la velocidad de eliminación de agua incrementa de forma abrupta se presenta un proceso de difusión de agua activa y acelerada en donde finalmente las células se observan deformadas y colapsadas por la influencia de la tensión superficial (Colina, 2010).



**Figura 9.** Segunda etapa de la deshidratación

FUENTE: Colina (2010).



## 2.5. DIFUSIÓN DE AGUA

La difusión de agua es un proceso que se basa en el método isotérmico de deshidratación osmótica de forma pasiva que permite una mayor concentración de solutos y menor contenido de agua en el alimento según la estructura de la membrana celular del alimento en donde se basa en la composición, características y morfología del producto (Colina, 2010).

### 2.5.1. Difusividad durante la deshidratación osmótica

Della (2010) menciona, el proceso de deshidratación osmótica se caracteriza por una etapa transigente antes de alcanzar el equilibrio durante el período dinámico la velocidad de transferencia de masa disminuye hasta llegar al equilibrio. Cuando éste se alcanza la velocidad de transporte neta de masa es nula y es el final del proceso osmótico. La remoción del agua se realiza por dos mecanismos: Flujo capilar y difusivo, mientras que el transporte de solutos ya sea de consumo o de lixiviación se realiza sólo por difusión. Como lo mencionamos anteriormente, la deshidratación osmótica es un proceso complejo de contra-difusión simultáneo de agua y solutos. En él, podemos reconocer tres flujos:

- Flujo del agua del producto a la disolución
- Flujo de los solutos de la disolución al producto
- Flujo de los solutos solubles en el agua desde el producto a la disolución (azúcares, ácidos orgánicos, minerales y vitaminas)

La Difusividad efectiva explica al mismo tiempo la variación de las propiedades físicas del tejido y la influencia de las características de la disolución y las variables de proceso, por lo tanto, observando simplemente la magnitud de difusividad efectiva no se entiende explícitamente el impacto de los diferentes parámetros sobre el proceso de

deshidratación osmótica (Yao & Le Maguer, 1997). En la Tabla 3 se muestra los valores de difusividad efectiva de la sacarosa en diferentes frutas, así como también se observa a cuanto de concentración y temperatura se obtienen estos valores.

**Tabla 3:** Valores de la difusividad efectiva de la sacarosa

FRUTA	CONCENTRACIÓN (°Brix)	T (°C)	D <sub>e</sub> (m <sup>2</sup> /s)	REFERENCIA
Manzana	65	20-50	0,172E-09	<i>Salvatori et. al., 1999.</i>
Manzana	40-60	20-50	0,108E-09	<i>Kaymak y Sultanoglu, 2003.</i>
Papaya	50-70	30-50	0,933E-09	<i>Rodríguez et. al., 2002.</i>
Papaya	Saturado	25	3,47E-09	<i>Mendoza, 2002.</i>
Piña	50-70	50-70	0,46E-09	<i>Waliszewski et. al., 2004.</i>
Piña	40-70	30-50	1,54E-09	<i>Rastogi y Raghavarao, 2002.</i>
Banano	40-70	25-45	0,85E-09	<i>Rastogi y Raghavarao, 1996.</i>
Mango	35-65	30	0,77E-09	<i>Giraldo, 2003</i>

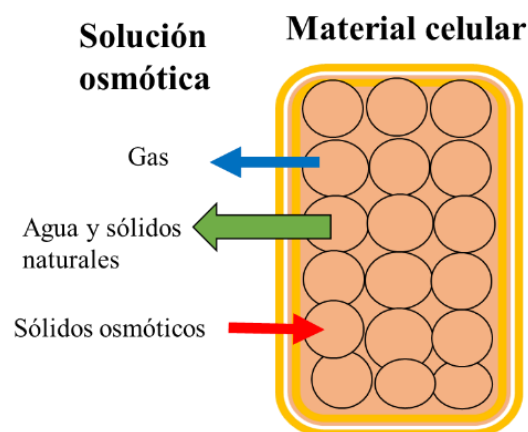
FUENTE: Ochoa & Ayala (2005).



## 2.6. TRANSFERENCIA DE MASA DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Es una operación unitaria que interviene en la destilación, absorción, secado y extracción líquido – líquido. Cuando se está transfiriendo masa de una fase a otra o a través de una sola fase, el mecanismo básico es el mismo ya sea que se trate de gases líquidos o sólidos, la transferencia de masa es decisiva en muchos resultados de la ciencia y la ingeniería, se verifica cuando el componente de una mezcla migra a una misma fase o de una fase a otra, a causa de diferencias de concentración entre dos puntos, conforme se observa en la figura 10 (Geankoplis, 1998).

Existen dos flujos de transferencia de masa muy importantes que están involucrados en la deshidratación osmótica, el primero es el movimiento de agua desde el alimento hacia el medio y el segundo, es el flujo de solutos del medio hacia el tejido alimentario. Entonces, la deshidratación osmótica es un proceso de transferencia de masa por el contrario la difusión molecular; es decir la difusión de agua está acompañada por una simultánea difusión, del soluto de la solución del tejido (Horton, 1998).



**Figura 10.** Transferencia de masa

FUENTE: Shi y Le Maguer (2007)



La transferencia de agua es uno de los aspectos más importantes durante la deshidratación osmótica. El mecanismo mayoritario por el que se realiza la transferencia de materia es la difusión debida al gradiente de concentración existente entre el alimento y la solución osmótica (Barbosa y Vega, 2000).

Della (2010) indica la velocidad de transferencia de masa disminuye hasta alcanzar el equilibrio en el que la tasa neta de transporte de masa es nula. La gran complejidad del proceso de transferencia de masa hace que la predicción precisa sea difícil y que dependa de la determinación apropiada de las condiciones de equilibrio y de parámetros como la difusividad efectiva. Entonces, para simplificar el tratamiento del fenómeno se suele interpretar la información experimental mediante modelos empíricos y semi-empíricos los cuáles son válidos solamente para reproducir condiciones semejantes a las experiencias de las que se obtuvieron los datos. La metodología que se utiliza generalmente es la correlación directa de la pérdida de agua y la ganancia de sólidos con algunas variables representativas del proceso como puede ser el tiempo. También, el planteo de un ajuste polinómico puede resultar apropiado. Estos métodos sencillos no permiten extrapolar más allá del rango experimental (Ochoa y Ayala, 2005). Además, necesitan de parámetros que no necesariamente tienen significado físico. Asimismo, en algunos casos, el coeficiente de correlación obtenido no es bueno entre estos modelos empíricos y semiempíricos. También algunos investigadores recurren al ajuste polinómico. Por lo general, cuando se quiere utilizar un modelo fenomenológico para procesos llevados a cabo a presión atmosférica se emplea el modelo de Cranck, que consiste en la solución de la segunda ley de Fick y que describe el mecanismo difusional (Crank, 1964). Un modelo fenomenológico muy utilizado es de Biwal-Bozorgmehr en donde intenta relacionar la pérdida de agua, la ganancia de soluto y la variación de

volumen con las condiciones operativas por medio de ecuaciones 1 y 2 al cual se le llamará modelo de Biwal-Bozorgmehr modificado.

$$\Delta M_W = K_W t^{0.5} \quad (1)$$

$$\Delta M_{SS} = K_{SS} t^{0.5} \quad (2)$$

Donde  $K_w$  y  $K_s$  son constantes fenomenológicas que dependen de la forma y tamaño de las muestras y de la concentración de la solución, su temperatura y el grado de agitación. Estas constantes son válidas sólo para las condiciones en que fueron determinadas, aunque puede modelarse su dependencia con dichas variables operativas (Panagiotou *et al.*, 1998).

También se desarrollaron modelos de termodinámica irreversible que consideran la estructura celular del alimento pero que requieren de una gran cantidad de propiedades que no están fácilmente asequibles en la literatura (Della, 2010).

La importancia de la deshidratación osmótica radica en la conservación de los alimentos mediante la inmersión en soluciones osmóticas en especial los vegetales y frutas aplicando los mínimos tratamientos de temperatura que estos pueden afectar las propiedades nutricionales del producto. La pérdida de agua y la velocidad de secado de un alimento aumenta a medida que se aumenta la concentración de la solución osmótica ya que la actividad de agua de la solución decrece con un incremento de la concentración de solutos (Rocca, 2010).

### **2.6.1. Clasificación General de la Transferencia de masa**

El mecanismo de transferencia de masa depende de la dinámica del sistema en que se lleva a cabo son las siguientes:



**a) Molecular:** la masa puede transferirse por medio del movimiento molecular fortuito en los fluidos (movimiento individual de las moléculas), debido a una diferencia de concentraciones la difusión molecular puede ocurrir en sistemas de fluidos estancados o en fluidos que se están moviendo (Garcell *et al.*, 1988).

**b) Convectiva:** la masa puede transferirse debido al movimiento global del fluido. Puede ocurrir que el movimiento de grandes grupos de moléculas y es influenciado por las características dinámicas del flujo. Tales como densidad, viscosidad etc. Normalmente ambos mecanismos actúan simultáneamente, sin embargo, uno puede ser cuantitativamente dominante y por lo tanto para el análisis de un problema en particular, es necesario considerar solo a dichos mecanismos. La transferencia de masa en sólidos, líquidos y gases sigue el mismo principio, descrito por la ley de Fick (Garcell *et al.*, 1988).

## 2.7. CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La cinética de la deshidratación osmótica permite determinar la variación de peso, ganancia de sólidos solubles y pérdida de agua en función del tiempo (Hidalgo *et al.*, 2009). Por su pérdida de agua conduce un encogimiento del producto. Si el encogimiento es más lento se genera una mayor absorción de sólidos, lo cual no es deseable. Si es más rápido se produce una mejor deshidratación osmótica del producto (Cornejo *et al.*, 2000).

## 2.8. VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

### 2.8.1. Tipo de agente osmótico

Los más comúnmente usados son la sacarosa para frutas y el cloruro de sodio para vegetales, pescados y carnes; si bien también distintas mezclas de solutos han sido probadas, otros agentes osmóticos pueden ser: glucosa, fructosa, dextrosa, lactosa, maltosa, polisacáridos, maltodextrina, jarabes de almidón de maíz y sus mezclas. La



elección dependerá de varios factores tales como costo del soluto, compatibilidades organolépticas con el producto terminado y preservación adicional otorgada por el soluto al producto final y de la influencia del soluto sobre las características organolépticas del producto tratado (Rahman y Perera, 1996).

Los sólidos utilizados para la deshidratación osmótica poseen diferencias en su estructura química, peso molecular, polaridad y permeabilidad, por lo que presentan diferentes interrelaciones con las membranas o componentes del alimento, que se reflejan en la velocidad de transferencia de masa y, por tanto, en la capacidad de cada soluto para provocar pérdida de agua y ganancia de sólidos por parte del alimento (Colina, 2010).

Así, por ejemplo, cuando se utilizan soluciones de la misma concentración de sacarosa, sorbitol y jarabes de maíz para la deshidratación osmótica de frutas, la ganancia de sólidos es casi del doble en las frutas sumergidas en sorbitol que en las de sacarosa a su vez, los jarabes de sacarosa provocan mayor pérdida de agua y ganancia de sólidos que los jarabes de maíz. Esto puede atribuirse, por una parte, a los diferentes pesos moleculares de los solutos, siendo de 182 para el sorbitol, 342 para la sacarosa y mucho mayor para el jarabe de maíz por el contenido de polisacáridos y además en este último caso a la alta viscosidad de la solución osmótica (Colina, 2010).

De igual manera, en soluciones a 60% de sólidos. Aquellas con mezclas de sacarosa/sal (50/1 ó 45/15) son mejores agentes osmóticos, comparadas con las que solo utilizan sacarosa. Esto puede atribuirse a que la sacarosa es el material con mayor peso molecular y origina mayor gradiente de concentración que resulta en mayor pérdida de agua por parte del sólido. Sin embargo, en las soluciones con mezclas sacarosa/sal, esta última, debido a su bajo peso molecular penetra con mayor facilidad al tejido, provocando una mayor reducción del sólido, al mismo nivel de contenido de sólidos totales (Colina, 2010).



### **2.8.1.1. Agentes osmóticos utilizados en el deshidratado osmótico**

En la tabla 4 se observa los usos y funciones de los solutos que normalmente se utilizan en las soluciones osmóticas que son de bajo costo tales como: sacarosa, glucosa, fructuosa, cloruro de sodio, glicerol, sorbitol y combinaciones de estos presentando un efecto sinérgico como es el caso de la mezcla sacarosa- cloruro de sodio (Knorr *et al.*, 2002).

En la Tabla 4 se muestra algunos agentes osmóticos y su uso en diferentes alimentos, de la misma forma la función que cumplen en ellos mediante la deshidratación osmótica.

**Tabla 4:** Usos y función de algunos agentes osmóticos

<b>Agente osmótico</b>	<b>Usos</b>	<b>Función</b>
<i>Sacarosa</i>	Principalmente en frutas	Alta capacidad de remoción de agua. Reduce el oscurecimiento e incrementa la retención de volátiles.
<i>Fructosa</i>	Principalmente en frutas	Sustitución parcial de la sacarosa, para incrementar dulzor.
<i>Lactosa</i>	Principalmente en frutas	Sustitución parcial de la sacarosa, para reducir dulzor.
<i>Maltodextrinas</i>	Frutas y hortalizas	Sustitución parcial de la sacarosa, para reducir dulzor.
<i>Glicerol</i>	Frutas, hortalizas y pescados.	Mejora la textura
<i>Sorbitol</i>	Frutas, hortalizas y pescados.	Mejora la textura
<i>Citrato de sodio</i>	Hortalizas	Alta capacidad de reducir la $a_w$
<i>Cloruro de sodio</i>	Principalmente en carnes, pescados y hortalizas.	Alta capacidad de reducir la $a_w$
<i>Combinación de sacarosa y cloruro de sodio</i>	Frutas, hortalizas y carnes.	Combina los efectos de reducción de la $a_w$ de la sal con la remoción del agua del azúcar.
<i>Carbohidratos de alto peso molecular (almidón)</i>	Pescados, carnes, frutas y hortalizas.	Mejora las características sensoriales, capacidad de remoción de agua con muy baja penetración del soluto al producto. Se emplea en sustitución parcial de la sacarosa para reducir el dulzor.

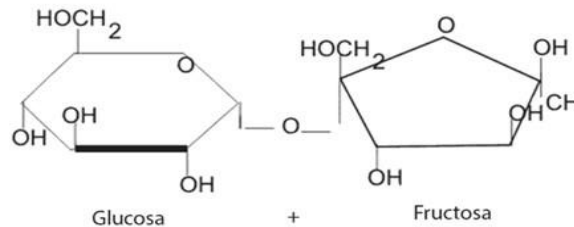
$a_w$ : Actividad del agua.

FUENTE: Colina (2010).

Generalmente las soluciones de sacarosa son las más usadas para frutas.

### a) SACAROSA

La sacarosa, sucrosa, azúcar común o azúcar de mesa es un disacárido formado por glucosa y fructosa. Su nombre químico es alfa D-Glucopiranosil – (1-2)-beta-D Fructofuranósido y su fórmula es  $C_{12}H_{22}O_{11}$  (Ver Fig 11). Conocido como el endulzante mayormente utilizado a nivel alimenticio para diversas aplicaciones a nivel industrial y doméstico (Madrid, 2007). Una solución con alta concentración produce un efecto denominado encostramiento y consiste en la formación de una capa superficial en el alimento con una elevada concentración que supone una barrera en la transferencia de materia entre el producto y la solución. (Barat, Grau y Maupoey, 1998). Se usan soluciones azucaradas con concentraciones iniciales en el rango 40 – 70 %, a mayores concentraciones de soluto más azúcar ingresa en el alimento (Brennan, 2008).



**Figura 11.** Estructura de la sacarosa

FUENTE: Madrid (2007).

### 2.8.2. Concentración del soluto en la solución

Cornejo (2010) menciona que la fuerza impulsora para la deshidratación osmótica es la diferencia de presiones osmóticas entre el producto y la solución concentrada en la cual está inmerso. Por otro lado, la presión osmótica es proporcional a la concentración de la solución, por lo que un aumento de concentración traerá como consecuencia un incremento en la presión osmótica de esta y por lo tanto en la fuerza impulsora total. A





mayor concentración de la solución osmótica, la velocidad de deshidratación también será mayor. Sin embargo, el incremento en la concentración de la solución trae como consecuencia un aumento en la viscosidad, lo que puede dificultar la agitación y el manejo de la solución, haciéndose necesario encontrar una concentración óptima.

### **2.8.3. Temperatura de la solución osmótica**

Della (2010) indica que éste es el parámetro más importante que afecta la cinética de pérdida de agua y la ganancia de solutos. La temperatura presenta dos efectos. Uno de ellos es que el aumento de temperatura favorece la agitación molecular y por consiguiente mejora la velocidad de difusión. El otro es la modificación de la permeabilidad de la membrana celular con un incremento de la temperatura.

La aplicación de temperaturas por encima de 60 °C puede provocar cambios perjudiciales contra la integridad del tejido alimentario, además de causar pardeamiento interno y ocasionar pérdida de compuestos termolábiles (como vitaminas, compuestos aromáticos, entre otros). Las temperaturas más usadas en osmodeshidratación son de 25 °C, 30 °C, 40 °C y 60 °C (Campos & Flores, 2012).

Quijano (2011) manifiesta que, a temperaturas menores de 40 a 50 °C, las membranas celulares mantienen su funcionalidad limitando el transporte, se conserva el color y se mantienen las características sensoriales. Por encima de estas temperaturas, ocurre pérdida de actividad biológica celular, lo que trae como consecuencia que el transporte sea más rápido, pero cambia negativamente la estructura del tejido de la fruta además de la textura, sabor y aroma.

Torres (2007) menciona que temperaturas comprendidas entre 20 y 40°C son consideradas como las más óptimas porque no afectan la integridad de los tejidos, preservan la calidad nutricional del producto y son las de mayor interés a nivel



económico. Por debajo de 40-50 °C las membranas celulares mantienen su funcionalidad limitando el transporte. Por encima de estas temperaturas la desnaturalización y la pérdida de la actividad biológica celular hacen el transporte mucho más rápido, pero tiene un efecto negativo sobre la estructura del tejido de la fruta y por tanto sobre su textura, así como sobre el sabor y el aroma.

#### **2.8.4. Tiempo de inmersión**

El tiempo es un factor de enorme relevancia, debido a que los cambios más importantes del fenómeno de deshidratación ocurren durante las dos primeras horas del proceso, la mayor ganancia de sólidos durante los primeros 60 minutos y la condición de equilibrio se alcanza a tiempos prolongados. Las temperaturas altas y concentraciones altas del agente osmótico disminuyen el tiempo de permanencia del producto en el jarabe hasta que la deshidratación osmótica llegue a su etapa final; sin embargo, los menores tiempos de proceso no son los más adecuados. La elección del tiempo de proceso adecuado dependerá de las necesidades del producto final (Cornejo *et al.*, 2000).

#### **2.8.5. Relación solución: alimento**

La relación solución osmótica: alimento expresa la cantidad de solución requerida por unida de peso del alimento a procesar cuando se sumerge el alimento en la solución, éste va perdiendo agua de manera progresiva y a una velocidad directamente proporcional al nivel de la concentración de la solución. El agua, por tanto, diluye la solución osmótica a la misma velocidad con que fluye desde el alimento. Provocando un descenso de la fuerza osmótica (Suca, 2007).



### **2.8.6. pH de la solución osmótica**

La acidez de la solución aumenta la pérdida de agua debido a que se producen cambios en las propiedades tisulares y consecuentemente cambios en la textura de las frutas y vegetales que facilitan la eliminación de agua (Suca, 2007).

### **2.8.7. Propiedades del soluto empleado**

El proceso osmótico también depende de las propiedades fisicoquímicas de los solutos empleados: pesos moleculares, estado iónico y solubilidad del soluto en el agua. Esta última es muy importante pues define la máxima concentración del soluto que puede emplearse en la solución (Mafart, 1991).

Cuando se utilizan soluciones con solutos de mayor peso molecular, la pérdida de agua se incrementa y la ganancia de solutos resulta despreciable respecto de cuando se usa un soluto de menor peso molecular. El proceso osmótico, la pérdida de agua se favorece con el empleo de solutos de peso molecular alto y la impregnación es superior con solutos de bajo peso molecular. La combinación de dos o más solutos en la solución puede hacer más eficiente la deshidratación al proporcionar cada uno de ellos la ventaja que los caracteriza. (Grabowski *et al.*, 2007). Cuando se usan dos solutos como sacarosa y sal se forma una barrera de sacarosa en la superficie que evita la penetración de la sal, cuya presencia en la solución mantiene una baja actividad de agua y en consecuencia produce una continua pérdida de agua y una ganancia de solutos baja (Baroni y Hubinger, 2000).

### **2.8.8. Geometría y tamaño del producto**

El tamaño influye en la velocidad de deshidratación y en la absorción de solutos puesto que la superficie por unidad de volumen se modifica para los diferentes tamaños. En el caso de cubos o esferas al aumentar el lado o el radio, respectivamente, la superficie



por unidad de volumen disminuye y entonces, la pérdida de agua resulta inferior para tamaños superiores. Lericci, *et al.*, (1985) encontraron que, al aumentar la superficie por unidad de volumen, la pérdida de agua aumenta hasta un máximo y luego decrece para los diferentes tamaños mientras que los sólidos ganados aumentan. La disminución en la pérdida de agua se atribuye a la formación de una capa superficial de solutos sobre el producto que impide la difusión de agua hacia la solución, en el caso de soluciones muy concentradas de soluto.

## **2.9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA**

### **2.9.1. Ventajas**

- Cornejo (2010) menciona que la alta concentración del agente osmótico que rodea a la fruta es un excelente inhibidor del pardeamiento enzimático (oxidativo) que ocurre en frutas cortadas; el azúcar de la solución inhibe la enzima polifenoloxidasa que cataliza los procesos oxidativos de pardeamiento de las frutas cortadas. Además, la inmersión en la solución deshidratante reduce el contacto del producto con el oxígeno retardando la mayoría de los procesos oxidativos. Esto permite obtener un muy buen color en el producto final sin necesidad de adicionar aditivos tal como el dióxido de azufre. El incremento en la concentración de sólidos solubles en la fruta que ocurre como resultado de la eliminación de agua y la incorporación de solutos de la solución, influye positivamente en la retención de volátiles aromáticos durante el secado final.
- El proceso de deshidratación osmótica protege de la pérdida de ciertos nutrientes hidrosolubles, como es el caso de la vitamina C en las frutas (Torres, 2007).



- Della (2010) manifiesta que el producto obtenido de la deshidratación osmótica es más estable que el producto no tratado durante su almacenamiento, debido a la menor actividad acuosa consecuencia de los solutos ganados y la pérdida de agua. A menores actividades de agua, se reducen las reacciones químicas deteriorativas y el crecimiento de microorganismos y su producción de toxinas.
- Durante el proceso se elimina, junto con el agua, una cierta proporción de los ácidos orgánicos de la fruta. Esta menor concentración de ácido residual en la fruta y la incorporación de sólidos, conduce a un producto final de sabor más suave y dulce que el de una fruta deshidratada convencionalmente (Cornejo, 2010).
- Luego de finalizada la operación, se puede utilizar la solución osmótica como materia prima en la formulación de otros productos (Campos & Flores, 2012).

### **2.9.2. Desventajas**

- Muchas veces el grado de humedad al final del proceso no es suficientemente bajo y es necesario complementar con otras técnicas como secado o congelamiento (Sierra, 2010).
- No se puede aplicar en todos los alimentos, sólo en aquellos que presentan estructura sólida (Campos & Flores, 2012).
- Cuando el alimento se sumerge en una solución concentrada, puede aparecer un pequeño residuo de la misma solución al finalizar el proceso; esto puede minimizarse si se escurre el alimento (Campos & Flores, 2012).
- Al haber una inmersión del alimento en el jarabe, se ocasiona flotación, pues algunas muestras del alimento serán menos densas. El jarabe no circulará completamente sobre los trozos y superficies y se obtendrá una ósmosis parcial.



Puede solucionarse colocando un contra peso de manera que el alimento siempre esté en contacto con la solución concentrada (Campos & Flores, 2012).

## **2.10. IMPORTANCIA DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN LA INDUSTRIA**

La tendencia de la industria de alimentos es lograr productos estables y lo más similar posible en sus características sensoriales y nutritivas al alimento fresco, productos mínimamente procesados. La aplicación de la deshidratación en proceso de frutas presenta ventajas con respecto a los tratamientos tradicionales de secado de alimentos; las frutas no se someten a temperaturas elevadas, lo que permite minimizar cambios en color sabor y pérdida de vitaminas; así como la pérdida de aromas que se presenta durante el secado convencional; por otro lado como la eliminación del agua se realiza sin cambio de estado la estructura de la fruta se conserva de la mejor forma, lo que está relacionado con la textura del producto y también la incorporación, con la solución osmótica, de componentes que pueden controlar el crecimiento fúngico y bacteriano como sorbato y/o ácido cítrico. La deshidratación osmótica es un proceso utilizado comúnmente en métodos combinados de conservación y/o en la preparación de alimentos funcionales, ya que permite la incorporación de componentes que incrementan 25 el valor nutricional de frutas o alimentos en general (Arista & Cruz, 2014).

## **2.11. ALIMENTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS**

Los avances científicos han permitido encontrar nuevas técnicas de conservación donde se aplican diversos factores como la temperatura,  $a_w$ , pH o la adición de conservadores; estos promueven la preservación de los alimentos; sin embargo, al emplear alguno de ellos de manera individual y en proporciones elevadas alteran considerablemente en la calidad del alimento al perder algunas de sus propiedades



nutricionales y organolépticas. En los últimos años los consumidores demandan alimentos de alta calidad, poco procesados y lo más parecidos a un producto fresco, para ello surgen los denominados alimentos mínimamente procesados, son aquellos a los que se aplican tratamientos ligeros, tratamientos no térmicos y factores de conservación convencionales en forma inteligente y combinada: los cuales en dosis bajas representan obstáculos para el crecimiento microbiano y las reacciones deteriorativas. Los hábitos de alimentación del hombre han cambiado con el tiempo (Welti & Bermudez, 2007). Los alimentos mínimamente procesados además de satisfacer los gustos del consumidor permiten alargar la vida útil también presentan un valor añadido, al mantener sus nutrientes al máximo y una alta calidad sensorial (Herrero & Romero, 2006).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. EJECUCIÓN

##### 3.1.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se ejecutó, en el laboratorio de Microbiología y el laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la E.P. Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA), Facultad de Ciencias Agrarias, ubicada en el departamento de Puno, provincia Puno, distrito Puno, a una altitud de 3825 m.s.n.m.

##### 3.1.2. Materia Prima e insumo

- Papayita andina proveniente de la provincia de Sandia.
- Solute para la solución osmótica, sacarosa (azúcar refinada).

##### 3.1.3. Materiales

- Matraces “PYREX” de 50 ml, 100 ml c/u.
- Fiolas “PYREX” de 500 ml, 1000 ml c/u.
- Vasos ppt “SIMAX” de, 100 ml, 500 ml, 600 ml c/u.
- Embudo estriado tallo corto de vidrio.
- Desecador de vidrio “PYREX” con silica gel de 2 L de capacidad.
- Lunas de reloj.

##### 3.1.4. Equipos

- Refractómetro Brixometro Digital Modelo MA871
- Balanza Analítica Sartorius cp323s max.320
- Termómetro de mercurio de 100 a 150 grados centígrados





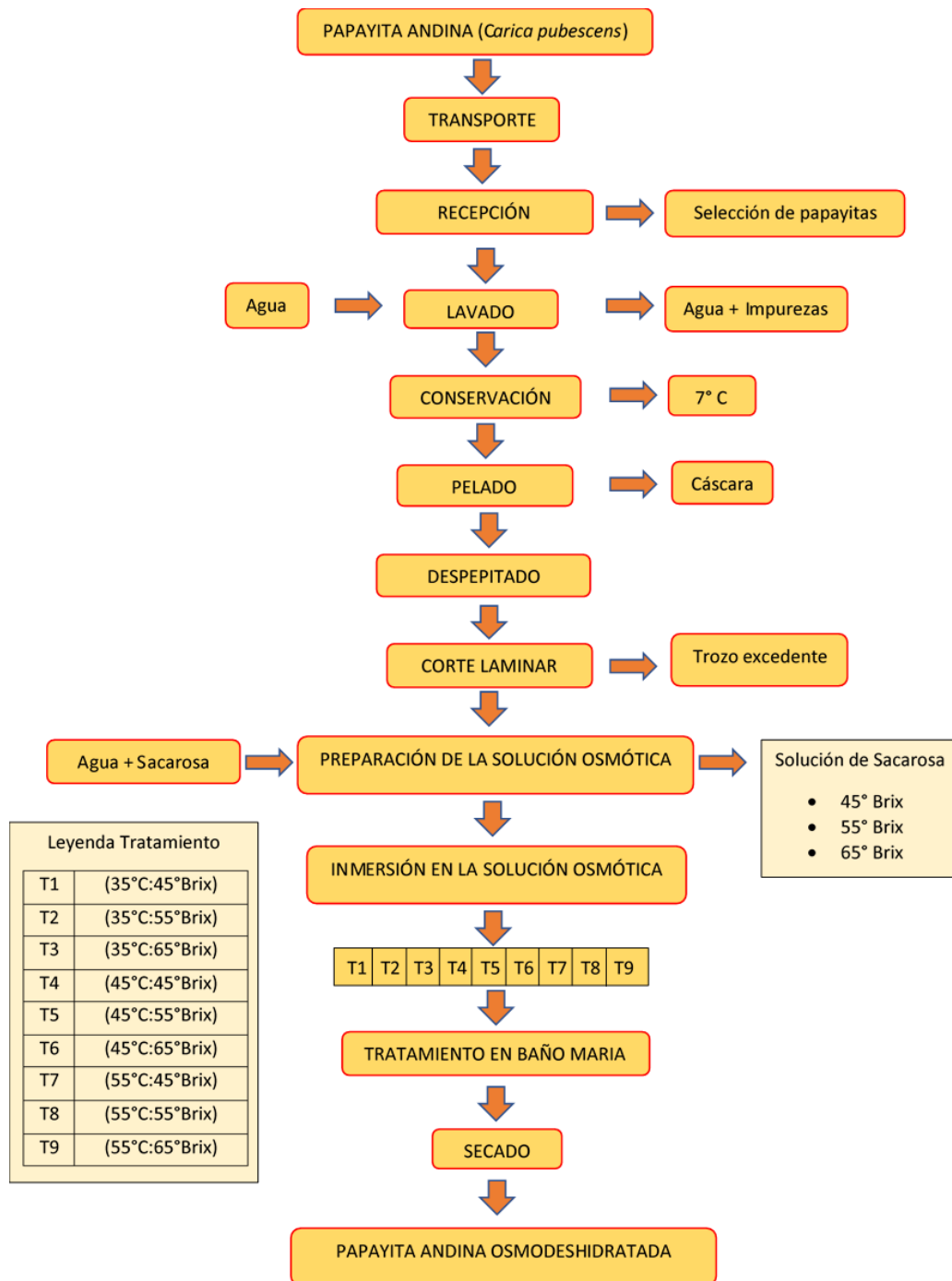
- Estufa al vacío Laboratorio Incubator Nro. IN-601
- Equipo baño maría Memmert Cimatecs

### **3.1.5. Reactivos**

- Soda caustica
- Agua destilada

### 3.2. METODOLOGÍA

El trabajo de investigación se desarrolló de acuerdo a la metodología que se presenta en la Figura 12.



**Figura 12.** Diagrama de flujo del proceso de deshidratación osmótica de la papayita andina (*Carica pubescens*)



### **3.2.1. Acondicionamiento de las muestras**

Se cortó con un cuchillo de acero inoxidable láminas de papayita andina de 2cmx2cmx0.4cm (todas estas medidas aprox.) las cuales fueron lavadas inmediatamente en un envase que contenga agua, a fin de evitar el pardeamiento enzimático.

### **3.2.2. Proceso de deshidratación osmótica**

Se prepararon 3 soluciones osmóticas de 45, 55 y 65 °Brix, en las que fueron sumergidas las muestras, para cada tratamiento se utilizó 50 ml de solución, empleando una proporción fruta/solución de 1:5. (Cardoza y Custodio, 2015). Las temperaturas de trabajo fueron de 35, 45 y 55°C, las soluciones se introdujeron en un baño de agua termostático (baño maría) para controlar y mantener constante la temperatura de trabajo, la que fue monitoreada usando un termómetro de mercurio. Para el estudio de la variación de masa, las muestras identificadas fueron pesadas en intervalos de tiempo (0, 15, 30, 45, 90, 135 y 180 minutos). Todos los experimentos se hicieron por triplicado.

### **3.2.3. Análisis fisicoquímico**

Se realizó de acuerdo a la metodología oficial estándar recomendada por la A.O.A.C. (1990). En esta investigación se determinó los siguientes compuestos fisicoquímicos:

- Humedad
- Grasa
- Proteínas
- Cenizas
- Fibra
- Carbohidratos



Dándole énfasis al contenido de humedad y carbohidratos, esto debido a la naturaleza de nuestra investigación.

### **3.2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA**

#### **a) Materia prima**

La papayita andina se encontró en el distrito de Sandia ubicada al noroeste del departamento de Puno, para su obtención se realizó el viaje de 7 horas desde la ciudad de Puno.

#### **b) Transporte**

Se transportó en un cooler a 12°C desde su lugar de origen hasta su posterior traslado al ambiente adecuado para el experimento (Universidad Nacional del Altiplano).

#### **c) Recepción**

Se procedió a su selección, de acuerdo a su estado madurez, la cual se estandarizó teniendo en cuenta sus características organolépticas, de tal forma se obtuvo frutos con estado de madurez comercial.

#### **d) Lavado**

Se realizó con agua potable mediante inmersión, con la finalidad de eliminar impurezas.

#### **e) Conservación y pelado**

Los frutos se conservaron a 7°C hasta su procesamiento. En esta parte del proceso se utilizó la solución de soda caústica (NaOH 10%) a una temperatura de 70 °C, por un tiempo de 5 minutos (Vega et al. 2007). Inmediatamente se lavó con agua fría para retirar los restos de piel, sin producir daños en los tejidos.



**f) Despepitado**

Se realizó de forma manual utilizando una cuchara de mesa.

**g) Corte laminar**

Se realizó de forma manual, obteniendo láminas con medidas de 2 cm de largo, 2 cm de ancho y 0.4 cm de espesor, todas estas medidas aproximadamente.

**h) Preparación de la solución osmótica**

Se prepararon las soluciones para la deshidratación osmótica a base de sacarosa comercial (45, 55 y 65 °Brix).

**i) Inmersión en solución osmótica**

Las láminas de papayita andina fueron inmersas en las diferentes soluciones osmóticas.

**j) Tratamiento en baño maría**

Las muestras inmersas en la solución se colocaron en el baño maría a temperaturas de 35°C, 45°C y 55°C, en los intervalos de tiempo de 0, 15, 30, 45, 90, 135, 180 minutos.

**k) Papayita andina osmodeshidratada**

Los resultados se obtuvieron en función a los tratamientos empleados en el baño maría.



### 3.3. DISEÑO ESTADÍSTICO

Los datos fueron analizados mediante la media aritmética, desviación estándar y error estándar de la media.

- Determinación de la media aritmética:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (3)$$

Donde:

X	:	Promedio aritmético
N	:	Número total de observaciones
$\Sigma X$	:	Sumatoria del número de observaciones

El diseño experimental empleado está basado en un diseño factorial  $n^k$ , donde n es el número de niveles y k es el número de factores, donde temperatura, concentración son los factores a estudiar ( $k=2$ ), cada uno con 3 niveles ( $n=3$ ), por lo tanto, se requirieron de 9 experimentos ( $3^2$ ) y cada prueba con tres repeticiones.

Se consideraron como variables de entrada o independiente a la concentración de sacarosa (45°, 55° y 60°Brix), la temperatura (35°, 45° y 55°C) como variable de respuesta, salida o dependiente están los parámetros de la transferencia de masa como: variación de masa total, pérdida de agua y sólidos solubles de la papayita andina. Se realizó un ANOVA, en la Tabla 5 muestra los niveles decodificados de las variables a

utilizar en el diseño experimental para luego representar los experimentos en la Tabla 6 ya codificados (Andrade, *et al.*, 2003).

**Tabla 5.** Niveles codificados de las variables

<b>Niveles Codificados</b>	<b>Concentración de la solución (°Brix)</b>	<b>Temperatura de la solución (°C)</b>
A	45	35
B	55	45
C	65	55

**Tabla 6.** Matriz de diseño experimental codificada ( $3^2$ )

<b>Tratamientos</b>	<b>C(°Brix)</b>	<b>T(°C)</b>
1	-1	-1
2	0	-1
3	+1	-1
4	-1	0
5	0	0
6	+1	0
7	-1	+1
8	0	+1
9	+1	+1

Después de aplicar el diseño factorial se analizó el ANOVA con los factores, realizando varias pruebas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo. También se evaluó la significancia de las interacciones entre los factores. Las pruebas-F en la tabla ANOVA permite identificar los factores significativos. Es importante señalar que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística del 95 %, todos los datos fueron procesados en el software Statgraphics 13.0.

### 3.4. EVOLUCIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE MASA

La evolución de la transferencia de masa durante el proceso, fue monitoreada a través de la variación de masa total ( $\Delta M$ ) de la pérdida de agua ( $\Delta M_W$ ) y ganancia de sólidos totales ( $\Delta M_{SS}$ ), se calculó a través de las siguientes ecuaciones 4, 5 y 6 (Chavarro *et al.*, 2006; Sacchetti *et al.*, 2001).

#### a) Determinación de variación de masa

$$\Delta M = \frac{M_T - M_0}{M_0} \quad (4)$$

Donde:

- $\Delta M$  : Variación de masa total.
- $M_T$  : Peso de muestra a tiempo t.
- $M_0$  : Peso de muestra a tiempo 0.



## b) Pérdida de agua

$$\Delta M_w = \frac{M_t X_{wt} - M_0 X_{w0}}{M_0} \quad (5)$$

Donde:

- $\Delta M_w$  : Pérdida de agua.
- $M_t X_{wt}$  : Peso de muestra a tiempo t. x fracción de masa a tiempo t.
- $M_0 X_{w0}$  : Peso de muestra a tiempo 0. X fracción de masa a tiempo 0.

## c) Ganancia de sólidos solubles

Se determinó mediante un refractómetro, en el cual se colocó una gota del líquido extraído de la solución, haciendo pasar la luz a través de él, cuyos resultados fueron en °Brix (Vega, 2007).

Ganancia de solidos solubles:

$$\Delta M_{ss} = \frac{M_t X_{sst} - M_0 X_{SS0}}{M_0} \quad (6)$$

Donde:

- $\Delta M_{SS}$  : Ganancia de sólidos solubles.
- $M_t X_{sst}$  : Peso de la muestra a tiempo t. x fracción de masa de sólidos solubles a tiempo t.



$M_0 X_{ss0}$  : Peso de la muestra a tiempo 0. X fracción de masa de sólidos solubles a tiempo 0.

### 3.4.1. Modelo fenomenológico

Se empleó el modelo de Biswal-Bozorgmehr modificado descrito en las ecuaciones 1 y 2 ya mencionados anteriormente.

### 3.4.2. Difusividad Efectiva

Para modelar la cinética de secado de los alimentos se hizo uso de la ecuación de la segunda ley de Fick, cuya solución en el caso de una placa plana, considerando que la migración de la humedad es causada por la difusión, sin encogimiento, y bajo coeficientes de difusión y temperatura constantes, es la siguiente:

$$Y - \frac{X_{wt} - X_{we}}{X_{wo} - X_{we}} - t - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n + 1)^2 \pi^2} \exp \left\{ -D_e (2n + 1)^2 \left| \frac{\pi^2 t}{4L^2} \right. \right\} \quad (7)$$

Normalmente, la ecuación señalada anteriormente, se puede simplificar al primer término de la serie, y para ese caso queda como:

$$\ln Y = \ln \frac{8}{\pi^2} - \left[ \frac{D_e \pi^2}{4L^2} \right] \cdot t \quad (8)$$



Dónde:

$Y$ : Relación de humedad (Adim)

$X_{wt}$ : Contenido de humedad en un instante cualquiera (%)

$X_{wo}$ : Contenido de humedad inicial (%)

$X_{we}$ : Contenido de humedad en equilibrio (%)

$D_e$ : Difusividad efectiva (m<sup>2</sup>/s)

$L$ : Mitad del espesor (m)

$t$ : Tiempo (min)

Esta ecuación nos permitió calcular la difusividad efectiva del producto a través de graficar los datos experimentales del proceso de secado en términos del Ln MR contra el tiempo de secado (Dong Chen X, 2008).

### 3.4.3. Ley de Arrhenius

La ecuación de Arrhenius es una expresión matemática que se utilizó para comprobar la dependencia de la constante de velocidad o cinética de una reacción con respecto a la temperatura (Zapata y Castro, 1999). Dicho de otra manera, la ecuación de Arrhenius tuvo como constante de velocidad  $K$  y temperatura  $T$ , entonces:

$$\ln D_e = \ln D_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (9)$$



Donde:

$D_e$ : Difusividad másica efectiva ( $m^2 Js$ )

$D_o$ : Difusividad másica de referencia ( $m^2 Js$ )

$E_a$ : Energia de activación ( $J/mol$ )

R: Constante general de los gases=  $8.314 J/mol K$

T: Temperatura absoluta (K)



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DE LA PAPAYITA ANDINA FRESCA Y LA PAPAYITA ANDINA OSMODESHIDRATADA

En la Tabla 7 se muestra la composición fisicoquímica de la papayita andina fresca y la papayita andina osmodeshidratada, ambos casos en base seca.

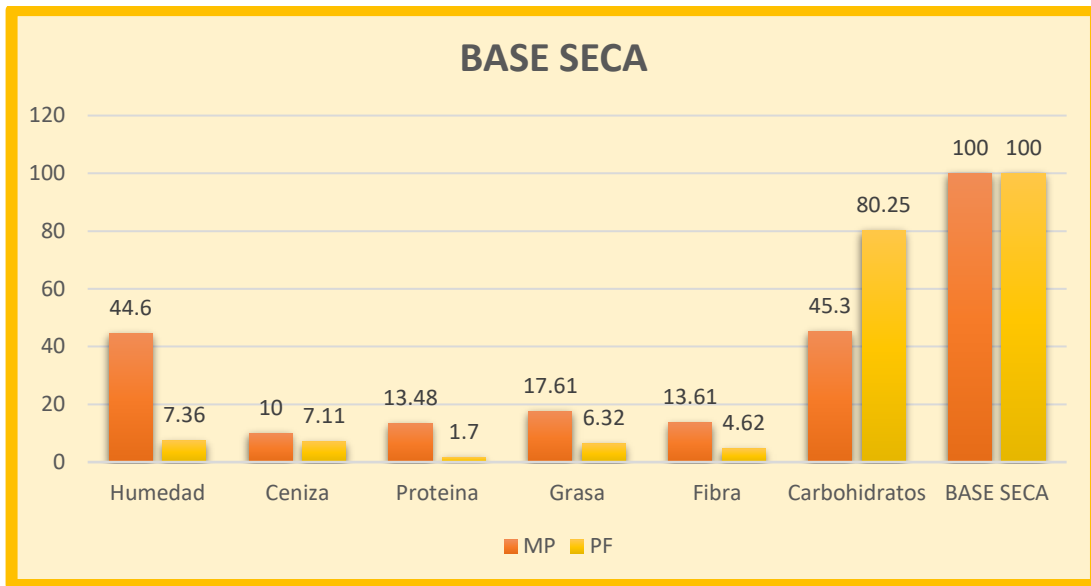
**Tabla 7.** Compuestos fisicoquímicos de la materia prima y el producto final

<b>MUESTRA</b>	<b>Materia</b>	<b>Producto</b>
<b>(%)</b>	<b>Prima</b>	<b>Final</b>
Humedad	44.6	7.36
Ceniza	10.1	7.11
Proteína	13.48	1.7
Grasa	17.61	6.32
Fibra	13.61	4.62
Carbohidratos	45.3	80.25

Se puede observar en la Tabla 7 que la humedad determinada de la papayita andina fresca fue de 44.6 % donde se obtuvo una pérdida de humedad de 7.36%, debido a su menor espesor, ya que hubo una reducción de la distancia neta recorrida por las moléculas de agua para ser extraídas (Ochoa-Martínez *et al.*, 2012). Resultados similares se



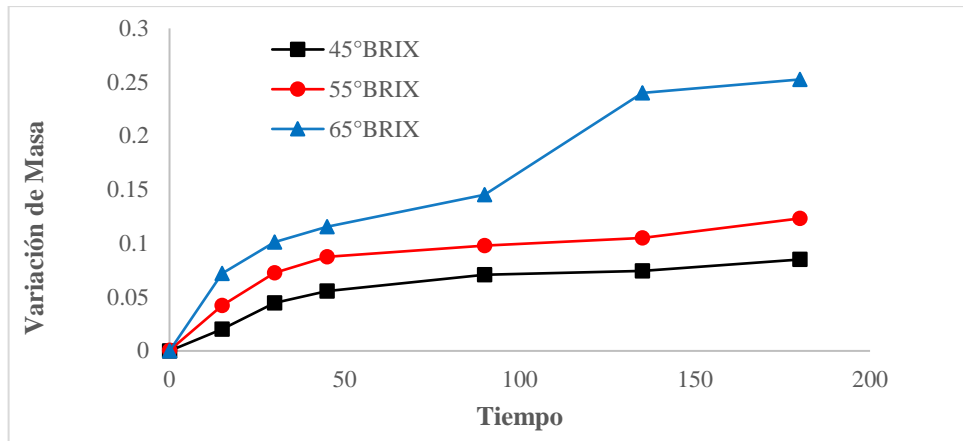
observaron en papaya (Fernando, 2008) y mango (Ochoa-Martínez *et al.*, 2012). También el ANOVA evidenció un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) del espesor y el tiempo de secado. El contenido de ceniza disminuyó después del proceso de 10.0% a 7.11%. En cuanto a proteínas la materia prima presentó 13.48% y la fruta procesada 1.7% donde se observó una disminución, en el caso de grasa de igual forma la materia prima presentó mayor porcentaje a diferencia de la fruta procesada de 17.61% a 6.32%, en cuanto a fibra se observó también mayor porcentaje en la materia prima a diferencia de la fruta procesada de 13.61% a 4.62%. Estos descensos indican la influencia de temperatura y concentración de la solución osmótica, a esto podemos añadir que la pérdida de estos componentes también se produce por la manipulación de las muestras durante cada intervalo de tiempo (Rocca, 2010). También se observó el incremento de carbohidratos de 45.28% en materia prima al valor de fruta procesada de 80.23% de manera significativa. Para una mejor comprensión de los datos obtenidos se puede observar la Figura 13. Con estos resultados demostramos que se cumple el principio del proceso de deshidratación osmótica cual es producir dos efectos principales: flujo de agua desde la papayita hacia la solución de sacarosa y flujo de solutos desde la solución de sacarosa hacia el interior de la papayita, (Próspero, 2002). Cabe recalcar que todos los datos obtenidos fueron similares a los reportados por (Peña, 2019) respecto a la obtención de parámetros para la elaboración de fruta confitada a partir de mango verde.



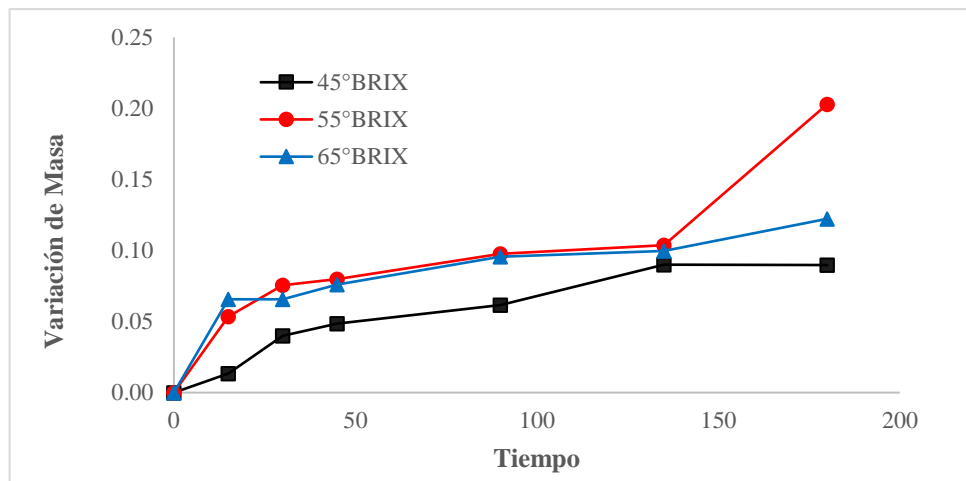
**Figura 13.** Variación de los componentes fisicoquímicos de la papayita andina fresca y la papayita andina osmodeshidratada.

## 4.2. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SACAROSA Y TEMPERATURA EN LA VARIACIÓN DE MASA TOTAL, PÉRDIDA DE AGUA Y SOLIDOS SOLUBLES DE LA PAPAYITA ANDINA.

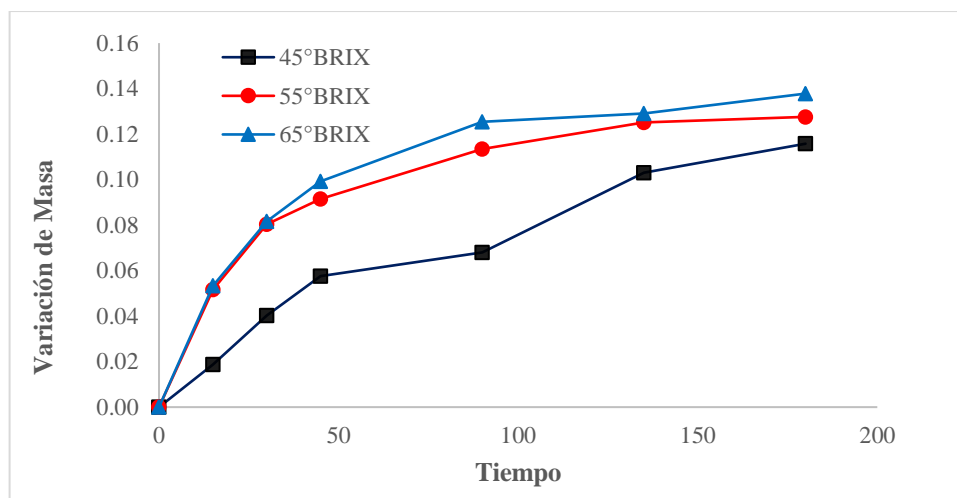
### 4.2.1. Efecto de la concentración de sacarosa y temperatura en la determinación de variación de masa



**Figura 14:** Variación de masa a una temperatura 35°C



**Figura 15:** Variación de masa a una temperatura 45°C



**Figura 16:** Variación de masa a una temperatura 55°C





En la Figura 14, 15 y 16 indica que la variación de masa aumenta a medida que aumenta el tiempo de tratamiento para las tres temperaturas (35°, 45° y 55°C) y las tres concentraciones de sacarosa (65°, 55° y 45°Brix), similares resultados obtuvieron Sablani *et al.*, (2002) en el estudio de deshidratación osmótica de Manzana.

En las Figuras 14 y 16, se aprecia que a medida que aumenta la concentración de la solución, mayor es la variación de la masa siendo la más alta a una concentración de 65° Brix para las temperaturas 35° y 55°C respectivamente. Esto debido a la diferencia de presiones tanto de la solución hipertónica como la del producto. La presión osmótica es proporcional a la concentración de la solución, por lo que un aumento de concentración traerá como consecuencia un incremento en la presión osmótica de esta y por lo tanto en la fuerza impulsora total. A menor concentración de la solución osmótica, la velocidad de deshidratación también será menor. Es por ello que con la solución osmótica de 45%, la variación de masa es menor (Cornejo, 2010). En la figura 15 se observa que el mayor rango de variación de masa lo obtiene a una concentración de 55°Brix y una temperatura de 45°C.

En los primeros minutos se observó un estado de pseudoequilibrio donde existe una tendencia de variación de masa para las distintas concentraciones utilizadas, haciéndose esto notorio para una concentraciones de 65°Brix, probablemente debido a la rápida acción de los mecanismos hidrodinámicos que provoca la ganancia inicial de la solución osmótica por capilaridad o por los cambios de presión impuestos (Giraldo, 2003), sin embargo a partir de 20 minutos las curvas tienden a variar la masa gradualmente.

De los resultados obtenidos en esta investigación afirmamos que para todas las temperaturas de trabajo se observa el marcado efecto de la concentración sobre la variación de masa, debido a la mayor concentración de sacarosa, mayor es la variación



de masa, lo mismo propone Gaspareto *et al.* (2004) y Vega *et al.* (2007) con el estudio de la deshidratación osmótica de la papaya chilena, afirmando, la relación existente entre la concentración de los componentes a un tiempo determinado, asumiendo que la variación de masa es debida únicamente al flujo de agua desde el producto al exterior (solución osmótica) y a la ganancia de solutos por parte de la fruta desde la solución, esto influido por la temperatura y la concentración de la solución. Corroborando con Villamizar (2014), que investigo el efecto del medio osmótico sobre la deshidratación de cubos de papaya (*Carica papaya*) quien afirma que la máxima reducción de peso fue para los tratamientos de mayor concentración de glucosa en los tiempos de 300 minutos. Lo cual coincide con la presente investigación ya que a mayor concentración se obtuvo mayor variación de masa, y por Julca *et al.* (2018), quien realizó un estudio sobre, deshidratación osmótica de Mamey concluyendo que los valores más altos de deshidratación se presentan en las soluciones de 60°Brix. y 65°Brix.

En la Tabla 8, el análisis de varianza muestra la significancia de cada uno de los factores. Puesto que a una temperatura, concentración y tiempo el valor P es menor que 0.05 este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la ganancia de masa con un 95% de nivel de confianza, es decir los niveles de temperatura y aumento de concentración y tiempo influyen en el aumento de masa del producto.

**Tabla 8:** Análisis de varianza para variación de masa

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón F</b>	<b>Valor P</b>
<b>A</b>	0.0087572	2	0.0043786	3.22	0.0432
<b>B</b>	0.0821733	2	0.0410867	30.22	0.0000
<b>C</b>	0.166561	5	0.0333122	24.50	0.0000
<b>AB</b>	0.0379477	4	0.00948693	6.98	0.0000
<b>AC</b>	0.0067611	10	0.00067611	0.50	0.8892
<b>BC</b>	0.00718073	10	0.000718073	0.53	0.8676
<b>RESIDUOS</b>	0.17401	128	0.00135945		
<b>TOTAL</b>	0.483391	161			

**A:** Temperatura

**B:** Concentración

**C:** Tiempos

Como era de esperar existe una alta interacción significativa entre temperatura x concentración puesto que el p-valor es menor a 0.05. Sin embargo, no hubo una interacción significativa entre temperatura x tiempo ( $P < 0.8892$ ) y concentración x tiempo ( $P < 0.8676$ ) ya que los p-valores son mayores de 0.05. Es decir que una mayor concentración de sacarosa y mayor temperatura, tiene mayor influencia en la variación de masa de la papayita andina.

#### 4.2.2. Efecto de la concentración de sacarosa y temperatura en la determinación de la pérdida de agua

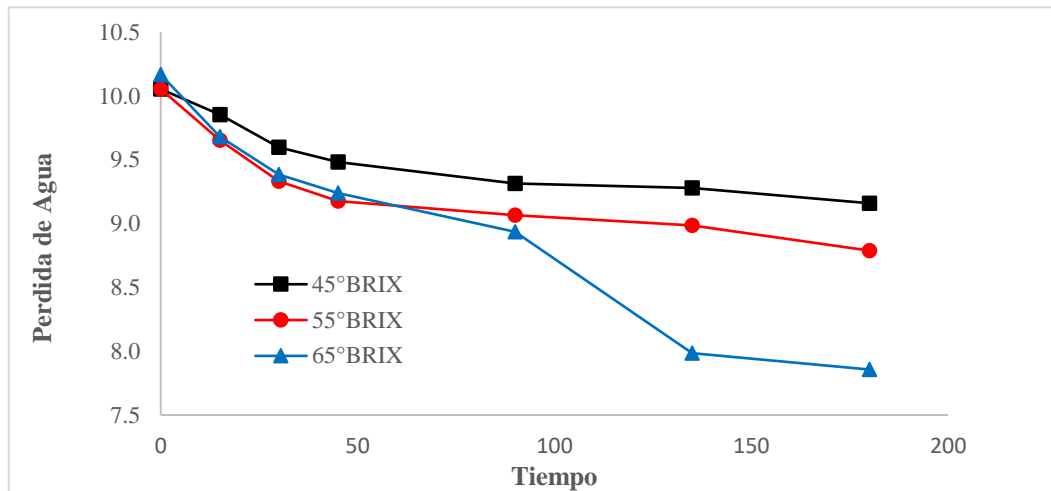


Figura 17. Pérdida de agua a una temperatura de 35°C

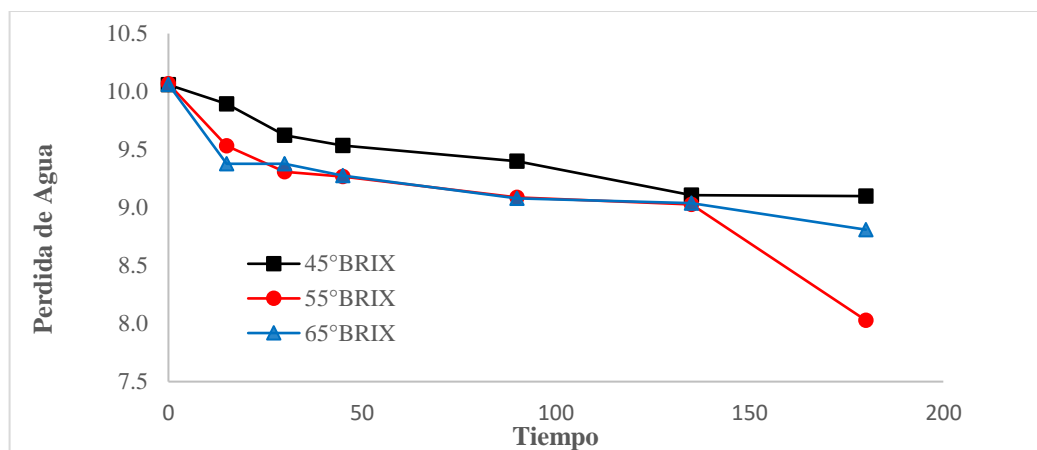
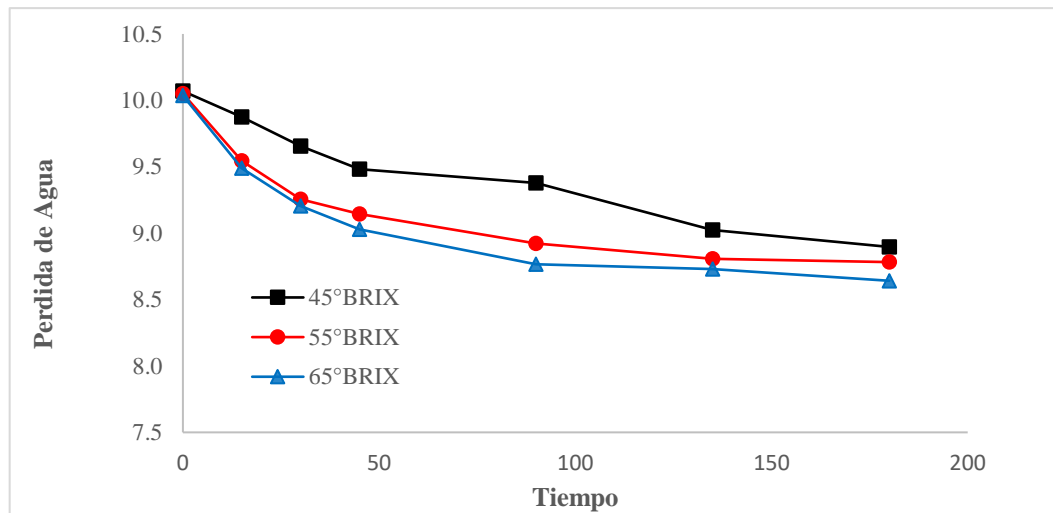


Figura 18: Pérdida de agua a una temperatura de 45°C



**Figura 19.** Pérdida de agua a una temperatura de 55°C

En las Figuras 17, 18 y 19 se aprecia que pérdida de agua aumenta a medida que aumenta el tiempo de tratamiento para las tres temperaturas (35°, 45° y 55°C) y las tres concentraciones (45°, 55° y 65° Brix), observando la mayor pérdida de agua a 65 °Brix con un 30% y la menor pérdida de agua con un 8.9% a 45°Brix a una temperatura de 35°C en todo el trabajo, conforme se observa en la Figura 17.

Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Julca *et al.* (2018) sobre deshidratación osmótica del Mamey donde la mayor pérdida de agua lo obtuvo el tratamiento 65°Brix con un valor de 43.69% a una temperatura ambiente, lo cual quiere decir que no sobrepasa los 35°C, donde se observa que a mayor concentración la pérdida de agua es mayor.

Los resultados que se obtuvieron en la presente investigación coinciden también con lo obtenido por Vega *et al.* (2007) donde se observó mayor pérdida de agua a una concentración de 60% en las diferentes temperaturas que se trabajó.

También se puede observar en las Figuras 17 y 19, que existe una mayor pérdida de agua a una concentración de 65°Brix y una menor pérdida de agua a una concentración de 45°Brix con temperaturas de 35° y 55° C respectivamente con un intervalo de tiempo



de 180 minutos, con estos resultados obtenidos se confirma que al igual que en la variación de masa, la temperatura y la concentración tienen un efecto significativo en la pérdida de agua, y que esta, está directamente asociada al tiempo de inserción de la fruta dentro de la solución de sacarosa. Lo cual explica la teoría de Cornejo & Núñez (2000) y de Baroni & Hubinger (2000), quienes mencionan que el aumento de la concentración de la solución incrementa la pérdida de agua, debido a que la actividad de agua de la solución osmótica decrece.

En la Figura 18 se observó la mayor pérdida de agua con una concentración de 55°Brix a 45°C. De la teoría de Della (2010), quien indica que uno de los efectos que tiene la temperatura sobre deshidratación osmótica, es que a mayor sea esta, favorecerá la agitación molecular y por consiguiente mejorara la pérdida de agua, sin embargo, a temperaturas por encima de los 60°C provocan cambios perjudiciales contra la integridad del tejido alimentario, además de causar pardeamiento interno y ocasionar pérdida de compuestos termolábiles.

Los resultados de la presente investigación ayudan a discernir mejor estas teorías, ya que la mayor pérdida de agua se presentó a la menor de las temperaturas y a la mayor concentración, de donde se puede deducir que se debe a la interacción de ambas, ya que si bien la teoría dice que a mayor temperatura la difusividad de agua debería ser mayor, observamos que al interactuar una temperatura alta con una concentración alta (55°C y 65°Brix), se asume que produjo la formación de una capa de soluto en la superficie del producto, lo cual no permitió mayor pérdida de agua.

El tiempo es un factor de enorme relevancia, debido a que los cambios más importantes del fenómeno de deshidratación ocurren durante las dos primeras horas del proceso, la mayor pérdida de agua durante los primeros 30 minutos y la condición de equilibrio, se alcanza a tiempos prolongados (Lazarides, 1995). En la presente



investigación sé observo que, a mayor tiempo, tanto la ganancia de masa como la pérdida de agua, van incrementando.

En la Tabla 9, el análisis de varianza muestra la significancia de dos de los factores. Puesto que a una concentración y tiempo el valor P es menor que 0.05 este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la pérdida de gua con un 95% de nivel de confianza, es decir que el aumento de concentración y tiempo influyen en la pérdida de agua del producto. Mientras que para el factor temperatura no se observó una significancia estadística ( $P < 0.4337$ ) siendo mayor de 0.05.

**Tabla 9:** Análisis de varianza para la pérdida de agua

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón F</b>	<b>Valor P</b>
<b>A</b>	0.415548	2	0.207774	0.75	0.4737
<b>B</b>	9.62688	2	4.81344	17.41	0.0000
<b>C</b>	25.7359	5	5.14717	18.62	0.0000
<b>AB</b>	3.58118	4	0.895296	3.24	0.0144
<b>AC</b>	1.49848	10	0.149848	0.54	0.8574
<b>BC</b>	1.75026	10	0.175026	0.63	0.7832
<b>RESIDUOS</b>	35.3857	128	0.276451		
<b>TOTAL</b>	77.994	161			

**A:** Temperatura

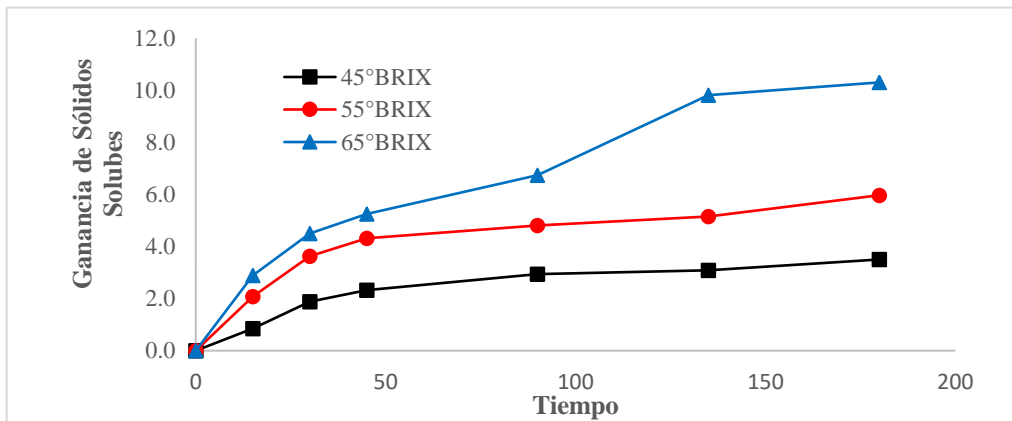
**B:** Concentración

**C:** Tiempos

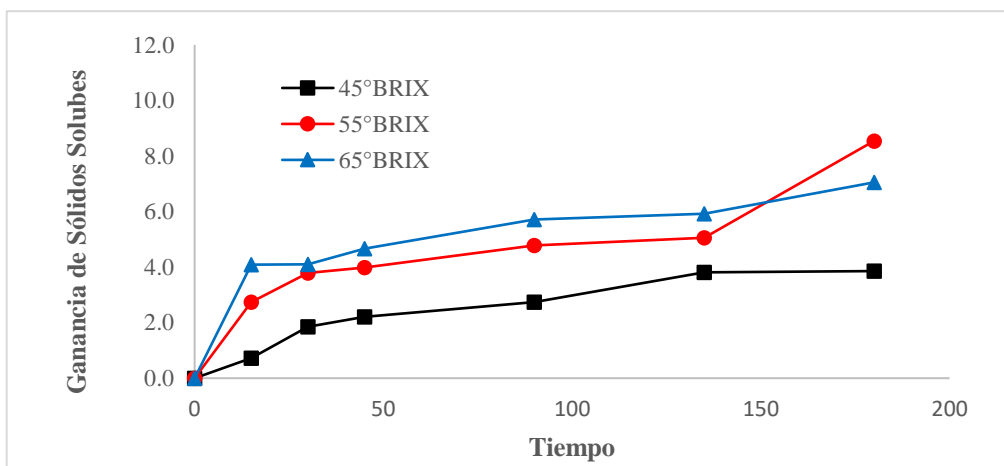
Como era de esperar existe una interacción estadística significativa entre temperatura x concentración puesto que el p-valor es menor a 0.05. Sin embargo, no hubo una interacción significativa entre temperatura x tiempo ( $P < 0.8574$ ) y concentración x

tiempo ( $P < 0.7832$ ) ya que los p-valores son mayores de 0.05. Es decir que una mayor concentración de sacarosa y mayor temperatura, tiene mayor influencia en la pérdida de agua de la papayita andina con un 95.0% de nivel de confianza.

#### 4.2.3. Efecto de la concentración de sacarosa y temperatura en la ganancia de sólidos solubles

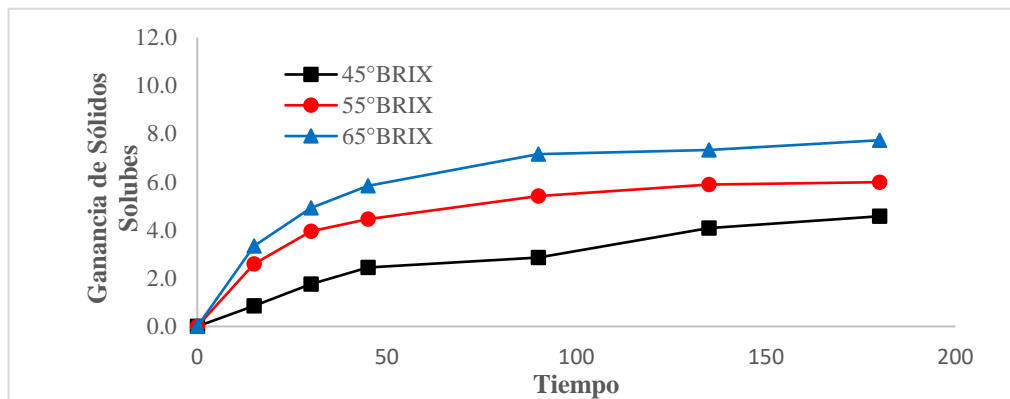


**Figura 20.** Ganancia de sólidos solubles a una temperatura de 35°C



**Figura 21.** Ganancia de sólidos solubles a una temperatura de 45°C





**Figura 22.** Ganancia de sólidos solubles a una temperatura de 55°C

En las Figuras 20, 21 y 22 se aprecia que la ganancia de sólidos solubles aumenta a medida que aumenta el tiempo de tratamiento para las tres temperaturas (35°, 45° y 55°C) y las tres concentraciones (45°, 55° y 65° Brix), se observa que la mayor ganancia de sólidos solubles es a 65° Brix con un 15.8% y la menor ganancia de sólidos solubles con un 7.8% a 45°Brix a una temperatura de 35°C en todo el trabajo, conforme se observa en la Figura 20. Resultados similares se muestran en el estudio por Villamizar *et al.* (2014) quien estudio el efecto del medio osmótico sobre la deshidratación de papaya donde los valores más altos de ganancia de sólidos se dan a mayor concentración de la solución, obteniendo 19.45% en el tratamiento de concentración de 65° Brix, donde afirma que un incremento en la concentración de sacarosa aumenta significativamente el ingreso de sólidos en los productos.

En las Figuras 20 y 22, existe una mayor ganancia de sólidos solubles a una concentración de 65°Brix y una menor ganancia de sólidos solubles a una concentración de 45°Brix con una temperatura de 35° y 55° C respectivamente con un intervalo de tiempo de 180 minutos. Estos resultados coinciden con los estudios realizados por Julca *et al.* (2018) de deshidratación osmótica de mamey, donde observó que las mayores



concentraciones de sacarosa (60 y 65°Brix) en la solución presentan mayor ganancia de sólidos las primeras 2 a 3 horas. Luego de este tiempo los valores disminuyen en concordancia con una disminución en la entrada de sólidos, esto se debe a la formación de una capa de sacarosa superficial sobre el producto que impide el ingreso de sólidos dentro del mismo como se dijo anteriormente y por ende aumentará la salida de agua. Se observó durante las cuatro horas de osmodeshidratación, que cuando la muestra ganaba pocos sólidos era porque perdía más agua y por lo contrario cuando ganaba mayor cantidad de sólidos perdía poca agua, haciendo comparación con el presente trabajo de investigación, estos resultados nos permiten entender que si bien es cierto que la papayita andina hasta los 180min. gana sólidos con la solución osmótica de mayor concentración, quizá si se hubiese continuado con más intervalos de tiempo la reacción hubiese sido similar al estudio del mamey.

En la Figura 21 se observó la mayor ganancia de sólidos solubles con una concentración de 55°Brix a 45°C. Lucano *et al.* (2019) en su investigación sobre la deshidratación osmótica de papayita de monte, obtuvo mayor ganancia de sólidos, el cual fue osmodeshidratado a 18 horas con una temperatura de 30°C y una concentración de 55°Brix., Lo cual corrobora nuestros resultados ya que a mayor tiempo y concentración la ganancia de sólidos es mayor.

Según Genina, (2002), se ha identificado dos etapas en el proceso de deshidratación osmótica. En la primera, denominada deshidratación, la pérdida de agua es mayor que la ganancia de sólidos y en una segunda etapa, llamada impregnación, se obtiene una ganancia de sólidos mayor a la pérdida de agua. En esta segunda etapa, la masa total del sólido aumenta con el tiempo.



En relación a los sólidos solubles en los primeros minutos se observó un estado de pseudoequilibrio donde hay una tendencia a ganar sólidos solubles para las distintas concentraciones utilizadas, siendo esta ganancia relevante para una concentración de 65%, probablemente debido a la diferencia de presiones osmóticas.

En general, para todas las temperaturas de trabajo se observa el marcado efecto de la concentración sobre la ganancia de sólidos solubles, debido a que mayor concentración de sacarosa, mayor es la ganancia de sólidos solubles.

En la Tabla 10, el análisis de varianza muestra la significancia de dos de los factores. Puesto que a una concentración y tiempo el valor P es menor que 0.05 este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la ganancia de sólidos solubles con un 95% de nivel de confianza, es decir que el aumento de concentración y tiempo influyen en la ganancia de sólidos solubles del producto. Mientras que para el factor temperatura no se observó una significancia estadística ( $P < 0.3258$ ) siendo mayor de 0.05.

**Tabla 10:** Análisis de varianza para la ganancia de sólidos solubles.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón F</b>	<b>Valor P</b>
<b>A</b>	2.8671	2	1.43355	1.13	0.3258
<b>B</b>	314.672	2	157.336	124.19	0.0000
<b>C</b>	308.176	5	61.6352	48.65	0.0000
<b>AB</b>	16.568	4	4.142	3.27	0.0137
<b>AC</b>	10.2552	10	1.02552	0.81	0.6199
<b>BC</b>	16.1932	10	1.61932	1.28	0.2495
<b>RESIDUOS</b>	162.168	128	1.26694		
<b>TOTAL</b>	830.9	161			

**A:** Temperatura

**B:** Concentración

**C:** Tiempos

Como era de esperar existe una interacción estadística significativa entre temperatura x concentración puesto que el p-valor es menor a 0.05. Sin embargo, no hubo una interacción significativa entre temperatura x tiempo ( $P < 0.6199$ ) y concentración x tiempo ( $P < 0.2495$ ) ya que los p-valores son mayores de 0.05. Es decir que una mayor concentración de sacarosa y mayor temperatura, tiene mayor influencia en la pérdida de agua de la papayita andina con un 95.0% de nivel de confianza.

#### **4.3. EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN (45°, 55°, 65° BRIX DE SACAROSA) Y TEMPERATURA (35, 45 Y 55°C) EN LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DE TRANSFERENCIA DE MASA DE LA PAPAYA ANDINA.**

##### **4.3.1. Cálculo de los parámetros cinéticos $k_w$ y $k_{ss}$**



La Tabla 11, muestra los valores de los parámetros cinéticos obtenidos en la transferencia de masa de la papayita andina para cada uno de nuestros tratamientos.

**Tabla 11:** Valores de los parámetros cinéticos  $K_w$  y  $K_{SS}$  para cada tratamiento.

Temperatura °C	Concentración °Brix	Tiempo (minutos)	Número de Experimento	$K_w$	$K_{SS}$
	45	0-180	1	-13.836	15.11
35	55	0-180	2	-14.039	12.33
	65	0-180	3	-16.118	15.42
	45	0-180	4	-16.811	17.71
45	55	0-180	5	-18.421	15.42
	65	0-180	6	-18.669	12.02
	45	0-180	7	-21.094	10.64
55	55	0-180	8	-23.249	15.12
	65	0-180	9	-25.434	16.75

$K_w$ : Cinética de la pérdida de agua

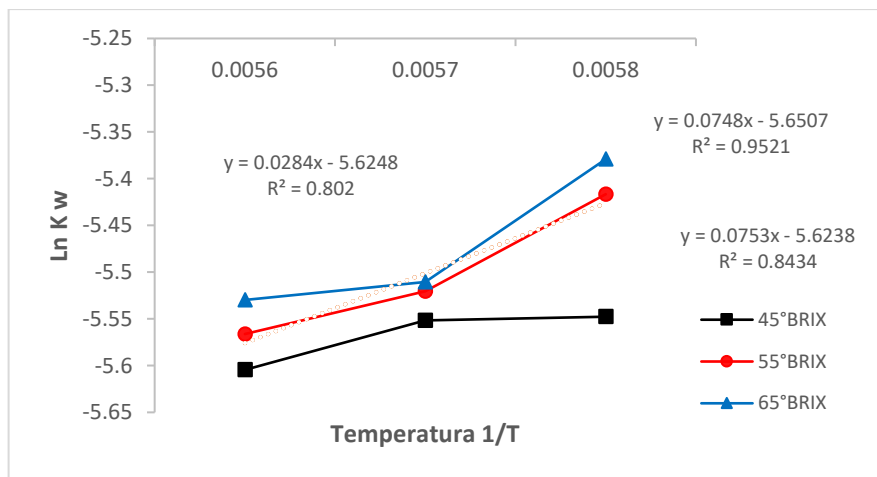
$K_{SS}$ : Ganancia de sólidos solubles

De acuerdo a los valores obtenidos en la Tabla 11, se observa que la concentración de la solución osmótica es más influyente que la temperatura en la cinética de la pérdida de agua ( $K_w$ ) y la ganancia de sólidos solubles ( $K_{SS}$ ). Donde se observa que el aumento

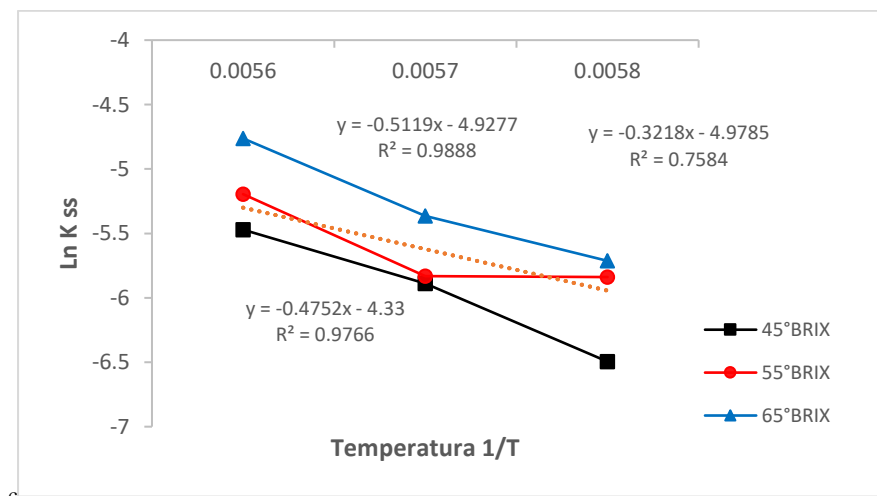
de la concentración para todas las temperaturas (35°, 45°, 55°C), el valor absoluto promedio de estas concentraciones va en aumento.

Se evaluó la influencia de la temperatura sobre las constantes cinéticas  $K_w$  y  $K_{ss}$  mediante la ecuación de Arrhenius conforme se observa en la figura 20 (a y b), se observa una cierta dependencia de la temperatura sobre  $K_w$  (pérdida de agua) para una concentración de 45° y 65°Brix dado que su valor  $r^2 > 0.80$ , y una dependencia mayor para para una concentración de 55°Brix.

a)



b)



**Figura 23:** Gráfico de Arrhenius para las constantes cinéticas a)  $K_w$  y b)  $K_{ss}$



En el caso de los sólidos, en la Figura 23b muestra que no existe dependencia de la temperatura sobre la constante cinética  $K_{ss}$  para una concentración de 55°Brix ya que sus valores  $r^2$  es inferior a 0.80. Sin embargo, para una concentración de 45° y 65°Brix el coeficiente de correlación  $r^2$  es superior a 0.90 lo cual indica que existe una cierta dependencia de esta variable física. De acuerdo a los valores obtenidos en la Tabla 11, se observa que la concentración de la solución osmótica es más influyente que la temperatura en la transferencia de masa. Ya que, con el aumento de la concentración para todas las temperaturas de trabajo, el valor absoluto promedio va en aumento.

Reche (2007), señala que la deshidratación osmótica de alimentos consiste en la aplicación de este fenómeno ya que, como se mencionó antes, los alimentos contienen gran cantidad de agua y de sustancias disueltas en el interior de las células que conforman los distintos tejidos. La membrana celular actúa como membrana semipermeable, el contenido intracelular como solución hipotónica y como solución hipertónica se utiliza una solución con altas concentraciones de soluto en función del producto a tratar, generalmente se utiliza sacarosa para frutas. En dicha solución concentrada se sumergen los alimentos ya sean enteros o trozados. Si la membrana celular fuera perfectamente semipermeable, los solutos no podrían difundir hacia el interior de las células. No obstante, los alimentos no poseen este tipo de membrana, por lo cual puede existir difusión del soluto al alimento y de sus componentes hacia la solución.

En consecuencia, se producen dos fenómenos de transferencia de masa:

1. Difusión de agua desde el alimento a la solución, cuya fuerza impulsora es la diferencia de presión osmótica. Es posible que ocurra arrastre de algunos solutos disueltos en el interior del producto, sin embargo, este flujo de componentes suele ser despreciable respecto al de salida de agua y al de entrada de soluto al alimento.



2. Difusión de solutos desde la solución hacia el alimento, denominado impregnación, donde la fuerza impulsora es la diferencia de concentraciones.

Estos resultados coinciden con estudios realizados por Vega *et al.* (2007), de acuerdo a los valores obtenidos, se observó que la concentración de la solución osmótica es más influyente que la temperatura en la cinética de pérdida de agua ( $K_w$ ) y de ganancia de sólidos solubles ( $K_{ss}$ ). Al igual que en la investigación sobre el efecto de la concentración en la difusión efectiva de sacarosa en papaya realizada por Yanqui *et al.* (2010), Donde se dedujo que la mayor influencia sobre la difusividad efectiva se da por la concentración y la temperatura, esto se debe a que al inicio del proceso existe un mayor diferencial de concentraciones entre el producto y la solución hipertónica y a medida que transcurre el tiempo esta diferencial se reduce y disminuye la velocidad de penetración de sacarosa (azúcar).

#### 4.3.2. Cálculo de la difusividad efectiva

La Tabla 12, muestra los valores de difusividad efectiva agua ( $D_{we}$ ) y de sólidos solubles ( $D_{sse}$ ) obtenidos para las diferentes temperaturas y concentraciones de trabajo. Ambas difusividades, presentan una clara dependencia positiva con la concentración de la solución osmótica, esto significa que los valores de  $D_{we}$  y  $D_{sse}$  aumentan significativamente a medida que aumenta la concentración.



**Tabla 12.** Valores de difusividad efectiva agua ( $D_{we}$ ) y de sólidos solubles ( $D_{sse}$ )

Experimento	$D_{we} \cdot 10^{-10} (m^2   s^{-1})$	$D_{sse} \cdot 10^{-10} (m^2   s^{-1})$
1	$12.52 \pm 0.23$	$8.28 \pm 1.23$
2	$23.36 \pm 4.42$	$10.23 \pm 1.54$
3	$32.65 \pm 5.21$	$20.58 \pm 2.68$
4	$10.52 \pm 0.43$	$4.21 \pm 0.26$
5	$19.58 \pm 4.35$	$10.81 \pm 1.67$
6	$27.46 \pm 2.45$	$16.70 \pm 1.76$
7	$11.67 \pm 0.44$	$7.98 \pm 0.45$
8	$26.87 \pm 0.29$	$14.56 \pm 0.73$
9	$34.48 \pm 2.64$	$20.83 \pm 1.15$

Con respecto a los valores de difusividad efectiva de sólidos solubles ( $D_{sse}$ ) podemos observar que la concentración de la solución también tiene mayor efecto comparado a la temperatura de trabajo, ya que al aumentar la concentración de sacarosa mayor es la difusividad de sólidos solubles, lo mismo se obtuvo para deshidratación osmótica de piña donde la difusividad de sólidos solubles incrementa con un aumento en la concentración de la solución osmótica debido a los cambios en las propiedades físicas de los alimentos, tales como, porosidad y permeabilización de las células (Rastogi & Raghavarao, 2004).



## V. CONCLUSIONES

- La variación de la composición fisicoquímica de la papayita andina fresca con la papayita andina osmodeshidratada, mostró que existe variación significativa en humedad y carbohidratos, la humedad disminuye y los carbohidratos incrementan en viceversa. Respecto a cenizas, proteína, grasas y fibra el porcentaje disminuye.
- La concentración de sacarosa y temperatura afecta en la deshidratación osmótica debido a que hubo un descenso en los °Brix de la solución y un incremento en la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos en la papayita andina, siendo la más influyente la concentración de 65°Brix con una temperatura de 35°C. Los valores de la transferencia de masa están directamente asociados a la variación de masa, pérdida de agua y ganancia de sólidos, ya que aumentan considerablemente con el incremento de la temperatura y la concentración de sacarosa, esto al ser mayor favorece la transferencia obteniendo el mejor tratamiento a 35°C y 65°Brix.
- En los parámetros cinéticos  $K_w$  y  $K_{SS}$  se observa que la concentración de la solución osmótica afecta más que la temperatura en la transferencia de masa. Ya que, con el aumento de la concentración para todas las temperaturas de trabajo, el valor absoluto promedio va en aumento. El efecto de la temperatura sobre las constantes cinéticas  $K_w$  y  $K_{SS}$  mediante la ecuación de Arrhenius existe cierta dependencia de la temperatura sobre  $K_w$  (pérdida de agua) para una concentración de 45° y 65°Brix y una dependencia mayor para para una concentración de 55°Brix. Para el caso de los sólidos, muestra que no existe dependencia de la temperatura sobre la constante cinética  $K_{SS}$  para una concentración de 55°Brix ya que sus valores  $r^2$  es inferior a 0.80. Sin embargo, para una concentración de 45° y 65°BRIX el coeficiente de correlación  $r^2$  es superior a 0.90 lo cual indica que



existe una dependencia de esta variable física. En cuanto a los valores de difusividad efectiva de agua ( $D_{we}$ ) y de sólidos solubles ( $D_{sse}$ ) presentan una clara dependencia con la concentración de la solución osmótica, estos valores de  $D_{we}$  y  $D_{sse}$  aumentan significativamente a medida que aumenta la concentración.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la deshidratación osmótica de papayita andina con valores para los parámetros de concentración de 65°BRIX y una temperatura de 35°C, sin embargo, se pueden realizar estudios con otros grados de temperatura considerando que los valores óptimos oscilan entre 20 – 40°C y concentraciones altas, considerando tiempos más prolongados y diferentes intervalos, para así observar la variabilidad de resultados más óptimos.
- Por su contenido de proteína y de fibra de la papayita andina, se recomienda realizar investigaciones de osmodeshidratación utilizando otras variedades de papaya y otros tipos de agentes osmóticos, con la finalidad de conocer las diferencias. Así mismo se recomienda también realizar estudios sobre la calidad de la proteína.
- Se recomienda realizar un análisis sensorial del producto final, y un estudio de retención de nutrientes durante el proceso de secado para evaluar la pérdida de micronutrientes esenciales de la papayita andina.



## VII. REFERENCIAS

- Advaita, N., Lestari, R. G., Aidid, K. U., & Sasongko, H. (2018). In vitro evaluation of sun protection factor of *Vasconcellea pubescens* fruit extract. *Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia*.
- Agroinformación, (2008). Recuperado el 1 de abril del 2017, de Agroinformación.
- Alvarado, J. (1996). "Principios de Ingeniería Aplicados a los Alimentos". Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Editorial Radio Comunicaciones. Quito-Ecuador, págs. 424-445.
- Amami, E., Khezami, W., Mezrigui, S., Badwaik, L. S., Bejar, A. K., Perez, C. T., & Kechaou, N. (2017). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 36, 286-300. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.007>
- Andrade, S., Metri, J., Neto, B., Guerra, N. (2003) Desidratação osmótica do jenipapo (*Genipa americana* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 276-281.
- A.O.A.C. "Official Method of Analysis", Association of Official Analytical Chemists (nº 934.06). Arlington, USA, 1996.
- Apaza, C. A. (2007). Deshidratación osmótica de Alimentos. Boletín de Divulgación Tecnológica Agroindustrial.
- Araujo, (2013). Determinación e identificación de los tejidos vegetales presentes en *Carica pubescens*. *Universidad Nacional San Agustín Arequipa - Perú*.
- Arista L., y Cruz, O. (2014). Efecto de la velocidad de agitación magnética sobre la deshidratación osmótica de cocona (*solanum sessilliflorum*) en soluciones de



- sacarosa y miel de abeja. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Amazonas – Perú.  
[http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/541/FIA\\_138.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/541/FIA_138.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Balcázar, L. (2014). Biodiversidad papayo de altura y sus potencialidades. Taller, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Recuperado el 15 de febrero de 2017, de <http://www.iiap.org.pe/Upload/Conferencia/CONF257.pdf>
- Barat, J., Grau, A., & Fito, P. (1998). Deshidratación Osmótica de Alimentos. *Universidad Politécnica de Valencia, España*, 12-35.
- Barbosa-Canovas, G, (2000). Deshidratación de alimentos. Acribia, España.
- Baroni A. & Hubinger M. (2000) Osmotic dehydration of tomatoes in binary and ternary Solutions, *Dehydration Processes*, 1274-1278. Recuperado de: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2393/Vilca\\_Yucra\\_Liliana.pdf?sequence=1](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2393/Vilca_Yucra_Liliana.pdf?sequence=1)
- Bosmediano, E., & Coronel, J. (2014). Efectos del procesamiento de productos derivados del chamburo en la actividad antioxidante. En Tesis de grado (pág. 73 pp.). Ecuador: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.
- BrennamJ.G.; ButtersJ.R.; CoweiN.D.; Lilley A E. V., (2008), *Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos*, Editorial Acribia, S.A., 3era Edición, Zaragoza, España, Pág.377- 388.
- Campos, A., & Flores, D. (2012). Deshidratación osmótica de placas de chayote (*sechium edule*) utilizando soluciones hipertónicas de cloruro de sodio y sacarosa. Universidad Veracruzana, México.[http://docplayer.es/25136230- Universidad-veracruzana.html](http://docplayer.es/25136230-Universidad-veracruzana.html)



- Cardoza, J., & Custodio, D. (2013). Modelamiento matemático para predecir el comportamiento de la deshidratación osmótica de la piña MD2. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Carvalho, F., & Renner, S. (2012). A dated phylogeny of the papaya family (Caricaceae) reveals the crop's closest relatives and the family's biogeographic history. *Molecular phylogenetics and evolution*.
- Castillo, M., y Cornejo, F. (2007). Estudio del efecto del proceso de deshidratación osmótica en la obtención de trozos secos de carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Revista tecnológica Espol*, 20(1), 183-188.
- Chavarro, Castrillón, L.; Ochoa-Martínez, C.; Ayaña-Oponte, (2006). Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya (*Carica papaya* L., var. Maradol). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**.
- Chen, J. (2004). Manual de caña de azucar. *Mexico - Noriega limusa*.
- Chiriboga, G. (2000). Caracterización del Cultivo de Papaya como Producto con Potencial para la Exportación, con Énfasis en el Diagnóstico Molecular y Serológico de Enfermedades. (U. E. Zamorano, Ed.) Honduras: Tesis presentada para optar el Título de Ingeniero.
- Colina, M., (2010), Deshidratación de Alimentos, Editorial Trillas, Mexico. Pág 183-193.
- Coloma, E. (2008). Estudio del efecto de la Deshidratación Osmótica en la Vida Útil de los productos secos. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Ecuador.



<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/31892/D-65661.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

Concha, J., Guevara, A., & Araujo, M. (2002). Obtención de polvo de papaya de monte (carica Pubescens) por atomización. Ingeniería UC, 9(1).

Cornejo, G. (2019). Prospección de Nematodos en cultivo de Papaya Andina (Carica pubescens L.) Sandia – Puno. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano.

Cornejo Z. F. y Núñez D. T. (2000). *Modelación matemática de la cinética de deshidratación osmótica de la carica papaya*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral Universidad de Mecánica y Ciencia de la Producción, Guayaquil, Ecuador. pp 05. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/2573/5048.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cornejo, V. (2010). Deshidratación de rebanadas de aguacate variedad Hass por el método OSMO-VAC (osmótico-vacío) y evaluación de la calidad del producto. (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México. Recuperado de <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/7028/1/DESHIDRATACION.pdf>

Crank, J. (1964). The mathematics of diffusion. Oxford Science Press New York EUA.

Della, P. (2010). Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente (Tesis de maestría). Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires – Argentina. Recuperado de <http://posgrado.frba.utn.edu.ar/investigacion/tesis/MTA-2010-Rocca.pdf>





- Dong Chen, X.; (2008); *Drying Technologies in Food processing*, pags. 55-86.  
FirstEdition .
- DRAP. (2018). *Síntesis Agraria. Dirección de Estadística Agraria e informática de la Dirección Regional Agraria.*
- Duque, B., & Morales, A. (2005). *El aroma frutal de Colombia*. Univ. Nacional de Colombia. 116 pp.
- Ery Rahayu, S., Sulisetijono, & Lestari, U. (2019). *Phytochemical Screening, Antioxidant Activity, and Total Phenol Profile of Carica pubescens Leaves from Cangar, Batu-East Java, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 276, 012022. doi:10.1088/1755-1315/276/1/012022
- Fernando WJN, Ahmad AL, Abd Shukor SR, Lok YH. (2008). *A model for constant temperature drying rates of case hardened slices of papaya and garlic*; 88 (2): 229-238.
- Gaspareto, O.; Olivera, E.; Magalhaes. (2004). *Influencia del tratamiento osmótico en el secado de la banana "Nanica" (Musa cavendishii L.) en secador de lecho fijo. Información Tecnológica*, v.15, n. 6, p. 9-15.
- Garcell, L.R.; Díaz, A. & Suríz, G. 1988: *Transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa*. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana.
- García, A. (2013). *Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (Ananas Comosus, variedad Cayena lisa)*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22.
- García, B. (1975). *Medicinal de Colombia. Imprenta Nacional: Bogoá*, 2, 271.
- Geankoplis, C (1998), *Procesos de transferencia y operaciones unitarias* Editorial Continental S.A México.



- Genina, S. (2002). Deshidratación osmótica como: alternativa para la conservación de frutas tropicales. Recuperado el 02 de enero del 2018, de Avance y perspectiva: <http://oswaldoparra.files.wordpress.com/2008/10/12-deshidratacion2.pdf>.
- Giraldo, G., Talens P., Fito P., Chirald A. (2003) Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*, v. 58, n. 1, p. 33-43.
- Grabowski, S., Marcotte, M., Quan, D., Taherian, A.R., Zareifard, M.R., Poirier, M., Kudra, T. (2007). Kinetics and quality aspects of Canadian blueberries and cranberries dried by osmo-connective method. *Drying Technology*, pp. 367-374.
- Herrero A. M. y M. D Romero A. (2006), Innovaciones en el procesado de alimentos: tecnologías no térmicas. *Rev med univ Navarra*.
- Hidalgo, A.; Vargas, G. (2009). Análisis del efecto del tipo de agente osmótico en la transferencia de masa durante el secado y en la vida útil del babaco deshidratado, Tesis para optar título de ingeniería de alimentos. Escuela superior Politécnica del Litoral Universidad de Mecánica y Ciencia de la Producción, Guayaquil Ecuador.
- Horton, D. (1998). Underground caops. Long - Terin trends in production of roots and tubers. Winrock International morrilton, AK. A. U.
- Iquira, E. (1996). Inducción de Callos de *Carica pubescens linne* (papaya arequipeña) Micro propagación de *Solanum tuberosum linne* (papa) y *Ullucus tuberosus linne* (ulluku) sobre el Gel del Almidón. (n. N. Agustín., Ed.) *Universidad Nacional de San Agustín*.
- Isdstein, H., Keller, T., & Scherier, P. (1985). *Agric. Food Chem.* 33, 663-666.



- Jobin-Decor, M., Graham, G., & Henry, R. (1997). RAPD and isozyme analysis of genetic relationships between *Carica papaya* and wild relatives. 44: 471. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1008644901727>
- Julca, L., & Vasuquez, F. (2018). Deshidratación Osmótica del Mamey (*Mammea americana L.*) y su efecto en las características físico-químicas y organolépticas (tesis pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque- Perú.
- Knorr, D., Ade-Omowaye, B., & Heinz, V. (2002). Nutritional improvement of plant foods by non-thermal processing. *Proceedings of the Nutrition Society*, 61(2), 311-318. doi:10.1079/PNS2002162
- Lazarides, H.N. (1995). Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *Journal of Food Engineering* (25) 151 – 166.
- Linné von, C. (1753). *Species plantarum, exhibentes plantas rite cognitae ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus... Secundum systema sexuale digestas.*, tomos II. Suecia: IMPRESIS LAURENTII SALVII.
- Lerici, C. (1985). Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *of Food Science*, 50, 1217-1219.
- Los Andes. (04 de junio de 2015). Productores de papaya andina de Puno vendieron más de 450 mil nuevos soles. Los Andes, pág. 2. Recuperado el 14 de marzo de 2017, de <http://www.losandes.com.pe/Regional/20150604/89028.html>
- Lucano, H., Ludeña, A. (2019) Obtención de parámetros óptimos en la elaboración de fruta confitada a partir de mango verde (*Mangifera Indica*) Universidad Nacional de Piura.
- Madrid, A. (2007). *Confitería y Pastelería: Manual de formación*. Madrid - España: AMV EDICIONES.



- Mafart P., (1991). Ingeniería Industrial Alimentaria, Procesos Físicos de conservación, Volumen I, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España
- Masson, L. (2003), Camilo, C., Gonzalez, K., Cáceres, A., Jorge, N., and Torija, M.E., 2008. New Sources of Oliseeds from Latin American Native Fruits. *Natural Products Communications* 3, 357 – 362.
- Mazzeo, M., Leon, L., Hernandez, H., & Guapacha, H. (2006). "Deshidratación osmótica de arveja (*Pisum sativum* L.) y habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizando soluciones de glicerol y cloruro de sodio". Universidad de Caldas de Colombia.
- Morales, A. L., & Duque, C. (1987). Aroma constituents of the fruit of the mountain papaya (*Carica pubescens*) from Colombia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 35(4), 538-540. doi:10.1021/jf00076a024
- Morgado, M., Pérez, G., Pérez, D., & Ávila, M. (2014). Deshidratación osmótica de rodajas de fruta bomba (*Carica papaya* L) cultivar Maradol roja en tres agentes edulcorantes. *Ingeniería Agrícola*, 18-21.
- Muñoz, J. (2006). Estudio químico-bromatológico del fruto de *Carica monoica* Desf. "chamburú" y los efectos de su ingesta en el crecimiento y el perfil bioquímico de las ratas. *Universidad Nacional Mayor De San Marcos*.
- Neill, D., & Ulloa, C. (2011). Adiciones a la Flora del Ecuador: Segundo Suplemento, 2005-2010. *Fundación Jatun Sacha*.
- Ochoa Martinez, C y Ayala Aponte, A, (2005). Modelos matematicos de transferencia de masa en deshidratado osmótico, sociedad Mexicana de nutrición y tecnología de alimentos. Mexico.
- Ochoa, C., P. Quintero, A. Ayala y M. Ortiz, (2012) Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window Technique. *Journal of Food Engineering*.



- Ortiz, N. (2009). Efectos de Fuentes y Niveles de Calcio en el Rendimiento y Calidad de la Fruta de Papaya (*Carica papaya*). Universidad de Puerto Rico: Tesis para optar el grado de Magister en Ciencias del Suelo.
- Quintero PT, Ayala AA, Ortiz MJ.(2012) Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. *J Food. Mar*; 109 (1): 69-75.
- Panagiotou, N., Karathanos, V., & Maroulis, Z. (1998). Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits. *Journal of Food Science and Technology*, 267–284.
- Parzanese, M. (2014). Deshidratación Osmótica, Tecnologías para la industria alimentaria, Alimentos argentinos (Vol. 1).
- Peña, J. (2019). "Obtención de parámetros óptimos en la elaboración de fruta fonfitada a partir de mango verde (*Mangifera indica*)". UNAP, Piura - Perú, Tesis, 12.
- Próspero, G. (2002). *Deshidratación osmótica: alternativa para la conservación de las frutas tropicales* (Vol. 21): publicación periódica
- Quijano, C. (2011) Estudio de la composición de volátiles y su evolución durante la deshidratación osmótica de la guayaba Palmira Ica-1 (*Psidium Guajava* L.). (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Tecnología de Alimentos, España.
- Rahman, S.; Perera C., (1996). Osmotic dehydration: a pretreatment for fruit and vegetables to improve quality and process efficiency. *The Food Technologist*.
- Rastogi, N. K.; Raghavarao, K. S. M. S., (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. *Food Science and Technology*, v. 37, n. 1, p. 43-47.



- Ramos, V., Valdivia, B., & Montañez, J. (2012). Alternativas para reducir la absorcion de aceite en papas fritas. *Revista Cientifica de la Universidad Autonoma de Coahuila. Facultad de Ciencias Quimicas.*
- Reche, K. (2007), *Procesamiento de Frutas, Hortalizas y Especies en Pequeña Escala. alternativas tecnológicas para la Pequeña Agroindustria*
- Rocca, D. (2010). *Secado de alimentos por metodos combinados, deshidratación osmotica y secado por microondas y aire caliente* (U. T. Nacional Ed. Vol. 1).
- Sablani, S. S.; Shafiur, M.; Al-Sadeiri, D. S. (2002). Equilibrium distribution data for osmotic drying of apple cubes in sugar-water solution. *Journal of Food Engineering*, v 52, n. 2, p.193-199.
- Sacchetti, G.; Gianotti, A.; Dalla Rosa, M. Sucrose salt combined effect on mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatments. *Journal of Food Engineering*, v. 49, n. 2-3, p.163-173, 2001. [ Links ]
- Schmidt-Hebbe, H. (1990). *Aditivos alimentarios y la reglamentación de los alimentos.* Fundación de Chile. Santiago de Chile.  
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/121409/schmidth04.pdf>
- Shi, J., & Le Maguer, M. (2007). Osmotic dehydration of foods: mass transfer and modeling aspects. Taylor & Francis, (October 2013), 37–41.  
<https://doi.org/10.1081/FRI120016208>
- Shinta, Effendi, S. R. N., & Rofiqoh, I. (2019). Embryogenesis Callus Induction of *Carica pubescens* Using Divine Smoke Particulates Containing Amino Acids. *Journal of Physics: Conference Series*, 1241, 012004. doi:10.1088/1742-6596/1241/1/012004



- Sierra, R. (2010). Estudio de la deshidratación osmótica de la arveja china (*Pisum sativum* L.) mediante dos metodologías, directa e indirecta, como alternativa tecnológica al sector ortofrutícola del país. *Guatemala - Universidad Juan Carlos de Guatemala*, 1, 19-20.
- Spiazzi, E. (2001). Modelo de deshidratación osmótica de alimentos vegetales. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos.
- Suca, A. (2007). Deshidratación Osmótica de Alimentos, boletín de divulgación tecnológica agroindustrial.
- Sugiyarto, Noalina, D., Susilowati, A., & Sasongko, H. (2019). Antibacterial activity of ethyl acetate and n-hexane fractions of *Carica pubescens* rind and seeds. doi:<https://doi.org/10.1063/1.5061898>
- Tapia, M. (2000). *Cultivos Andinos Subexplotados y su Aporte a la Alimentación*. Santiago Chile: Segunda Edición. [www.rlc.fao.org](http://www.rlc.fao.org).
- Tepper, P. (1996). Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de palta cv fuerte. *Universidad de Chile*, 10.
- Torres, E. (2007). Identificación y caracterización in situ de germoplasma de mamey (*Mammea americana* L.), con potencial genético en zonas productoras de el salvador". (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador Facultad de Ciencias Agronómicas, El Salvador. <http://ri.ues.edu.sv/1831/1/13100161.pdf>
- Vega, A., Palacios, M., Boglio, F., Passaro, C., Jerez, C., & Lemus, R. (2007). "Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia". *Universidad de La Serena - Chile*.



- Vallenas, M. (2013). PAPAYA. Manual Tecnico Para La Produccion Orgánica de Papaya Andina. Puno, Perú: Gobierno Regional.
- Villamizar, R. (2014). Efecto del medio osmótico sobre la deshidratación de cubos de papaya (*Carica papaya*) variedad maradol, *Universidad La Gran Colombia – Armenia*.
- Wang, R., M. Zhang y A. S. Mujumdar (2010), Effect of osmotic dehydration on microwave freeze-drying characteristics and quality of potato chips. *Drying Technology*, 28(6): 798-806
- Welti J. C.; Bermúdez A. (2007). Nuevas tendencias en el procesamiento de alimentos disponible en línea.
- Yanqui, P., Maquera, V. (2010), "Efecto del estado de madurez, concentracion y temperatura en la difusion efectiva de sacarosa en papaya (*Carica papaya L.*) en el modulo de osmodeshidratacion", *Universidad Nacional del Altiplano*.
- Yao, Z., Le Maguer, M. (1997). Mathematical modelling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration processes. Part II: Simulation and model verification. *Journal of Food Engineering*.
- Wulan, S. S., Moh, S. i., & Enny, S. (2019). Pengaruh konsentrasi garam dan lama perendaman terhadap mutu manisan carica (*carica pubescens*). doi:<https://doi.org/10.31328/ja.v13i1.987>
- Zapana, J. (2011). Elaboración de nectar de papaya de montaña (*carica pubescens*) y evaluación de su vida en anaquel en tres tipos de envase. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Zapata, J., & Castro, G. (1999). Deshidratación osmótica de frutas y vegetales. *Revista Facultad Nacional Agraria de Medellin*. Universidad de Antioquía.





## ANEXOS

**Anexo 1.** Tabla de medias por Mínimos Cuadrados para Variación de masa con intervalos de confianza del 95.0%.

			<i>Error</i>	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Est.</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
MEDIA GLOBAL	162	0.0908272			
Temperatura					
1	54	0.100241	0.00501747	0.0903128	0.110169
2	54	0.0822963	0.00501747	0.0723683	0.0922242
3	54	0.0899444	0.00501747	0.0800165	0.0998724
Concentración					
1	54	0.0609444	0.00501747	0.0510165	0.0708724
2	54	0.0962222	0.00501747	0.0862943	0.10615
3	54	0.115315	0.00501747	0.105387	0.125243
Tiempos					
1	27	0.0434815	0.00709578	0.0294412	0.0575217
2	27	0.0668519	0.00709578	0.0528116	0.0808921
3	27	0.0788889	0.00709578	0.0648486	0.0929291
4	27	0.0972593	0.00709578	0.083219	0.1113
5	27	0.118815	0.00709578	0.104775	0.132855
6	27	0.139667	0.00709578	0.125626	0.153707
Temperatura por Concentración					

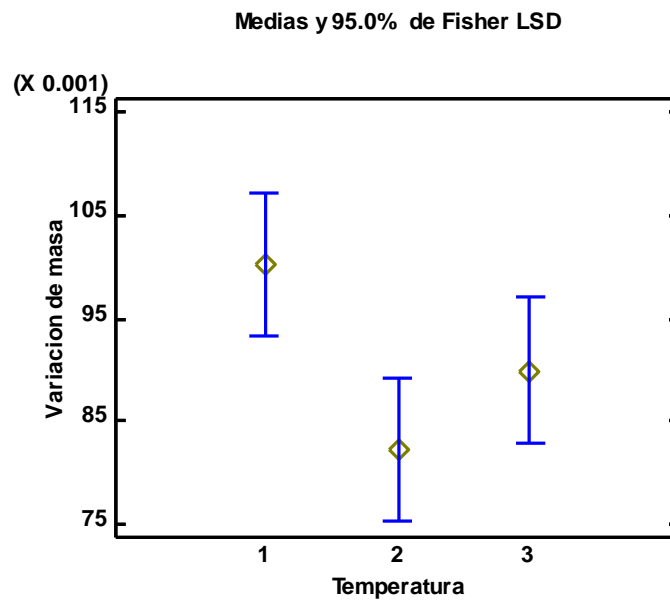


1,1	18	0.0583333	0.00869052	0.0411376	0.075529
1,2	18	0.0880556	0.00869052	0.0708598	0.105251
1,3	18	0.154333	0.00869052	0.137138	0.171529
2,1	18	0.0572778	0.00869052	0.0400821	0.0744735
2,2	18	0.102278	0.00869052	0.0850821	0.119473
2,3	18	0.0873333	0.00869052	0.0701376	0.104529
3,1	18	0.0672222	0.00869052	0.0500265	0.0844179
3,2	18	0.0983333	0.00869052	0.0811376	0.115529
3,3	18	0.104278	0.00869052	0.0870821	0.121473
Temperatura por Tiempos					
1,1	9	0.0448889	0.0122903	0.0205705	0.0692073
1,2	9	0.0727778	0.0122903	0.0484594	0.0970962
1,3	9	0.0861111	0.0122903	0.0617927	0.11043
1,4	9	0.104556	0.0122903	0.0802371	0.128874
1,5	9	0.139667	0.0122903	0.115348	0.163985
1,6	9	0.153444	0.0122903	0.129126	0.177763
2,1	9	0.0443333	0.0122903	0.0200149	0.0686517
2,2	9	0.0604444	0.0122903	0.036126	0.0847629
2,3	9	0.068	0.0122903	0.0436816	0.0923184
2,4	9	0.0848889	0.0122903	0.0605705	0.109207
2,5	9	0.0977778	0.0122903	0.0734594	0.122096
2,6	9	0.138333	0.0122903	0.114015	0.162652
3,1	9	0.0412222	0.0122903	0.0169038	0.0655406



3,2	9	0.0673333	0.0122903	0.0430149	0.0916517
3,3	9	0.0825556	0.0122903	0.0582371	0.106874
3,4	9	0.102333	0.0122903	0.0780149	0.126652
3,5	9	0.119	0.0122903	0.0946816	0.143318
3,6	9	0.127222	0.0122903	0.102904	0.151541
Concentración por Tiempos					
1,1	9	0.0175556	0.0122903	-0.00676286	0.041874
1,2	9	0.0416667	0.0122903	0.0173483	0.0659851
1,3	9	0.0537778	0.0122903	0.0294594	0.0780962
1,4	9	0.0667778	0.0122903	0.0424594	0.0910962
1,5	9	0.089	0.0122903	0.0646816	0.113318
1,6	9	0.0968889	0.0122903	0.0725705	0.121207
2,1	9	0.0491111	0.0122903	0.0247927	0.0734295
2,2	9	0.0762222	0.0122903	0.0519038	0.100541
2,3	9	0.0862222	0.0122903	0.0619038	0.110541
2,4	9	0.103111	0.0122903	0.0787927	0.12743
2,5	9	0.111333	0.0122903	0.0870149	0.135652
2,6	9	0.151333	0.0122903	0.127015	0.175652
3,1	9	0.0637778	0.0122903	0.0394594	0.0880962
3,2	9	0.0826667	0.0122903	0.0583483	0.106985
3,3	9	0.0966667	0.0122903	0.0723483	0.120985
3,4	9	0.121889	0.0122903	0.0975705	0.146207
3,5	9	0.156111	0.0122903	0.131793	0.18043

3,6	9	0.170778	0.0122903	0.146459	0.195096
-----	---	----------	-----------	----------	----------



Esta tabla muestra la media de Variación de masa para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95.0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.



**Anexo 2.** Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Perdida de Agua con intervalos de confianza del 95.0%

			<i>Error</i>	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Est.</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
MEDIA GLOBAL	162	0.998741			
Temperatura					
1	54	1.05983	0.0715504	0.918258	1.20141
2	54	0.935815	0.0715504	0.79424	1.07739
3	54	1.00057	0.0715504	0.858999	1.14215
Concentración					
1	54	0.670463	0.0715504	0.528888	0.812038
2	54	1.0717	0.0715504	0.930129	1.21328
3	54	1.25406	0.0715504	1.11248	1.39563
Tiempos					
1	27	0.43437	0.101188	0.234153	0.634588
2	27	0.69663	0.101188	0.496412	0.896847
3	27	0.835481	0.101188	0.635264	1.0357
4	27	1.05278	0.101188	0.85256	1.253
5	27	1.34907	0.101188	1.14886	1.54929
6	27	1.62411	0.101188	1.42389	1.82433
Temperatura por Concentración					
1,1	18	0.605944	0.123929	0.360729	0.85116

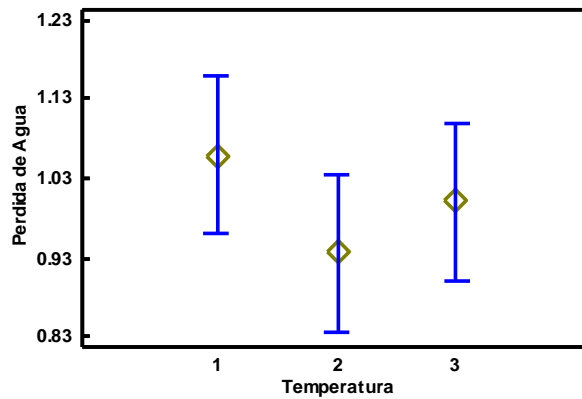


1,2	18	0.976667	0.123929	0.731451	1.22188
1,3	18	1.59689	0.123929	1.35167	1.8421
2,1	18	0.660667	0.123929	0.415451	0.905882
2,2	18	1.16128	0.123929	0.916063	1.40649
2,3	18	0.9855	0.123929	0.740285	1.23072
3,1	18	0.744778	0.123929	0.499563	0.989993
3,2	18	1.07717	0.123929	0.831951	1.32238
3,3	18	1.17978	0.123929	0.934563	1.42499
Temperatura por Tiempos					
1,1	9	0.380556	0.175262	0.0337689	0.727342
1,2	9	0.695444	0.175262	0.348658	1.04223
1,3	9	0.847556	0.175262	0.500769	1.19434
1,4	9	1.06589	0.175262	0.719102	1.41268
1,5	9	1.59311	0.175262	1.24632	1.9399
1,6	9	1.77644	0.175262	1.42966	2.12323
2,1	9	0.486889	0.175262	0.140102	0.833676
2,2	9	0.665	0.175262	0.318213	1.01179
2,3	9	0.753778	0.175262	0.406991	1.10056
2,4	9	0.950778	0.175262	0.603991	1.29756
2,5	9	1.10656	0.175262	0.759769	1.45334
2,6	9	1.65189	0.175262	1.3051	1.99868
3,1	9	0.435667	0.175262	0.08888	0.782453
3,2	9	0.729444	0.175262	0.382658	1.07623



3,3	9	0.905111	0.175262	0.558324	1.2519
3,4	9	1.14167	0.175262	0.79488	1.48845
3,5	9	1.34756	0.175262	1.00077	1.69434
3,6	9	1.444	0.175262	1.09721	1.79079
Concentración por Tiempos					
1,1	9	0.188556	0.175262	-0.158231	0.535342
1,2	9	0.446556	0.175262	0.0997689	0.793342
1,3	9	0.580778	0.175262	0.233991	0.927564
1,4	9	0.726556	0.175262	0.379769	1.07334
1,5	9	0.995111	0.175262	0.648324	1.3419
1,6	9	1.08522	0.175262	0.738436	1.43201
2,1	9	0.504778	0.175262	0.157991	0.851564
2,2	9	0.817	0.175262	0.470213	1.16379
2,3	9	0.936222	0.175262	0.589436	1.28301
2,4	9	1.13967	0.175262	0.79288	1.48645
2,5	9	1.24478	0.175262	0.897991	1.59156
2,6	9	1.78778	0.175262	1.44099	2.13456
3,1	9	0.609778	0.175262	0.262991	0.956564
3,2	9	0.826333	0.175262	0.479547	1.17312
3,3	9	0.989444	0.175262	0.642658	1.33623
3,4	9	1.29211	0.175262	0.945324	1.6389
3,5	9	1.80733	0.175262	1.46055	2.15412
3,6	9	1.99933	0.175262	1.65255	2.34612

Medias y 95.0% de Fisher LSD



Esta tabla muestra la media de Perdida de Agua para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95.0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.





**Anexo 3.**Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Ganancia de Sólidos

Solubles con intervalos de confianza del 95.0%

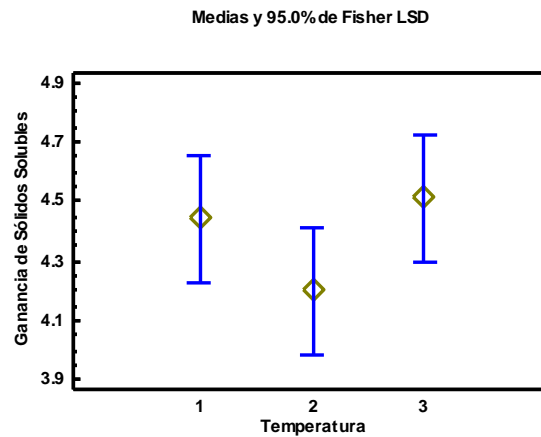
			<i>Error</i>	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Est.</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
MEDIA GLOBAL	162	4.38643			
Temperatura					
1	54	4.44498	0.153173	4.1419	4.74806
2	54	4.20231	0.153173	3.89924	4.50539
3	54	4.512	0.153173	4.20892	4.81508
Concentración					
1	54	2.57459	0.153173	2.27151	2.87767
2	54	4.62037	0.153173	4.31729	4.92345
3	54	5.96433	0.153173	5.66125	6.26741
Tiempo					
1	27	2.24026	0.216619	1.81164	2.66888
2	27	3.37489	0.216619	2.94627	3.80351
3	27	3.94641	0.216619	3.51779	4.37503
4	27	4.79396	0.216619	4.36534	5.22258
5	27	5.57152	0.216619	5.1429	6.00014
6	27	6.39156	0.216619	5.96294	6.82017
Temperatura por Concentración					
1,1	18	2.42983	0.265303	1.90489	2.95478
1,2	18	4.32467	0.265303	3.79972	4.84961



1,3	18	6.58044	0.265303	6.0555	7.10539
2,1	18	2.53139	0.265303	2.00644	3.05634
2,2	18	4.81694	0.265303	4.292	5.34189
2,3	18	5.25861	0.265303	4.73366	5.78356
3,1	18	2.76256	0.265303	2.23761	3.2875
3,2	18	4.7195	0.265303	4.19455	5.24445
3,3	18	6.05394	0.265303	5.529	6.57889
Temperatura por Tiempo					
1,1	9	1.94022	0.375195	1.19783	2.68261
1,2	9	3.33244	0.375195	2.59006	4.07483
1,3	9	3.96678	0.375195	3.22439	4.70917
1,4	9	4.82844	0.375195	4.08606	5.57083
1,5	9	6.01378	0.375195	5.27139	6.75617
1,6	9	6.58822	0.375195	5.84583	7.33061
2,1	9	2.51889	0.375195	1.7765	3.26128
2,2	9	3.24667	0.375195	2.50428	3.98905
2,3	9	3.62311	0.375195	2.88072	4.3655
2,4	9	4.41267	0.375195	3.67028	5.15505
2,5	9	4.929	0.375195	4.18661	5.67139
2,6	9	6.48356	0.375195	5.74117	7.22594
3,1	9	2.26167	0.375195	1.51928	3.00405
3,2	9	3.54556	0.375195	2.80317	4.28794
3,3	9	4.24933	0.375195	3.50695	4.99172



3,4	9	5.14078	0.375195	4.39839	5.88317
3,5	9	5.77178	0.375195	5.02939	6.51417
3,6	9	6.10289	0.375195	5.3605	6.84528
Concentración por Tiempo					
1,1	9	0.806889	0.375195	0.0645006	1.54928
1,2	9	1.82833	0.375195	1.08595	2.57072
1,3	9	2.32856	0.375195	1.58617	3.07094
1,4	9	2.845	0.375195	2.10261	3.58739
1,5	9	3.66033	0.375195	2.91795	4.40272
1,6	9	3.97844	0.375195	3.23606	4.72083
2,1	9	2.47333	0.375195	1.73095	3.21572
2,2	9	3.78978	0.375195	3.04739	4.53217
2,3	9	4.25589	0.375195	3.5135	4.99828
2,4	9	5.001	0.375195	4.25861	5.74339
2,5	9	5.36789	0.375195	4.6255	6.11028
2,6	9	6.83433	0.375195	6.09195	7.57672
3,1	9	3.44056	0.375195	2.69817	4.18294
3,2	9	4.50656	0.375195	3.76417	5.24894
3,3	9	5.25478	0.375195	4.51239	5.99717
3,4	9	6.53589	0.375195	5.7935	7.27828
3,5	9	7.68633	0.375195	6.94395	8.42872
3,6	9	8.36189	0.375195	7.6195	9.10428



Esta tabla muestra la media de Ganancia de Sólidos Solubles para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95.0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionado Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.