

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias



Una Institución Adventista

Modelamiento matemático del proceso de osmodeshidratación de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*)

Por:

Jasmine Sara Luna Canchari

Asesor:

Dr. Reynaldo Justino Silva Paz

Lima, octubre de 2019

**DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS**

Yo Reynaldo Justino Silva Paz, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulada: “Modelamiento matemático del proceso de osmodeshidratación de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*)” constituye la memoria que presenta la Bachiller Jasmine Sara Luna Canchari para aspirar al título profesional de Ingeniero de alimentos, ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones de este informe son de entera responsabilidad del autor sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo firmo la presente declaración en Lima el 03 de Octubre de 2019.



Dr. Reynaldo Silva Paz

"Modelamiento matemático de la osmodeshidratación de
aguaymanto (*Physalis Peruviana* L.)"

TESIS

Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero de Alimentos

JURADO CALIFICADOR



Dr. Rodrigo Alfredo Matos Chamorro
Presidente



MSc. Silvia Pico Quesada
Secretaria



Dr. Julio Florencio Paredes Guzmán
Vocal



Ing. Guido Fulgencio Anglas Hurtado
Vocal



Dr. Reynaldo Justino Silva Paz
Asesor

Lima, 24 de octubre de 2018

Dedicatoria

A Dios, sobre todas las cosas, a mi pequeña
Valentina, a mis padres y a mi familia.

AGRADECIMIENTO

A Dios, sobre todas las cosas, por haber puesto en mi camino a personas que me ayudaron a culminar esta etapa de mi carrera y por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante en mis proyectos.

A mi pequeña hija, porque tu afecto y tu cariño son mi felicidad y la inspiración de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ti. Aun a tu corta edad me has enseñado y me sigues enseñando cosas de esta vida. Te agradezco por ayudarme a encontrar el lado dulce y no amargo de la vida. Eres mi motivación más grande de poder concluir con éxito este trabajo de tesis.

A mi familia, a José L. Perales, mi novio, con todo mi amor y cariño agradecida por el sacrificio y esfuerzo por ayudarme a culminar parte de mi carrera y creer en mi capacidad, por motivarme en los momentos difíciles de la tesis y ayudarme hasta donde sus alcances lo permitían.

A mis padres, Miguel Luna G. y Alcida Canchari A. por brindarme todo su amor y no menos importante, la educación adecuada, encaminada en valores y principios, por forjarme como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluye este.

A mis hermanas y amigas, Gina L. C., Jenny L. C., Odely Z. R. y Katherine H. F. por sus desinteresadas ayudas, por brindarme su apoyo cuando lo necesité. Además, agradecida por lo más importante que fue el cuidado de Valentina.

A el Doc. Reynaldo Silva P. e Ing. Joel Coaquira Q., por su motivación, apoyo, confianza y asesoría durante la investigación y proceso de tesis.

Índice

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA.....	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	3
2.1 Generalidades sobre el Aguaymanto.....	3
2.1.1 Descripción botánica.....	3
2.1.2 Morfología y exigencias climáticas	4
2.1.3 Composición química	5
2.1.4 Uso del aguaymanto.....	6
2.2 Deshidratación osmótica (DO).....	8
2.2.1 Principios y fundamentos.....	8
2.2.2 Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica.....	9
2.2.3 Sabor y aroma	9
2.2.4 Agentes osmótico.....	10
2.2.5 Concentración de la solución osmótica.....	10
2.2.6 Transferencia y modelamiento de masa durante la osmodeshidratación....	11
2.2.7 Sacarosa	12
2.2.8 Xilitol	13

2.2.9	Efecto de los agentes.....	15
2.3	Modelo matemático en la etapa de osmodeshidratación.....	18
2.3.1	Modelo fenomenológico	18
2.3.2	Modelo micro –estructural:.....	18
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		23
3.1	Lugar de ejecución	23
3.2	Materiales e insumos.....	23
3.2.1	Materia prima.....	23
3.2.2	Materiales.....	23
3.2.3	Equipos	24
3.2.4	Reactivos.....	24
3.2.5	Agentes	24
3.3	Proceso de osmodeshidratación	24
3.4	Métodos de análisis	27
3.4.1	Análisis físico-químico	27
3.4.2	Humedad (%).....	27
3.4.3	Pérdida de peso (PP):	27

3.4.4	Ganancia de sólidos (GS):	28
3.4.5	Pérdida de Agua (PA):	28
3.5	Modelado de la etapa de deshidratación Osmótica	28
3.5.1	Modelado fenomenológico	28
3.5.2	Modelado microscópico-estructural:	28
3.6	Ecuación de Arrhenius	30
3.7	Parámetros de control	30
3.7.1	Color	30
3.7.2	Actividad de agua	32
3.8	Diseño experimental	32
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION		34
4.1	Características fisicoquímicas de aguaymanto fresco	34
4.2	Transferencia de materia	38
4.2.1	Pérdida de peso	38
4.2.2	Pérdida de agua	41
4.2.3	Ganancia de sólidos	44
4.3	Modelos matemáticos	47

4.3.1	Modelo de Crank	47
4.3.2	Modelo de Azuara.....	49
4.3.3	Modelo de Biswal y Bozorgmehr	51
4.3.4	Energía de activación.....	53
4.4	Parámetros de control.....	55
4.4.1	Color	55
4.4.2	Actividad de agua	58
4.4.3	Humedad del aguaymanto osmodeshidratado	59
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		61
5.1	Conclusiones	61
5.2	Recomendaciones.....	62
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS.....		63
CAPÍTULO VII. ANEXOS.....		77

Índice de Tabla

Tabla 1. Niveles de nutrientes, minerales y sustancias bioactivas solubles en agua en pulpa de <i>Physalis peruviana</i> L.....	6
Tabla 2. Principales mercados	7
Tabla 3. Poder edulcorante	13
Tabla 4. Características de polioles y azúcares.....	14
Tabla 5. Índice glucémico (IG) e índice insulinémico (II) de los polioles.	16
Tabla 6. Diseño experimental para la DO del aguaymanto.	33
Tabla 7. Clasificación de aguaymanto para su comercialización.	34
Tabla 8. Análisis fisicoquímicos de la materia prima.....	37
Tabla 9. Coeficiente de difusión mediante el modelo de Fick.....	47
Tabla 10. Modelo Azuara de pérdida de agua y ganancia de sólidos.....	49
Tabla 11. Modelo Biswal-Bozorgmerh de pérdida de peso y ganancia de sólidos	51
Tabla 12. Valores estadísticos promedios del modelo Biswal y Bozorgmehr.....	52
Tabla 13. Ea de los parámetros cinéticos $K_{(PA)}$ y $K_{(GS)}$	53
Tabla 14. Ea de los parámetros cinéticos $De_{(PA)}$ y $De_{(GS)}$	53
Tabla 15. Coordenadas de color para DO de aguaymanto con agentes diferentes.....	56
Tabla 16. Aw y humedad final de la DO	60

Índice de Figura

<i>Figura 1.</i> Cáliz abierto de <i>Physalis peruviana</i> L.	4
<i>Figura 2.</i> Planta de uchuva en desarrollo de la cáliz	5
<i>Figura 3.</i> Exportación del producto aguaymanto 2013-2017	7
<i>Figura 4.</i> Principales empresas exportadoras	8
<i>Figura 5.</i> Transferencia de masa	12
<i>Figura 6.</i> Molécula de sacarosa.	13
<i>Figura 7.</i> Molécula de xilitol.....	14
<i>Figura 8.</i> Fruto de aguaymanto	23
<i>Figura 9.</i> Flujo de operaciones para obtener aguaymanto osmodeshidratado.	25
<i>Figura 10.</i> Representación del sistema tridimensional de color.....	31
<i>Figura 11.</i> Tamaño uniforme del aguaymanto a analizar.....	34
<i>Figura 12.</i> Clasificación por color del aguaymanto durante el proceso de maduración.	36
<i>Figura 13.</i> Pérdida de peso en relación al tiempo de DO.....	40
<i>Figura 14.</i> Pérdida de agua en relación al tiempo de DO.....	43
<i>Figura 15.</i> Ganancia de sólidos en relación al tiempo de DO.....	46

ANEXOS

Anexo 1. Proceso del osmodeshidratado del aguaymanto.....	77
Anexo 2. RMSE Ley de Fick.....	79
Anexo 3. RMSE del modelo Azuara	80
Anexo 4. RMSE del modelo de Biswal y Bozorgmehr	81
Anexo 5. Energía de activación, ambos agentes.....	82
Anexo 6. Color durante el proceso de DO.....	82

SÍMBOLOS

A.O.A.C	Asociación de químicos analíticos oficiales
ANOVA	Análisis de varianza
a*	Coordenada rojo – verde
aw	Actividad de agua
b*	Coordenada amarillo - azul
CG	Carga glucémica
CICAL	Centro de investigación en ciencia de alimentos
CITAL	Centro de investigación en tecnología de alimentos
D.O	Deshidratación osmótica.
De _(GS) :	Coeficiente de difusión de la ganancia de sólidos
De _(PP) :	Coeficiente de difusión de la pérdida de peso
Ea	Energía de activación
GS	Ganancia de sólidos.
SIICEX	Estadística del sistema integrado de información del comercio exterior
SUNAT	Súper intendencia nacional de aduanas y de administración tributarias.
IG	Índice glucémico
II	Índice insulinémico
K _(GS)	Difusividad efectiva de la ganancia de sólidos
K _(PP)	Difusividad efectiva de la pérdida de peso
L*	Luminosidad
MINCETUR	Ministerio de comercio exterior y turismo

PA	Pérdida de agua
PP	Pérdida de peso

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue modelar matemáticamente el proceso de osmodeshidratación del aguaymanto, evaluando las condiciones adecuadas para el proceso que fueron comprendidos por dos agentes osmóticos sacarosa y xilitol, a dos concentraciones 20 y 40 °Brix y tres niveles de temperatura 20, 30 y 40 °C. Se modeló en base a las ecuaciones de Azuara, Crank y Biswal-Bozorgmehr modificada. Durante la investigación se analizó la materia prima el cual, presentó un diámetro 1.9 ± 0.3 cm, peso 7 ± 0.5 gr, 12 ± 0.5 ° Brix, 2.5 ± 0.7 de acidez, 3.5 ± 0.3 de pH, 80.28 ± 0.8 % de humedad y 4.5 ± 0.9 de índice de madurez. Los tratamientos con sacarosa y xilitol a 40 °Brix a 40 °C obtuvieron mayor pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos. De acuerdo con los parámetros de $K_{(PA)}$ y $K_{(GS)}$, estos presentaron cierta dependencia con la temperatura del proceso, lo cual ayudó a calcular el $K_{(PA)}$, se tiene con sacarosa a 20 y 40 °Brix, datos de 14.007 ± 1.5 , 89.580 ± 16.4 , y con xilitol a 14.748 ± 11.4 y 41.864 ± 24.3 $m^2 s^{-1}$, respectivamente. Para los parámetros cinéticos de $K_{(GS)}$, se tiene con sacarosa a 20 y 40 °Brix, con 2.993 ± 0.1 , 7.431 ± 2.6 , y con xilitol 3.799 ± 0.1 y 13.805 ± 6.2 $m^2 s^{-1}$, respectivamente. Para los parámetros sobre los coeficiente de difusión $De_{(PA)}$ se tiene con sacarosa a 20 y 40 °Brix, con 16.59 ± 2.74 , 32.68 ± 2.36 , y con xilitol a 7.45 ± 1.32 y 14.18 ± 3.25 $m^2 s^{-1}$, respectivamente. Y para la $De_{(GS)}$ a 20 y 40 °Brix, con sacarosa a 16.80 ± 3.11 , 32.69 ± 3.33 , y con xilitol a 7.45 ± 1.31 y 14.18 ± 3.25 $m^2 s^{-1}$, respectivamente. Los análisis estadísticos tanto el modelo de Biswal – Bozorgmehr modificado resultaron ser útiles para describir la cinética de transferencia de materia durante la deshidratación osmótica, no obstante el modelo Biswal – Bozorgmehr obtuvo mejor calidad de ajuste sobre la pérdida de peso y sólidos solubles para cada uno de los experimentos realizados. El análisis de color del aguaymanto deshidratado más próximo a los valores del fruto fresco fue con xilitol a 40 °Brix a 40 °C $L^* = 52.36 \pm 3.74$, $a^* = 19.49 \pm 0.57$ y $b^* = 50.69 \pm 0.19$. Durante el proceso de deshidratación osmótica se tuvo 0.919 ± 0.019 de a_w a 240 min, donde los tratamiento a 40 °Brix a 40 °C con xilitol y sacarosa arrojaron 15.1 y 16.9 % de humedad, respectivamente.

Palabras claves: aguaymanto, difusividad efectiva, modelo cinético.

Abstract

The objective of the present research was to mathematically model the osmodehydration process of aguaymanto, evaluating the adequate conditions for the process that were comprised by two osmotic agents sucrose and xylitol, at two concentrations 20 and 40 ° Brix and three temperature levels 20, 30 and 40 ° C. It was modeled on the basis of the modified Azuara, Crank and Biswal-Bozorgmehr equations. During the investigation the raw material was analyzed, which presented a diameter of 1.9 ± 0.3 cm, weight 7 ± 0.5 gr, 12 ± 0.5 ° Brix, 2.5 ± 0.7 of acidity, 3.5 ± 0.3 of pH, $80.28 \pm 0.8\%$ of humidity and 4.5 ± 0.9 maturity index. The treatments with sucrose and xylitol at 40 ° Brix at 40 ° C obtained greater weight loss, loss of water and gain of solids. According to the parameters of K (PA) and K (GS), these had some dependence on the temperature of the process, which helped to calculate the K (PA), it is with sucrose at 20 and 40 ° Brix, data from 14.007 ± 1.5 , 89.580 ± 16.4 , and with xylitol at 14.748 ± 11.4 and 41.864 ± 24.3 m² s⁻¹, respectively. For the kinetic parameters of K (GS), we have sucrose at 20 and 40 ° Brix, with $2,993 \pm 0.1$, 7.431 ± 2.6 , and with xylitol 3.799 ± 0.1 and 13.805 ± 6.2 m² s⁻¹, respectively. For the parameters on the diffusion coefficient De (PA) is obtained with sucrose at 20 and 40 ° Brix, with 16.59 ± 2.74 , 32.68 ± 2.36 , and with xylitol at 7.45 ± 1.32 and 14.18 ± 3.25 m² s⁻¹, respectively. And for De (GS) at 20 and 40 ° Brix, with sucrose at 16.80 ± 3.11 , 32.69 ± 3.33 , and with xylitol at 7.45 ± 1.31 and 14.18 ± 3.25 m² s⁻¹, respectively. Statistical analyzes of both the modified Biswal-Bozorgmehr model proved useful in describing the kinetics of matter transfer during osmotic dehydration, however the Biswal-Bozorgmehr model obtained better fit quality over weight loss and soluble solids for each of the experiments performed. The color analysis of the dehydrated aguaymanto closest to the values of the fresh fruit was with xylitol at 40 ° Brix at 40 ° C $L^* = 52.36 \pm 3.74$, $a^* = 19.49 \pm 0.57$ and $b^* = 50.69 \pm 0.19$. During the osmotic dehydration process, 0.919 ± 0.019 aw was obtained at 240 min, where treatment at 40 ° Brix at 40 ° C with xylitol and sucrose yielded 15.1 and 16.9% humidity, respectively.

Keywords: aguaymanto, effective diffusivity, kinetic model.

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA

En la actualidad existe una tendencia global por la investigación y desarrollo de técnicas de conservación de alimentos que permitan obtener productos de alta calidad nutricional y sensorial, que sean similares en color, aroma y sabor a los alimentos frescos y que no contengan agentes químicos conservantes. Sin embargo, la mayor parte de las frutas se consumen en estado fresco, por lo que mantener dichos parámetros de calidad resulta difícil. Las frutas pueden ser conservadas o transformadas mediante métodos de deshidratación, como la osmosis directa, que según sea el tipo de agente a utilizar genera productos de mayor durabilidad y mejor calidad organoléptica. Aunque, no se conocen qué tipo de agente, es el adecuado para la conservación de las frutas, debido a que cada alimentos presenta un comportamiento distinto uno del otro según su desarrollo durante la maduración.

No obstante el proceso de deshidratación convencional generalmente se realiza por un medio térmico (aire, sol, vacío, microondas, liofilización y frituras), pero produce modificaciones de las propiedades nutricionales, degradación por descomposición térmica, oxidación o pardeamiento enzimático y sensoriales. Se ha comprobado que efectuando un tratamiento de deshidratación osmótica se reduce el daño de las propiedades texturales, estructurales y sensoriales del alimento y se disminuye los costos energéticos. A pesar las ventajas del proceso de deshidratación osmótica aún existen restricciones en la implementación, cuando se realiza un escalado a nivel industrial. Además de la falta de modelos predictivos de cinética de pérdida de humedad y ganancia de sólidos que permiten relacionar con precisión las características de los productos deshidratados con las variables del proceso. (Dermesonlouoglou, Giannakourou y Taoukis, 2007)

Se han aplicado diferentes modelos matemáticos para ajustar los resultados experimentales de procesos de deshidratación osmótica (D.O.) (ej. Fick, Azuara, etc.), con el objeto de predecir el comportamiento de los productos alimenticios. El modelo más usado está basado en la ley difusional de Fick. Este supone que la concentración de la solución permanece constante y que la resistencia externa es despreciable frente a la resistencia interna. La primera condición se cumple la mayoría de las veces, sin embargo la segunda no siempre queda satisfecha sobre todo cuando, como en este caso, se trabaja en condiciones

que pueden favorecer las altas viscosidades (altas concentraciones de solución y/o temperaturas bajas). En estos casos las características de la transferencia superficial (tanto para agua como para sólidos) pueden ser relativamente pobres. Esta es la razón del uso del coeficiente (D_e) como coeficiente total o global de transferencia de masa. (Mujaffar y Sankat, 2006)

Aunque la deshidratación osmótica ha sido utilizada por muchos años atrás, existen pocas investigaciones relacionadas con el uso del aguaymanto, a este fruto se le atribuye propiedades medicinales (antiespasmódico, diurético, antiséptico, sedante, analgésico, eliminación de parásitos intestinales y amebas). Por su composición se puede resaltar el contenido de vitamina C, E, K, B₁, B₂, B₃, betacarotenos, potasio, calcio, fósforo, hierro y zinc. Aunque, existe una demanda insatisfecha de este fruto. La industrialización del aguaymanto en el Perú, es reducida. Aún falta hacer innovaciones tecnológicas en la deshidratación de aguaymanto. El proceso de deshidratación es costoso por el bajo rendimiento de este fruto en esta operación, dado su alto contenido de agua. Esta requiere deshidratadores de gran capacidad que ayuden a obtener mayores rendimientos de materia prima, insumos y energía (Arballo, Campañone y Mascheroni, 2010)

El objetivo de este trabajo fue modelar matemáticamente el proceso de osmodeshidratación del aguaymanto, evaluando las condiciones óptimas del proceso comprendidas por dos agente osmótico (sacarosa y xilitol), dos niveles de concentración del agente osmótico (20 y 40 °Brix), y tres niveles de temperatura (20, 30 y 40 °C).

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Generalidades sobre el Aguaymanto

2.1.1 Descripción botánica

El aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), también conocido como uchuva en Colombia, uvilla en Ecuador, topotopo en Venezuela y goldenberry en países de habla inglesa, eso son algunos de los múltiples nombres para esta fruta en todo el mundo (Puente, Pinto-Muñoz, Castro y Cortés, 2011).

Su clasificación botánica es (Luebert, 2011):

Reino Vegetal

División *Angiosperma*

Subdivisión *Fanerógama*

Clase *Dicotiledónea*

Sub-clases *Gamopétala*

Orden *Tubiforales*

Familia *Solanéacea*

Género *Physalis*

Especie *Peruviana*

Nombre común Uchuva, uvilla

Nombre científico *Physalis peruviana* (L.)

Al igual que varias plantas *solanceaous*, el aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) es originario de los Andes de América del Sur, se expande en estados diferentes, pero sus orígenes no están claros, pero se menciona que es nativa del Perú, en las mismas áreas donde se originó el tomate; hay indicios de que el fruto proviene de Brasil y se aclimataron a las tierras altas de Perú y Chile (Wallace y Walton, 2011).

2.1.2 Morfología y exigencias climáticas

El aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) es originario del Perú, y forma su fruto en un cáliz inflado (cáscara). Tanto cáliz y color de la piel son sincrónicas y se pueden utilizar para indicar la madurez. Al ser un fruto climatérico, la cáscara previene el deterioro temprano; los frutos son bayas casi redondos brillantes de color amarillo con muchas semillas planas (175 ± 25 gr/frutas), que tienen de 70 ± 10 días para madurar, las frutas miden 1.88 ± 0.8 cm de diámetro y pesan alrededor de 4 a 10 g, como se observa en la **Figura 1** (Wallace y Walton, 2011).

El aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) es capaz de crecer en una amplia gama de altitud a 3300 msnm. Puede soportar las bajas temperaturas, pero sufren un daño irreparable por debajo de 0°C , su crecimiento se ve afectado si las temperaturas se mantienen por debajo de 10°C ., la temperatura óptima es de 18°C ., las temperaturas muy altas pueden afectar la floración y fructificación. Se requiere alta luminosidad y debe ser protegido contra el viento excesivo; debiéndose contar con suficiente agua durante el crecimiento inicial, pero no durante la maduración del fruto; es una planta con alto potencial, ya que crece en suelos pobres, pero con buen drenaje y tiene una baja exigencia de la fertilización; crece en suelos ligeramente ácidos, aunque tolera valores de pH entre 5.5 y 7.3 con buen contenido de materia orgánica y precipitaciones entre 1000 y 2000 mm., no tolera suelos arcillosos porque tiene raíces superficiales (Tapia y Fries, 2007).



Figura 1. Cáliz abierto de Physalis peruviana L.

(Velasquez y Velasquez, 2017)

El fruto es una baya, 1.63 ± 0.38 cm de ancho, con piel cerosa, la piel es suave de color naranja-amarillo y la pulpa jugosa contiene numerosos pequeños granos de color amarillento. La parte del aguaymanto que puede ser utilizado se compone de cáscara (5%) y bayas (95%). Las bayas pueden subdividirse en semillas (17%) y la fracción pulpa/cáscara (83%), siendo esta última la base para productos de frutas y jugos (Ramadan, 2011)



Figura 2. Planta de uchuva en desarrollo de la cáliz

(Wallace y Walton, 2011).

2.1.3 Composición química

El fruto se ha utilizado como una buena fuente de provitamina A, minerales, vitamina C, polifenoles (40,45 mg/100 g) y complejo de vitamina B; los azúcares oscilan entre 13 ± 2.8 °Brix (su alto nivel de fructosa lo hace valioso para los diabéticos) con un pH de 3.7; mientras que el porcentaje de acidez varía entre 1,6 y 2,0; el nivel de fósforo es alta para una fruta (Tabla 1) (Ramadan, 2011). De acuerdo con Rabie, Soliman, Diaconeasa y Constantin, (2015), menos del 15% de la actividad antioxidante total de una fruta se debe a la vitamina C, es por ello que los fenoles y polifenoles son los responsables de su alta capacidad antioxidante, el contenido total de antioxidantes en una fruta depende de la especie y cultivar; puede verse afectada por muchos factores, tales como las condiciones ambientales de crecimiento, tiempo de cosecha, la etapa de maduración, almacenamiento y condiciones de procesamiento.

Tabla 1. Niveles de nutrientes, minerales y sustancias bioactivas solubles en agua en pulpa de *Physalis peruviana* L.

Componentes	Cantidad
Humedad (g/100 g)	78.9
Proteína (g/100 g)	0.05–0.3
Lípidos (g/100 g)	0.15–0.2
Carbohidratos (g/100 g)	19.6
Fibra (g/100 g)	4.9
Ceniza (g/100 g)	1.0
Calcio (mg/100 g)	8.0
Fosforo (mg/100 g)	55.3
Hierro (mg/100 g)	1.2
Caroteno (mg/100 g)	1.6
Tiamina (mg/100 g)	0.1
Riboflavina (mg/100 g)	0.03
Niacina (mg/100 g)	1.70
Ácido ascorbico (mg/100 g)	43.0

Fuente: Ramadan y Mörsel, (2004).

2.1.4 Uso del aguaymanto

En Perú, la Uchuva es conocida como el Aguaymanto, uva del monte, capulí o tomate silvestre, el Perú se considera como un centro de biodiversidad más importante del mundo y gracias a las cordilleras de los Andes ha ayudado a encontrar diversos ecotipos de aguaymanto, sin embargo el país recientemente empezó a comercializar, y cultivan en zonas como Cajamarca, Cuzco, Huancayo, La Libertad y Ancash principalmente para la importación con mira a exportar (Zapata, Saldarriaga, Londoño y Díaz, 2002)

El aguaymanto es un fruto nativo peruana que crece en lugares cálidos cerca a los andes, por otro lado la demanda local, nacional y extranjera va en aumento ya sea como materia prima o productos transformados (Araújo, 2005)

Según superintendencia nacional de Aduana y de administración (SUNAT, 2017) el aguaymanto ha llegado a importantes mercados en la Unión Europea, y en los Estados Unidos; los principales consumidores son Inglaterra y Alemania; actualmente se cultivan en Colombia, Bolivia, Ecuador, California, Sudáfrica, Australia, Kenia, etc.

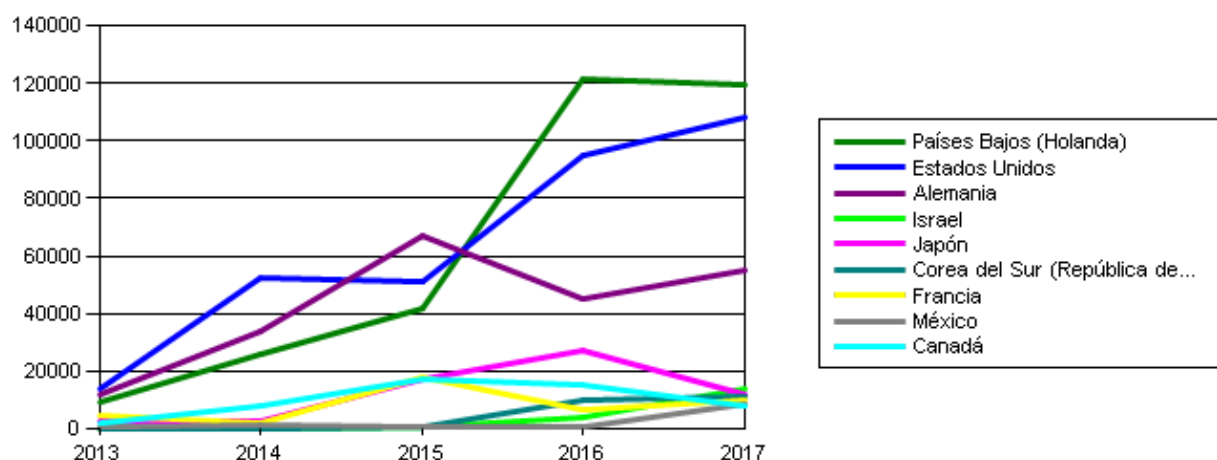


Figura 3. Exportación del producto aguaymanto 2013-2017

Fuente: (Sierra exportadora, 2013).

Tabla 2. Principales mercados

Principales mercados	
Mercado	Participación de mercado
Países bajos	31.65%
Estados Unidos	28.69%
Alemania	14.69%
Israel	3.66%
Japón	3.11%
Otros	18.20%
Mundo	100%

Fuente: (SUNAT, 2017)

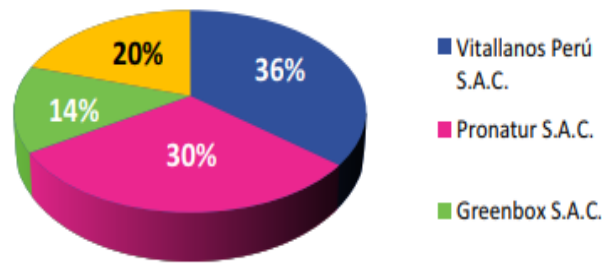


Figura 4. Principales empresas exportadoras

Fuente: (SUNAT, 2017)

Según SUNAT (2017), las zonas con mayor producción son Ancash, Cajamarca y Cuzco en el cual se produce todo el año. El aguaymanto se consume de maneras distintas: en conservas, como néctar, mermelada, yogurt, helado, en extracto, fruto fresco, scack, pulpa congelada y de forma medicinal.

- La mermelada de aguaymanto tiene un sabor agri-dulce con frutos enteros, partidos o licuados de color amarillo intenso.
- La pulpa de aguaymanto congelado es una forma de conservar el valor nutricional por más tiempo.
- El néctar de aguaymanto es refrescante, aporta con energía de la naturaleza para el mantenimiento del cuerpo.
- El aguaymanto deshidratado es un producto procesado por diferentes métodos de secado, lo que permite conservar las propiedades nutricionales del fruto.

2.2 Deshidratación osmótica (DO)

2.2.1 Principios y fundamentos

El proceso de deshidratación osmótica se caracteriza por presentar dos etapas: una dinámica y otra en equilibrio, en la etapa dinámica las velocidades de transferencia de materia disminuye hasta que se alcanza el equilibrio, y el proceso osmótico termina cuando se alcanza este equilibrio, es decir, cuando la velocidad neta de transporte de materia se anula (Della Rocca, 2010). Esto quiere decir, que la deshidratación osmótica consiste en la inmersión de

un alimento sólido, entero o en piezas, en soluciones acuosas de alta concentración en solutos (hipertónicas) a un tiempo y temperatura específica (Vega *et al.*, 2007). La fuerza impulsora para la difusión del agua desde los tejidos a la solución es la diferencia de actividad acuosa (presión osmótica) entre el alimento y la solución. Los medios de deshidratación son generalmente soluciones acuosas concentradas de un azúcar o una sal o mezclas de diversos azúcares y/o sales. Tanto la magnitud de este fenómeno como la pérdida de agua dependen de las características del producto alimenticio: forma, tamaño, estructura, composición y tratamiento previo (pelado, escaldado, tratamiento de la superficie); de la solución: tipos de solutos, concentración de los mismos y de las condiciones de proceso: temperatura, grado de agitación de la solución, presión de trabajo y relación masa de solución a masa de producto (Della Rocca, 2010) .

2.2.2 Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica

La transferencia de masa durante la deshidratación osmótica ocurre a través de las membranas y paredes celulares. El estado de las membranas celulares puede variar de parcialmente a totalmente permeable. Este fenómeno puede llevar a cambios significativos en la arquitectura de los tejidos. Durante la remoción osmótica de agua de los alimentos, el frente de deshidratación se mueve desde la superficie que está en contacto con la solución hacia el centro. El esfuerzo osmótico asociado puede resultar en la desintegración celular. La causa más probable del daño celular puede atribuirse a la reducción de tamaño causada por la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica, resultando en la pérdida de contacto entre la membrana celular externa y la pared celular (Rastogi, Raghavarao, Niranjan y Knorr, 2002).

2.2.3 Sabor y aroma

El sabor es uno de los indicadores de calidad más importantes de una fruta y un factor decisivo en la elección de compra el consumidor. Los compuestos aromáticos al someterse al tratamiento térmico para su deshidratación, la calidad, en términos de sabor y aroma se reduce debido a la pérdida de los compuestos volátiles más importantes que forman el aroma, produciendo el desarrollo de un sabor excesivamente fuerte (Ochoa *et al.*, 2013). Una combinación adecuada de las técnicas de deshidratación sería interesante para reducir los

cambios indeseables que ocurren, como resultado de la operación de secado, y para mejorar la eficiencia del proceso. Un ejemplo podría ser la aplicación de una etapa de deshidratación osmótica, seguido de secado con aire caliente, con y sin la aplicación de energía de microondas. Mediante la combinación de estas técnicas, todo el proceso se ve favorecido por las numerosas ventajas proporcionadas por cada uno de ellos (Dermesonlouoglou, Giannakourou y Taoukis, 2007).

2.2.4 Agentes 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 probados (Hawkes y Flink, 1978). 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 (Chavan, 2012).

2.2.5 Concentración de la solución osmótica

La pérdida de agua y la velocidad de secado aumentan con el incremento de la concentración de la solución osmótica, ya que la actividad de agua de la solución decrece con un aumento en la concentración de solutos

Con el incremento en la concentración de la solución se forma una capa de soluto sobre la superficie del producto que actúa como barrera reduciendo la pérdida de nutrientes y, a muy altas concentraciones, pueden dificultar también la pérdida de agua (Saurelt, Raoult, Ríos y Guilbert, 1994) Cuando se utilizan mezclas de sacarosa y sal la fuerza impulsora para la transferencia de masa aumenta al bajar la actividad de agua de la solución. Además, como se mencionó anteriormente, se forma una capa de sacarosa sobre la superficie del producto que impide la penetración de sal en el producto y permite mejorar la pérdida de agua sin afectar tanto el sabor (Tonon, Baroni y Hubinger, 2007)

2.2.6 Transferencia y modelamiento de masa durante la osmodeshidratación

El modelado de la deshidratación osmótica resulta complejo debido a que en el sistema existen dos flujos opuestos y simultáneos de solvente y soluto en condiciones alejadas del equilibrio, a la vez que el producto se encoje y deforma durante el proceso. Los modelos más frecuentemente utilizados para describir este proceso vinculan la variación de la pérdida de agua y la ganancia de sólidos con otras variables del proceso (Zecchi, 2005). Como señalamos anteriormente, la deshidratación osmótica es un proceso de remoción parcial de agua por contacto directo del alimento con un medio hipertónico. Esta remoción se basa en el fenómeno natural no destructivo de la ósmosis, a través de las membranas celulares. A través de flujos de materia que ocurren durante el proceso. 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 soluto del medio hacia el tejido alimentario (Zapata, Carvajal y Ospina, 2002)

Por lo que la deshidratación osmótica es un proceso de transferencia de masa por contradifusión molecular; es decir, la difusión de agua está acompañada por una simultánea difusión, en sentido contrario, de solutos de la solución al tejido (Figura 5).

A través del control de la concentración de la solución y del peso molecular del soluto se puede inducir bien a una deshidratación osmótica. Usando altas concentraciones de soluto (generalmente de 50 a 80%), el agua sale del alimento hacia el medio osmótico; es decir se logra una deshidratación. Junto con el agua, algunos solutos naturales tales como ácidos orgánicos, azúcares reductores, minerales, pigmentos, entre otros, pueden también fluir desde el tejido vegetal hacia la solución (Figura 5). La mayor tasa de transferencia de agua, desde el tejido hacia el medio ocurre hasta las 2 a 3 primeras horas de inmersión. Después, la diferencia en el contenido de agua entre el producto y la solución osmótica tiende a cero, hasta que eventualmente alcanza un estado de equilibrio dinámico de transferencia molecular. En las últimas etapas del proceso, la ganancia de sólidos, no obstante, continúa debido a que el gradiente de concentración es todavía muy alto (Zapata y Montoya, 2012)

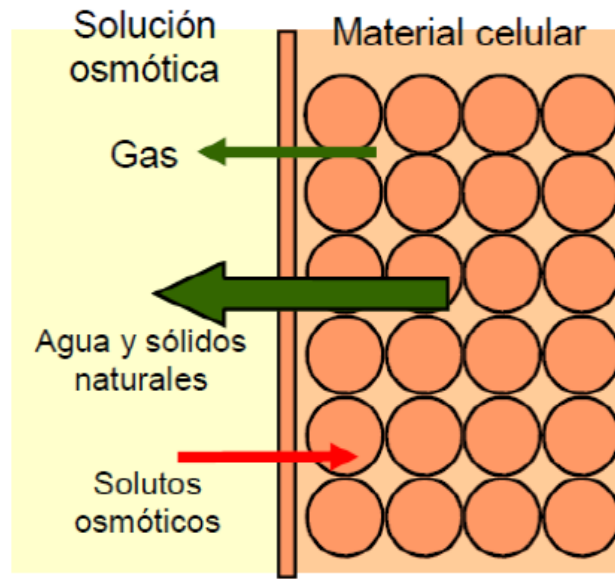


Figura 5. Transferencia de masa

(Shi y Le Maguer, 2007)

2.2.7 Sacarosa

Como agente osmótico de mayor utilidad es la sacarosa debido a su eficiencia, conveniencia y sabor agradable, su uso mayormente es para frutas, siendo también un inhibidor de polifenol oxidasa, evitando la pérdida de sabores volátiles y la mayoría de las membranas celulares son permeables a ellas (**Figura 6**) (Yupanqui, 2010). La impregnación de la solución de sacarosa favorece al aumento de sustancias que permitan la conservación de los atributos de calidad (Sanjinez, Branco, Takito y Corbari, 2010).

La sacarosa se encuentra en verduras y en mayor cantidad en frutas, pero se obtiene de la caña de azúcar, en producto transformado se encuentra el azúcar blanco y moreno que son esencialmente sacarosa constituida por la unión de una molécula de glucosa y una de fructosa (Azcona, 2010). Según Azcona (2010) “el poder edulcorante de un azúcar se determina a través de la relación con la sacarosa, el azúcar en referencia a una solución de 30g/L A 20°C se le asigna el poder edulcorante =1”. La Tabla 3 se muestra el poder edulcorante de los diferentes azúcares, sin embargo se observa que la sacarosa y el xilitol tienen el mismo poder edulcorante (Azcona, 2010).

Tabla 3. Poder edulcorante

Azúcares	Poder edulcorante
Lactosa	0.25
Galactosa	0.30
Sorbitol, manitol	0.50-0.60
Glucosa	0.70
Sacarosa	1.00
Xilitol	1.00
Fructosa	1.10-1.30

Fuente: Azcona, 2010.

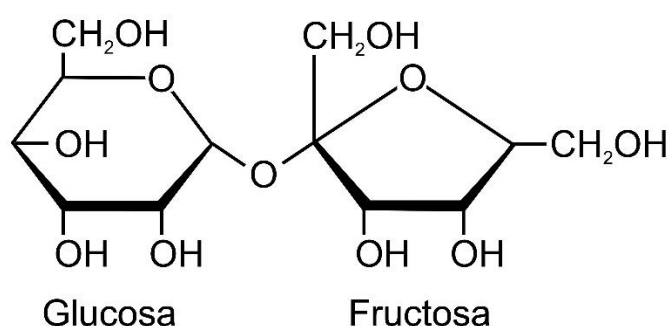


Figura 6. Molécula de sacarosa.

2.2.8 Xilitol

Los polioles o polialcoholes se pueden clasificar en alditoles e inositoles o cilitoles, asimismo son hidratos de carbonos utilizados como sustitutos de los azúcares debido a su sabor dulce y bajo poder calórico, además son considerados como edulcorantes nutritivos que son producidos por hidrogenación catalítica del azúcar reductor apropiado, los polioles que son reducidos por monosacáridos, en la actualidad son importantes en la industria alimentaria, utilizados como adulcorantes; dependiendo de cuál sea el azúcar se puede obtener: glucosa \rightarrow sorbitol, xilosa \rightarrow xilitol, manosa \rightarrow manitol. (Pérez, 2014)

El xilitol es un polialcohol (Figura 7) por la hidrogenación de la xilosa que son carbohidratos derivados que contienen hidroxilos que son hidróscopicos, que son solubles en agua y en soluciones de alta concentración, pero presentan viscosidad relativamente baja, sin embargo son usados en la industria de alimentos como agentes de regulación de viscosidad, de retención de humedad,

de reducción de actividad de agua y de control de cristalización, además se usan para conservar y promover las propiedades mecánicas y de rehidratación y como vehículo de aroma y sabor (Wais, 2011).

En la Tabla 4, el xilitol es bajo en calorías, el mismo es de 2.4 kcal/g y los hidratos de carbono 4 kcal/g, es por ello que el xilitol no cuenta con los grupos aldehídos, son menos reactivos que los azúcares presentando una estabilidad de calentamiento (Della Rocca, 2010).

Tabla 4. Características de polioles y azúcares

Sustancia	Poder endulzante	Valor energético
Polioles		
Manitol	0.6	1.6
Lactitol	0.3	2.0
Isomaltol	0.4-0.6	2.0
Xilitol	1	2.4
Sorbitol	0.5	2.6
Maltitol	0.8	3.0
Azúcares		
Xilosa	0.7	4.0
Glucosa	0.5-0.8	4.0
Fructosa	1.2-1.5	4.0
Lactosa	0.2	4.0
Sacarosa	1	4.0

Fuente: Branen y Davidson (2001)

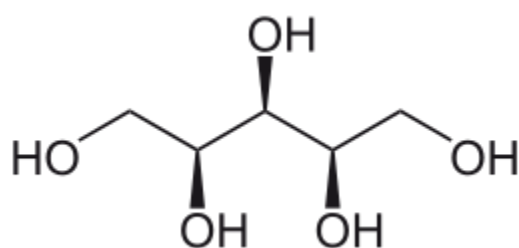


Figura 7. Molécula de xilitol

Wais (2011) describe al xilitol como un poliol de sabor dulce, lo considera como un sustituto de la sacarosa ya que el poder edulzante es 1, y es bajo en valor energético mismo de 2.4 kcal/kg inferior a los hidratos de carbono. Según Pérez (2014) el xilitol presenta hidrofilia por la gran presencia de hidroxilo hace que la mayoría de polioles alditoles son solubles en la saliva, tales se considera al xilitol, eritritol y sorbitol como lo alditoles más

hidrófilos que pueden compartir con las moléculas de agua por la hidratación de biomoléculas.

“Los polioles están considerados dentro de la normativa de aditivos alimentarios de la Unión Europea (Reglamento (CE) 1333/2008). La lista Europea de aditivos incluye: sorbitol (E420), manitol (E421), isomalt (E953), maltitol (E965), lactitol (E966), xilitol (E967), y eritritol (E968). Cuando se consume en cantidades excesivas, los alcoholes de azúcar pueden causar diarrea si la parte no absorbida se encuentran en el intestino grueso donde se unen con agua y están sujetos a la fermentación por las bacterias del colon. Esto resulta en un efecto laxante, flatulencia y diarrea. Por eso es necesaria la advertencia «un consumo excesivo puede tener efectos laxantes»; en todos los alimentos que contengan más del 10% de polialcoholes añadido”(Diario oficial, U. E, 2008)

2.2.9 Efecto de los agentes

- **En la salud:**

El índice glucémico (IG) clasifica a los alimentos según la capacidad para aumentar la concentración de glucosa en la sangre, asimismo “la carga glucémica (CG) global de la dieta, incluyendo la cantidad de carbohidratos y el IG de un alimento, es principalmente una medida de la cantidad y la calidad aparente de los hidratos de carbono en el producto alimenticio y tiene unidades de peso (g)” (Nantel, 1999). El índice insulinémico (II) se generan en condiciones similares a las de IG sustituyendo la medida de la glucosa con la medida de la insulina que tienen un importe fundamental en el metabolismo anormal de los carbohidratos.

Los alimentos que tienen la CG tienen el mismo impacto en la respuesta de glucosa en sangre y en la diabetes es el principal objetivo (Jenkins et al., 2002). La sacarosa es un hidrato de carbono que en la mayoría se sustituye por polioles en productos alimenticios. Según Livesey (2003) en un estudio realizado concluyó que las respuestas a todos los polioles son inferior a la sacarosa (Tabla 5). Según la European Food Safety Authority (2011) mencionan que las respuestas glucémicas y insulinémicas tras el consumo de los alcoholes de azúcar son muchos más bajos en comparación de la sacarosa en una base de peso en sujetos sanos y diabéticos cuando se consume en forma líquida en dosis entre 10 y 50 gr.

Tabla 5. Índice glucémico (IG) e índice insulinémico (II) de los polioles.

	Eritritol	Xilitol	Sorbitol	Sacarosa	Glucosa
IG	0	13	9	65	100
II	2	11	11	43	100

Autor: Pérez (2014)

Según Milgrom *et al.* (2009) mencionan que el sorbitol reduce significativamente la incidencia de las caries en comparación de la sacarosa, por lo contrario cuando se compara con el xilitol se puede observar que es aún más débil, esto se debe a la presencia de algunas cepas de *Streptococcus mutans* que por cierta naturaleza es fácilmente convertible en glucosa y fructosa que se pueden transformar en sustratos para microorganismos cariogénicos. Mäkinen *et al.* (1996) indica que el eritritol parece inhibir el crecimiento de estas cepas de *S. mutans* que cuya efectividad es parecida al xilitol y se consideró como no cariogénico en los seres humanos; también se sugiere que la combinación de eritritol y xilitol pueden llegar a ser potencialmente limitante de caries.

- **En la industria alimentaria:**

El azúcar tiene diferentes funciones en la industria alimentaria, más allá de sus propiedades edulcorantes, también ayuda a la textura, afecta el volumen, la suavidad; además afecta el color del producto mediante la caramelización y la reacción Millard, es por ello que los polioles toman importancia en la sustitución del azúcar ya que algunos cuentan con efectos similares (Pérez, 2014).

a) Panadería

Mediante Frye y Setser (1992) estudiaron la textura de los pasteles con “6 agentes: sorbitol, una mezcla de hidrolizados de almidón hidrogenado, lactitol, isomalta, maltodextrina y polidextrosa en combinaciones para sustituir total o parcialmente la sacarosa. El sorbitol a nivel de 100% resultó menos seco en boca en comparación con la polidextrosa K, mientras que una menor sequedad prolongada ocurrió a partir de la mezcla de la polidextrosa con maltodextrina, sorbitol o isomalta”.

Por otro lado Lin, Hwang y Yeh (2003) analizaron el efecto de sustitución al 25, 50%, 75 y 100 % de sacarosa con eritritol “en las características físicas y sensoriales de la torta de chifón, por lo que la estructura física se vio afectada significativamente en el volumen y contenido de humedad, además se observó que a medida que la cantidad de eritritol aumentaba el color de la corteza disminuía”. Sin embargo otro estudio dado por Ronda, Gómez, Blanco y Caballero (2005) donde también evaluaron la sustitución parcial de la sacarosa en bizcochos con 7 agentes (maltitol, manitol, xilitol, sorbitol, isomaltosa, oligofructosa y polidextrosa), se preparó un bizcocho con sacarosa como control. “Los bizcochos con polioles siempre mostraron un menor volumen específico aunque el xilitol y sorbitol tuvieron un volumen específico comparable a los de sacarosa, los bizcochos con sorbitol, maltitol y xilitol mostraron propiedades de textura muy cerca de las tortas de control. De acuerdo a la evaluación sensorial se observó que en relación con la dulzura, los bizcochos elaborados con xilitol eran más cercanos a los controles, seguido por aquellos hechos con maltitol o sorbitol, mientras que las tortas de manitol fueron los menos favorecidos”.

b) Galletas

Zoulias, Piknis y Oreopoulou (2000) observaron el efecto de sustitución de azúcar por polioles en galletas como sustituto de 35% del contenido de grasa, “con la sustitución de sacarosa por fructosa y polioles, la masa podía ser manejada y laminada para formar galletas fácilmente. Las galletas con manitol eran muy firmes y mostraron valores altos de dureza y consistencia, mientras que las durezas y consistencias más bajas fueron presentadas por xilitol seguido de sorbitol, lactitol y sacarosa”.

A través del estudio por Winkelhausen, Jovanovic-Malinovska, Velickova y Kuzmanova (2007) analizaron la calidad sensorial y microbiológica de las galletas utilizando xilitol como único sustituto de la sacarosa, y se “encontró que las galletas de xilitol tenían el mismo dulzor que las galletas de sacarosa pero con un poco de retrogusto (sensación refrescante). Se concluyó que las galletas con xilitol se pueden almacenar durante más tiempo sin cambio en su sabor original y atributos de textura. Se llevó a cabo la evaluación microbiológica de las galletas de xilitol. Después de 7-8 meses de almacenamiento, el número de las células viables aeróbicas totales en todas las muestras investigadas era aceptable”.

c) Chicles

Los chicles son azúcar son comúnmente reemplazados, por los años 1970, por el polvo sorbitol que se mezcla con el jarabe de maltitol y se adiciona en la fase líquida el aspartamo que se utiliza para aumentar la dulzura, además se usaba el manitol en pequeñas cantidades para inhibir la cristalización (Pérez, 2014); hoy en día la fórmula sin azúcar es remplazado por xilitol es también utilizado comúnmente en la goma de mascar, ya que tiene el mayor efecto refrescante de todos los polioles disponibles y es también esencial para productos con sabor a menta (Zumbé, Lee y Storey, 2001).

2.3 Modelo matemático en la etapa de osmodeshidratación

2.3.1 Modelo fenomenológico

No explica el mecanismo de transferencia de materia mediante un modelo físicoquímico, sino que intenta relacionar la pérdida de agua, la ganancia de soluto y la variación de volumen con las condiciones operativas por medio de relaciones muy simples. Las relaciones obtenidas son del tipo:

$$PP = K_w(t)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$GS = K_s(t)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec. 2})$$

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, Karathanos y Maroulis, 1998)

2.3.2 Modelo micro –estructural:

Los modelos más simplificados consideran difusión en un sistema homogéneo. Se trata de modelos analíticos que aplican la segunda ley de Fick unidimensional expresada en la Ecuación 3:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + a \frac{D}{x} \frac{\partial C}{\partial x} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde **C** es la concentración, **D** el coeficiente de difusión efectivo, **x** la coordenada de posición y **a** un índice geométrico que vale 0 para placa plana, 1 para cilindro infinito y 2 para esfera.

La solución analítica de esta ecuación diferencial está limitada a geometrías regulares simples y presenta la forma de una serie infinita dependiente del tiempo, de la cual suele utilizarse sólo el primer término (Ochoa y Ayal, 2005)

En la mayor parte de los casos se define – en el modelado – o se regresa – desde datos experimentales – un coeficiente de difusión para cada sustancia. Este es necesariamente un coeficiente “efectivo” **D_{ef}**, es decir, que involucra la corrección del coeficiente de difusión de la sustancia en un medio homogéneo **D** por los factores estructurales (definidos generalmente por la porosidad **ε** y la tortuosidad **Ω**) (Arias, Perea, & Zapata, 2017)

El modelo de transferencia de materia aplicado en el presente trabajo de tesis estará basado en la difusión independiente de agua y solutos en la fase sólida, y se considerará que el alimento sólido es isotrópico y no se encoge. Asumiendo además que: no ocurren reacciones químicas y el transporte molecular es unidireccional, la expresión que gobierna el fenómeno en estado no estacionario en materiales porosos es la ecuación que deriva de la segunda Ley de Fick.

Bird, Stewart y Lightfoot (1992) desarrollaron una fórmula general de la Segunda Ley de Fick para analizar la difusión en estado no estacionario en materiales porosos simétricos

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{X^{n-1}} \frac{\partial}{\partial X} \left[X^{n-1} D \left(\frac{\partial C}{\partial X} \right) \right] \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde: t = tiempo; **n-1 = a** donde n es un índice geométrico que vale 1 para placa infinita, 2 para cilindro infinito y 3 para esfera; **X** = es la distancia medida desde el centro del material sólido y **C** = contenido de agua o sacarosa.

Contemplando como geometrías una placa infinita y una esfera, la ecuación de difusión describe el transporte de uno de los solutos (ya sea la pérdida de los solutos naturales inicialmente presentes en el alimento y el ingreso de solutos de la solución osmótica) hacia el alimento y la transferencia de agua que sale del alimento (Rastogi *et al.*, 2002).

2.3.2.1 *Modelo según la ley de Fick.*

La solución de la Ecuación promediada en el volumen, considerando que hay algo de soluto inicialmente presente en el sólido (fruta), puede escribirse:

Esfera:

$$M_R = \frac{M_t - M_\infty}{M_0 - M_\infty} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(\frac{-De_w \pi^2 t}{R^2}\right) \quad (\text{Ec. 4})$$

$$S_R = \frac{S_t - S_\infty}{S_0 - S_\infty} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(\frac{-De_w \pi^2 t}{R^2}\right) \quad (\text{Ec. 5})$$

Dónde: M_R y S_R son las proporciones de humedad y de soluto (sacarosa), respectivamente; los subíndices 0, ∞ y t representan las concentraciones iniciales, en equilibrio y a cualquier tiempo; De_w y De_s son los coeficientes de difusión efectivos (m^2/s) de agua y soluto respectivamente, R el radio de la esfera (m) y t el tiempo (segundos).

2.3.2.2 *Modelo de Azuara.*

Este modelo que se utilizará, es desarrollado por Azuara, Cortes, Garcia y Beristain (1992), está basado en el cálculo de coeficientes de difusión para cada tiempo de deshidratación. En este modelo, los autores realizaron un balance de masa sobre el movimiento de agua dentro del alimento, obteniéndose la siguiente expresión de la velocidad de pérdida de agua PA:

$$PA_t = PA_\infty - PA_m \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde PA_m es el agua capaz de difundirse que permanece en el alimento en un tiempo t .

Como la pérdida de agua es función del agua que es capaz de difundirse y del tiempo (si se tienen la concentración de la solución osmótica y la temperatura constantes), entonces:

$$PA_t = S_1 t PA_m \quad (\text{Ec. 7})$$

Reemplazando y reorganizando se obtiene:

$$PA_t = \frac{S_1 t PA_\infty}{1 + S_1 t} \quad (\text{Ec. 8})$$

Haciendo un tratamiento similar, se obtiene la expresión para la ganancia de sólidos:

$$GS_t = \frac{S_2 t GS_\infty}{1 + S_2 t} \quad (\text{Ec. 9})$$

Dónde: PA_∞ es la fracción de pérdida de agua en el equilibrio, GS_∞ es la fracción de ganancia de sólidos en el equilibrio, S_1 y S_2 son parámetros que pueden definirse como constantes de velocidad relativas a la pérdida de agua y a la ganancia de sólidos respectivamente, y t es el tiempo.

Linealizando las expresiones se obtienen:

$$\frac{t}{PA_t} = \frac{1}{S_1 PA_\infty} + \frac{t}{PA_\infty} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$\frac{t}{GS_t} = \frac{1}{S_2 GS_\infty} + \frac{t}{GS_\infty} \quad (\text{Ec. 11})$$

Utilizando los valores calculados de PA y GS obtenidos de los datos experimentales para cada tiempo de proceso estudiado, la pérdida de agua en el equilibrio (PA_∞) y la constante S_1 fueron estimados de la pendiente e intercepción del gráfico t/PA vs t , mientras que la ganancia de sólidos en el equilibrio (GS_∞) y la constante S_2 fueron determinados de la pendiente e intercepción del gráfico t/GS vs t .

Esfera:

$$(De_w)_t = \frac{\pi t}{36} \left[\left(\frac{S_{WL} r}{1 + S_{WL} t} \right) \left(\frac{M_{\infty}^{cal}}{M_{\infty}^{exp}} \right) \right]^2 \quad (\text{Ec. 12})$$

$$(De_s)_t = \frac{\pi t}{36} \left[\left(\frac{S_{SG} r}{1 + S_{SG} t} \right) \left(\frac{S_{\infty}^{calc}}{S_{\infty}^{exp}} \right) \right]^2 \quad (\text{Ec. 13})$$

Los valores de s_{∞}^{calc} y M_{∞}^{calc} corresponderán a la ganancia de sólidos y pérdida de agua en equilibrio calculados a partir de las expresiones; y s_{∞}^{exp} y M_{∞}^{exp} corresponden a valores experimentales de ganancia de sólidos y pérdida de agua en equilibrio tomados luego del proceso de deshidratación.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

La investigación se ejecutó en el Centro de Investigación de Tecnología de Alimentos (CITAL) y en Centro de Investigación de Ciencia de Alimentos (CICAL), pertenecientes a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, Lima – Perú.

3.2 Materiales e insumos

3.2.1 Materia prima

Se utilizó aguaymanto en estado de madurez comercial, procedente de la provincia de Huánuco y obtenida en el mercado de Ceres-Ate, este fruto fue elegido por su disponibilidad y forma esférica (tamaño mediano-grande), la fruta se conservó a 5 °C hasta su uso. Se seleccionó en un solo tamaño para tener como factor independiente la geometría esférica del producto.



Figura 8. Fruto de aguaymanto

3.2.2 Materiales

- Balanza de reloj, marca Escorpión, modelo Levis, código 105.
- Probeta graduada de 100 y 500 ml marc Fortuna ± 2.5

3.2.3 Equipos

- Refractómetro digital código RHB-80, medidas 0-32
- Refractómetro digital código RHB-81, medidas 30-60
- Estufa esterilizadora. Marca: Memmert, modelo: UN200, serie: C2100706
- Termoagitador orbital, marca: Elmi, MO: SHAKER S-3
- Potenciómetro, serie: 0916/10638, marca: Lovibond
- Aqualab, serie:11028348, medidor de actividad de agua
- Pie de rey, marca vernier calipers, serie:150*0.02mm
- Balanza analítica marca pionner, 210 gr*0.1 mg, modelo OHAUS, código: 8032461036.

3.2.4 Reactivos

- NaOH 0.1 N
- HCL 15%
- Fenolftaleína
- Ácido cítrico 35 gr.

3.2.5 Agentes

Se utilizó dos agentes deshidratantes, que difieren básicamente en su peso molecular (PM) y poder edulcorante, además de su costo y las posibilidades de formulación que ofreció: sacarosa y xilitol.

3.3 Proceso de osmodeshidratación

El diseño experimental aplicado fue un factorial completo 2 x 2 x 3 (A x B x C), para la deshidratación osmótica (DO), que comprendió 2 tipos de agentes osmóticos (sacarosa y xilitol), 2 niveles de concentración del agente osmótico (20 y 40 °Brix) y 3 niveles de temperaturas (20, 30 y 40 °C). El pelado químico se realizó según Rossi, Fuentes, Pardo, Reyes y Urbina, (2012) con NaOH, la relación fruta/solución fue de 1:4, que permitió generar una alta presión osmótica sobre el fruto y logró mayor transferencia de masa durante el proceso.

La DO se llevó a cabo en un agitador orbital, los frutos previamente se pesaron, y se colocaron en envases plásticas, capacidad 2 L, en ello se incorporó la solución deshidratante a la temperatura de trabajo correspondiente, con agitación de 120 rpm. Cada tratamiento de DO se realizó por triplicado. Una vez finalizada la DO, las muestras se colocaron sobre papel absorbente para remover la solución adherida en la superficie del fruto y se registró el peso del producto osmotizado a los distintos tiempos.

La evolución de la transferencia de masa durante el proceso (*Figura 9*) fue monitoreada a través de la variación en el tiempo de la pérdida de peso (PP), pérdida de agua (PA) y ganancia de sólidos totales (GS).

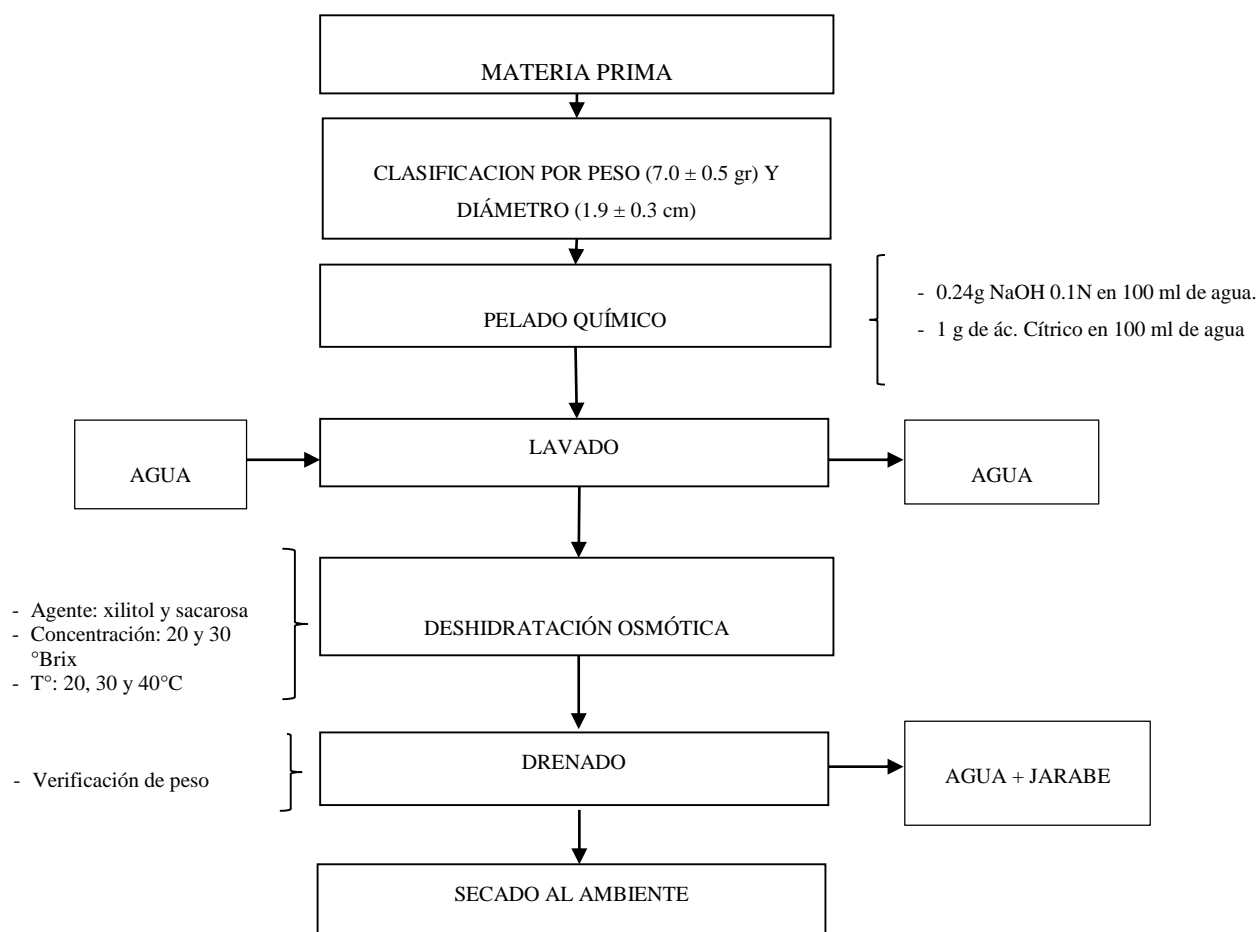


Figura 9. Flujo de operaciones para obtener aguaymanto osmodeshidratado.

Etapas del proceso:

1) Selección de la fruta

La selección se realizó teniendo en cuenta el grado de madurez, características de tamaño y peso, relativamente homogéneas para el proceso.

2) Pelado químico

El pelado químico comenzó calentando el agua a 70 °C, luego se adicionó 0.24 g de NaOH 0.1 N en 100 ml de agua, una vez disuelto el NaOH se vierte el aguaymanto por 2 minutos.

3) Escurrido

En un recipiente aparte se disolvió 1 g de ácido cítrico en 100 ml de agua, cuando el aguaymanto paso por NaOH de manera inmediata se enjuagó con el ácido cítrico ya que se “considera un acidificante natural que provee acidez uniforme, en las frutas y verduras procesadas ayuda a optimizar el sabor, y funciona como un antioxidante para inhibir el deterioro del color y sabor debido a las reacciones enzimáticas”(Sierra, 2010).

4) Inmersión

La inmersión se realizó en una relación 1:4 (muestra/ solución), la muestra se llevó a 120 rpm y se controla peso y °Brix a los 0, 30, 60, 120, 180 y 240 min.

La agitación de la solución permitió homogenizar la temperatura y la concentración de solutos, como consecuencia aumenta la velocidad de deshidratación ya que la agitación ayuda a que el fruto esté en contacto con la solución (Parzanese, 2010).

5) Drenado

El drenado consistió en secar el aguaymanto después de la inmersión y antes del pesado.

6) Pesado

En cada tiempo indicado, se realizó el pesado en una balanza analítica, de capacidad 210 g \pm 0.1 gr

3.4 Métodos de análisis

3.4.1 Análisis físico-químico

- a) **Sólidos solubles:** Se determinó por el método refractométrico a 20 °C (A.O.A.C, 1995)
- b) **pH:** Se determinó por el método potenciométrico (A.O.A.C., 1995)
- c) **Acidez titulable:** Se determinó por el método de titulación visual con NaOH 0.1 N (A.O.A.C., 1995)
- d) **Índice de madurez:** Se determinó con la relación entre los sólidos solubles y la acidez titulable. (Alvines, 2006)

3.4.2 Humedad (%)

El contenido de agua en la materia prima fue determinado por triplicado en una estufa a 105 °C (A.O.A.C., 1995) hasta alcanzar un peso constante. El agua evaporada se calculó a partir de la diferencia de peso de la muestra antes y después de ser sometida al secado, la cual se determinó con una balanza analítica. Para las muestras deshidratadas se calculó la fracción másica de agua a partir de la humedad analizada en el producto fresco y luego para cada tiempo de deshidratación, según la ecuación. (Arballo, Campañone, y Mascheroni, 2010)

$$H\% = \frac{m_t - m_{seca}}{m_t} * 100 \quad (\text{Ec. 15})$$

Dónde: H%: contenido de agua para cada tiempo de deshidratación considerado (%); m_t : peso de la muestra fresca (g); m_{seca} : peso de la muestra seca (g).

3.4.3 Pérdida de peso (PP):

Se calculó en una balanza semianalítica a partir de la diferencia de peso de muestra antes y después de cada tiempo de tratamiento. (Arballo *et al.*, 2010)

$$PP(\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} * 100 \quad (\text{Ec. 16})$$

Dónde: PP: pérdida de peso de producto deshidratado (%); m_i : masa inicial de la muestra fresca y m_f : masa de muestra deshidratada osmóticamente a tiempo t.

3.4.4 Ganancia de sólidos (GS):

Se determinó el contenido en sólidos solubles de las muestras de fruta y de las disoluciones osmóticas, se llevó a cabo empleando un refractómetro. A partir de estos valores experimentales, se evaluó los parámetros cinéticos del proceso de DO (Arballo *et al.*, 2010).

La ganancia de sólidos, o incorporación de azúcares, será calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$GS (\%) = PA - PP \quad (\text{Ec. 17})$$

Siendo: GS = ganancia de sólidos (incorporación de azúcares) (%).

3.4.5 Pérdida de Agua (PA):

Se calculó en términos porcentuales con la siguiente ecuación (Areballo, Campañone, & Mascheroni, 2010):

$$PA (\%) = \left(\frac{m_{w0} - m_{wf}}{m_{w0}} \right) * 100 \quad (\text{Ec. 18})$$

Siendo en la ecuación 18: PA = pérdida de agua del producto deshidratado (%); m_{w0} = masa inicial de agua de la muestra fresca (g) y m_{wf} = masa final de agua de la muestra a cada tiempo de deshidratación (g).

3.5 Modelado de la etapa de deshidratación Osmótica

3.5.1 Modelado fenomenológico

Se empleó el modelo de Biswal y Bozormehr (Ochoa y Ayala, 2005):

$$PP = Kw(t)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec. 19})$$

$$GS = Ks(t)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec. 20})$$

3.5.2 Modelado microscópico-estructural:

En la ecuación 21 se presentó el modelo de Crank, según la ley de Fick (Ochoa y Ayala, 2005):

$$M_R = \frac{M_t - M_\infty}{M_0 - M_\infty} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(\frac{-De_w \pi^2 t}{R^2}\right) \quad (\text{Ec. 21})$$

$$S_R = \frac{S_t - S_\infty}{S_0 - S_\infty} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(\frac{-De_w \pi^2 t}{R^2}\right) \quad (\text{Ec. 22})$$

En la ecuación 23, también se utilizó el modelo Azuara:

$$(De_w)_t = \frac{\pi t}{36} \left[\left(\frac{S_{WL} r}{1 + S_{WL} t} \right) \left(\frac{M_\infty^{cal}}{M_\infty^{exp}} \right) \right]^2 \quad (\text{Ec. 23})$$

$$(De_s)_t = \frac{\pi t}{36} \left[\left(\frac{S_{SG} r}{1 + S_{SG} t} \right) \left(\frac{S_\infty^{calc}}{S_\infty^{exp}} \right) \right]^2 \quad (\text{Ec. 24})$$

Para poder comparar los coeficientes calculados, se estableció el modelo que predijo mejor la difusión de agua y solutos, en este caso la difusividad efectiva del proceso de DO. Para ello se calculó la media aritmética de los valores de difusividad para cada tiempo de deshidratación, y para evaluar los modelos de mejor ajuste se determinó el coeficiente de determinación (R^2), el error estándar del estimado (SEE, RMSE %) y chi-cuadrado (χ^2) (Ortega, Vélez y Ayala, 2016)

$$Error = 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{V_e - V_c}{V_c}} \quad (\text{Ec. 25})$$

$$SEE (\%) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_e - Y_c)^2} \quad (\text{Ec. 26})$$

$$SSE (\%) = \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_c - Y_e)^2 \right|^{1/2} \quad (\text{Ec. 27})$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_e - Y_c)^2}{N - z} \quad (\text{Ec. 28})$$

Donde: V_e : valor experimental, V_c : valor calculado, n : número de puntos experimentales utilizados para el cálculo.

3.6 Ecuación 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:

$$K(T) = A \cdot e^{-E_a/RT} \quad (\text{Ec. 29})$$

$K(T)$, es la constante cinética (dependiente de la temperatura)

A , es el factor pre-exponencial o factor de frecuencia. Refleja la frecuencia de las colisiones.

E_a , es la energía de activación, expresada en J/mol.

R , constante universal de los gases. Su valor es $8,3143 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

T , es la temperatura absoluta [K]

3.7 Parámetros de control

Los cambios fisicoquímicos que se generaron durante la deshidratación osmótica no solo modifican los valores nutricionales sino también la calidad del producto final, es decir varía el color y otras propiedades que se produjeron durante el proceso, es por ello que es necesario evaluar los siguientes parámetros:

3.7.1 Color

El análisis de color permitió detectar ciertas anomalías y defectos, es uno de las cualidades de mayor importancia para el consumidor vinculado en la aceptabilidad del producto. La medición de color se realizó mediante el colorímetro digital donde los parámetros son (Wais, 2011):

L , describió la luminosidad (o el oscurecimiento) y cuyo valor oscilaron entre 0 y 100 (entre negro y blanco respectivamente).

a, representaron los componente rojo-verde del color (o el enrojecimiento), toma de valores positivos para variaciones hacia el rojo y negativos para los que tienden hacia el verde.

b, expresaron los componentes que van de amarilla-azul (o el amarillamiento), adquiriendo valores positivos para variaciones hacia el amarillo y negativos para cambios hacia el azul.

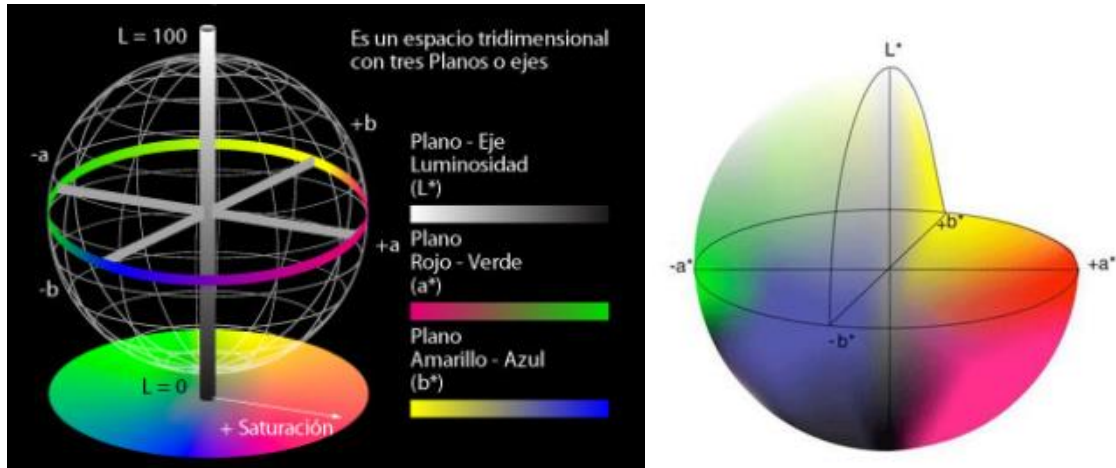


Figura 10. Representación del sistema tridimensional de color.

Las coordenadas cromáticas fueron medidas en un colorímetro, donde se determinó el color de cada muestra deshidratada y luego descongelada comparando cada corrida con la muestra fresca como referencia. Todas las medidas se realizaron sobre fondo blanco y en cuatro zonas diferentes en cada una de las muestras frescas y deshidratadas. Se llevó a cabo 4 mediciones para cada tiempo de deshidratación, y los cálculos posteriores se realizaron tomando un promedio de las mismas. Con el fin de cuantificar los cambios globales de color, se calculó la diferencia de color total, ΔE^* , en las muestras deshidratadas y descongeladas con respecto a las frescas de referencia, quedo definida mediante la expresión:

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2}} \quad (\text{Ec. 30})$$

Los valores de diferencias correspondientes a ΔL^* , Δa^* y Δb^* se obtuvo acorde a las siguientes expresiones:

$$\Delta L^* = L^*_t - L^*_0 \quad (\text{Ec. 31})$$

$$\Delta a^* = a^*_t - a^*_0 \quad (\text{Ec. 32})$$

$$\Delta b^* = b^*_t - b^*_0 \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde el subíndice t representa el valor de L^* , a^* y b^* de la muestra a cada tiempo de deshidratación y 0 de la muestra fresca que fue tomada como referencia.

3.7.2 Actividad de agua

Se determinó mediante el aqualab (Decagon Devices, modelo 3TE, Canadá) a temperatura ambiente (A.O.A.C. 1995).

3.8 Diseño experimental

El diseño experimental escogido fue el diseño factorial $2 \times 2 \times 3$, en la Tabla 6, se muestra el diseño completo, donde las variables estudiadas fueron:

- **Variables independientes:** Agentes, °brix y temperatura.
- **Variable dependiente:** Pérdida de peso, perdida de agua, ganancia de sólidos, actividad de agua y color.

Se aplicó un diseño factorial y se analizó el ANOVA a nivel de significancia del 95 %, al existir significancia se aplicó una comparación de medias con Tukey, todos los datos fueron procesados en el software statistic 13.0.

Tabla 6. Diseño experimental para la DO del aguaymanto.

Tratamiento	Factor A	Factor B	Factor C	Variable respuesta
	Agente	° Brix	Temperatura	
1 (T1)	-1 (Sacarosa)	-1 (20 °Brix)	-1 (20°C)	PP PA GS Aw Color
2 (T2)	-1 (Sacarosa)	-1 (20 °Brix)	0 (30°C)	
3 (T3)	-1 (Sacarosa)	-1 (20 °Brix)	+1(40°C)	
4 (T4)	-1 (Sacarosa)	+1(40 °Brix)	-1 (20°C)	
5 (T5)	-1 (Sacarosa)	+1(40 °Brix)	0 (30°C)	
6 (T6)	-1 (Sacarosa)	+1(40 °Brix)	+1(40°C)	
7 (T7)	+1 (Xilitol)	-1(20 °Brix)	-1 (20°C)	
8 (T8)	+1 (Xilitol)	-1(20 °Brix)	0 (30°C)	
9 (T9)	+1 (Xilitol)	-1(20 °Brix)	+1(40°C)	
10 (T10)	+1 (Xilitol)	+1(40 °Brix)	-1 (20°C)	
11 (T11)	+1 (Xilitol)	+1(40 °Brix)	0 (30°C)	
12 (T12)	+1 (Xilitol)	+1(40 °Brix)	+1(40°C)	

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Características fisicoquímicas de aguaymanto fresco

El aguaymanto es una baya en forma ovoide con un diámetro promedio de 1.7 ± 0.64 cm, con un peso de 8 ± 5.65 gr (*Figura 11*), esta varía de color amarillo al ocre o amarillo naranja cuando se encuentra en estado maduro, la piel es delgada, brillante y recubierta de cáliz (Espinoza, 2016). El diámetro del aguaymanto estudiado presentó 1.9 ± 0.3 cm, valores similares reportados por Velasquez y Velasquez (2017) que indicaron que varía entre 1.88 ± 0.88 cm. En la tabla 7 se observa la clasificación del aguaymanto según el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo [MINCETUR] (2016), donde el fruto utilizado en la presente investigación se encontró en la categoría C, encontrándose dentro de 1.8 a 2.0 cm.

Tabla 7. Clasificación de aguaymanto para su comercialización.

Diámetro (cm)	Categoría	Tolerancia
Menor o igual a 1.5	A	Se admite el 10 % por número o peso de aguaymanto que se encuentre superior a lo requerido.
1.5 – 1.8	B	
1.8 – 2.0	C	
2.0 - 2.2	D	
Mayores o igual a 2.2	E	

Fuente: MINCETUR (2016).

Se presentaron los resultados fisicoquímicos del aguaymanto fresco. Se observó que el peso de las muestras usadas se encuentran con 7.0 ± 0.5 g dependiendo del ecotipo peruano. Galvis, Fischer, y Gordillo (2005) tuvieron en cuenta que el peso del aguaymanto individual difiere según el tamaño, además el peso aumenta mientras se va acercando al estado de madurez, pero cuando el peso es inferior a 1 g se considera al fruto verde.



Figura 11. Tamaño uniforme del aguaymanto a analizar.

La humedad del aguaymanto presentó $80.28 \pm 0.8 \%$, resultados similares reportaron diversos autores como Mendoza, Rodríguez y Millán (2012) quienes registraron una humedad de 75 %, menor al hallado en este trabajo, esta diferencia de porcentajes se puede atribuir a que el fruto se encontró en su estado de madurez comercial y logró retener un porcentaje mayor de agua. Por lo contrario Aparcana y Villarreal (2014) analizaron el aguaymanto fresco de distintos lugares encontrando un promedio de 80.75 % (**Tabla 8**). Según Megías, Gamboa, Soria, Montilla y Villamiel (2008) mencionaron que esta humedad indica la estabilidad del alimento adecuado para su almacenamiento.

Respecto al pH, es uno de los principales factores que afectan al crecimiento bacteriano, es decir mide la acidez o alcalinidad de un alimento, un pH bajo detiene el desarrollo de bacterias y en pH neutros las bacterias pueden desarrollarse. Villalba, Herrera y Orduz (2012) mencionaron que los valores de pH en los alimentos tienen un rango de 1 al 14 y se considera 7 como pH neutro, pH mayores a 7 son alcalinos, por el contrario los valores menores de 7 se consideran ácidos. El aguaymanto presentó un pH de 3.5 ± 0.3 , por lo que es considerado como un alimento ácido (Fisher y Lüdders, 2014). Velasquez y Velasquez (2017) indicaron que a medida que el fruto madura el pH aumenta, esto se debe que las enzimas propias del fruto descomponen la clorofila y endulzan el fruto, encontrando 3.3 de pH para el producto inmaduro, el maduro de 3.7 y pintones en 3.5, los valores de pH se encuentran dentro de lo reportado por diferentes autores que se registran en la **Tabla 8**. Mendoza *et al.* (2012) reafirmaron que la uchuva es una fruta de naturaleza ácida, de bajo pH, alto contenido de vitamina C con un gran potencial para incursionar en nuevos mercados tanto internos como externos. Además, Fisher, Flores y Sora (2000) mencionan que el pH ácido del aguaymanto es adecuado para la producción de los diversos productos como snacks, porque impide el crecimiento de microorganismos patógenos.

La acidez total titulable indica el contenido de ácidos libres, el aguaymanto presentó una acidez de $2.5 \pm 0.7 \%$ (**Tabla 8**), resultados similares registraron Novoa, Bojacá, Galvis y Fisher (2006) que estudiaron el caso de los frutos cítricos, como el aguaymanto reportando $2.75 \pm 1.8 \%$ de acidez. Aparcana y Villarreal (2014) compararon la acidez del fruto procedente de diferentes provincias del Perú, los cuales se presentaron en la **Tabla 8**. Estas variaciones pueden atribuirse a los cambios de color, tamaño y del peso del fruto (*Figura*

12), y a la relación de los sólidos solubles totales con la acidez titulable, además existe un fenómeno con el estado de madurez, donde a mayor estado de madurez la acidez disminuye (Fisher *et al.*, 2000).

El aguaymanto presentó un índice de madurez de 4.5 ± 0.9 , similares valores fueron registrados por Aparcana y Villarreal (2014) que analizaron el índice de madurez de aguaymanto en distintas provincias del Perú. Mendoza *et al.* (2012) mencionan que el aumento del índice se debe porque el fruto esta fisiológicamente desarrollado, y es adecuado para su consumo.

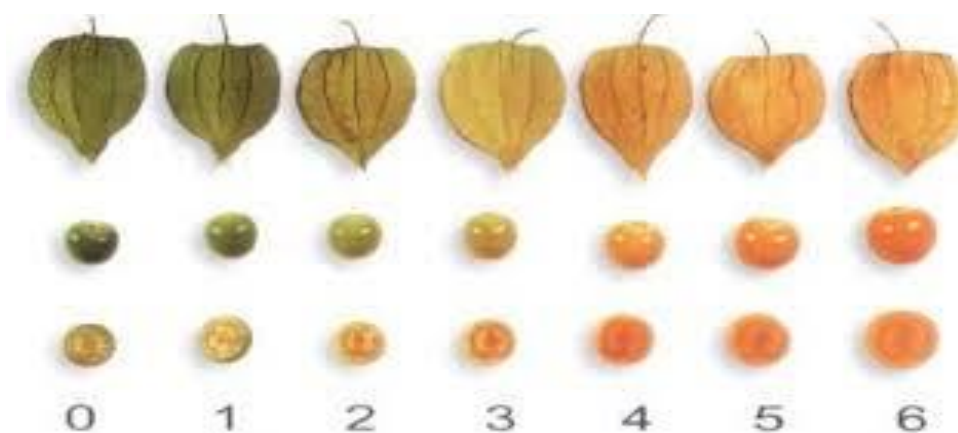


Figura 12. Clasificación por color del aguaymanto durante el proceso de maduración.

(Velasquez y Velasquez, 2017)

El aguaymanto fresco registró 12 ± 0.5 ° Brix, similar a lo encontrado por Restrepo *et al.* (2009) quienes determinaron que el aguaymanto en estado de madurez registro 13.2 ± 0.32 °Brix. Asimismo, en la investigación realizada por Aparcana y Villareal (2014) se encontraron valores de 13.5, 14, 14.2 y 14.3 °Brix en Huánuco, Junín, Ancash y Cajamarca, respectivamente. Además, Velasquez y Velasquez (2017) mencionaron que “el sabor del fruto se determina por los azúcares, ácidos orgánicos y compuestos químicos volátiles presentes en el fruto. Ellos indican que cuando el fruto se encuentra en proceso de maduración, el contenido de azúcares se eleva, los ácidos orgánicos disminuyen, y desciende el contenido de almidón”.

Tabla 8. Análisis fisicoquímicos de la materia prima.

Propiedades fisicoquímicas									
	Autoría propia	Peña, Cortéz y Gil (2015)	Restrepo, Cortéz y Márquez (2009)	Marín, Cortéz y Montoya (2010)	Mendoza <i>et al.</i> (2012)	Aparcana y Villarreal (2014)			
						Huánuco	Junín	Ancash	Cajamarca
°Brix	12 ± 0.5	14.74 ± 0.6	13.80 ± 0.32	-	-	13.5	14	14.2	14.3
Acidez (%)	2.5 ± 0.7	1.65 ± 0.6	2.1 ± 0.26	2.31 ± 0.23	2	2.4	2.59	2.64	2.8
Índice de madurez	4.5 ± 0.9	-	-	-	3.5	4.62	5.4	5.38	5.11
pH	3.5 ± 0.3	5.5	3.39 ± 0.06	3.39 ± 0.07	3.72	4	4	4	4
Humedad (%)	80.28 ± 0.8	79.87 ± 0.73	80.42 ± 0.87	79.5 ± 2.8	75	80.95	80	81.81	80.04

4.2 Transferencia de materia

El desarrollo de la DO se realizó mediante los parámetros de pérdida de peso (PP), pérdida de agua (PA) y ganancia de sólidos (GS), se presentan en las Figuras 13, 14 y 15, respectivamente. Por otro lado imparcialmente del agente osmótico, se observó que la pérdida de agua va en aumento con el tiempo de sumersión del fruto en la solución, esta pérdida es significativamente mayor al flujo de sólidos.

Además, se observó que la rapidez de pérdida de agua fue mayor con la sacarosa durante la primera hora de DO y se redujo al final del proceso, a diferencia del xilitol, donde la pérdida de agua fue lenta, sin embargo, al pasar del tiempo fue aumentando sin poder alcanzar el equilibrio durante los 240 minutos, periodo en que fue realizado la deshidratación osmótica.

4.2.1 Pérdida de peso

Durante el proceso de DO se tiene como variable de análisis el tipo de agente (sacarosa y xilitol), siendo así que el proceso se ve afectado porque los agentes activan una fuerza que origina la transferencia de masa, y durante todo el desarrollo del proceso se puede percibir que a mayor concentración de la solución, mayor fue la pérdida de agua del fruto y mayor la concentración de sólidos, razón por la cual la pérdida de peso es la medida indirecta de la pérdida de agua (Zapata y Montoya, 2012).

En la Figura 13 (a) y (b), el tratamiento con sacarosa a 40 °Brix y 40 °C, y el tratamiento con xilitol a 40 °Brix y 40 °C son los que presentaron mayor porcentaje de pérdida de peso. Según Dávila y López (2005) existe mayor pérdida de peso a mayor temperatura, a causa de que la temperatura acelera la pérdida de peso del fruto. Además, también se considera que a mayor tiempo de deshidratación osmótica, mayor es el porcentaje de la pérdida de peso.

En el presente trabajo la sacarosa tuvo mayor pérdida de peso que el xilitol, esto se debe al alto peso molecular de la sacarosa, ya que durante el proceso de deshidratación osmótica se requiere igualar los potenciales químicos del agua en ambos lados de la membrana de las células del fruto (Zapata y Castro, 1999). Por otro lado, el xilitol se mantuvo constante hasta

una hora de inmersión y agitación durante el transcurso de la deshidratación osmótica, no obstante ambos desde los 120 minutos de proceso ascendieron de manera significativa cada uno a la capacidad de pérdida correspondiente.

Lo mencionado se aseveró en los siguientes estudios: Vega *et al.* (2007) experimentaron la deshidratación osmótica de la papaya chilena a 40, 50 y 60 % de sacarosa a 30, 50 y 60 °C, estas emplearon una proporción relaciones fruta/jarabe durante 7 horas de la osmodeshidratación. Ellos observaron que a partir de los 150 a 180 minutos la pérdida de peso es paulatinamente más elevada, siendo el tratamiento con 60 % de sacarosa a 60 °C el que tiene mayor pérdida de peso. Giraldo, Duque y Mejía (2005) analizaron la uchuva sometida a deshidratación osmótica en disoluciones de sacarosa a 25, 35, 45, 55 y 65 °Brix a temperatura ambiente y obtuvieron que el tratamiento con mayor variación de peso es de 65 °Brix. Además, Roche, Mascheroni y Della, (2013) estudiaron la deshidratación osmótica de zanahoria en soluciones de sacarosa y sal a temperatura de 40 °C, y registraron datos sobre la pérdida de peso cada 60 min durante los 180 minutos que duró el proceso, determinando que no solo la pérdida de peso, sino también la pérdida de agua y la ganancia de sólidos aumentan a medida que transcurre el tiempo de deshidratación osmótica. Por lo tanto, a medida que aumenta la concentración de la solución y el tiempo de deshidratación osmótica, mayor es la variación de peso.

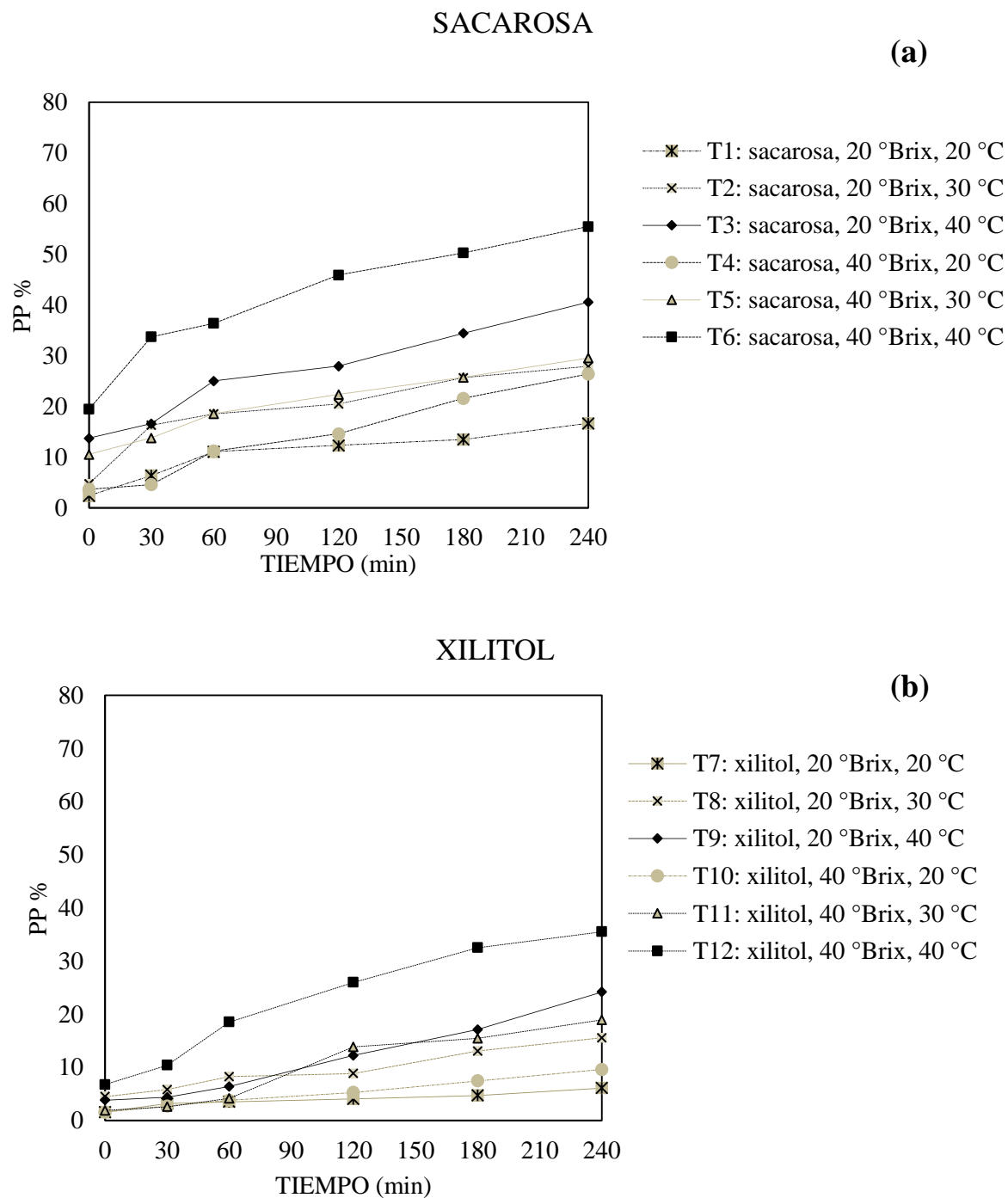


Figura 13. Pérdida de peso en relación al tiempo de DO.

4.2.2 Pérdida de agua

Durante el proceso de deshidratación osmótica, la pérdida de peso es la salida de agua (Castro, Manjarres, Ospina y Pineda, 2005), y la pérdida de agua asciende con respecto al tiempo, tal como se observó en la Figura 14, donde la sacarosa tiene mayor pérdida de agua en comparación al xilitol.

En la Figura 14(a) y (b) se observó que los tratamientos con sacarosa a 40 °Brix y 40 °C, y con xilitol a 40 °Brix y 40 °C tuvieron un comportamiento alto sobre la pérdida de agua. Estos son similares en los estudios a los estudios por Castro, Manjarres, Ospina y Pineda, (2005) que analizaron la uchuva osmodeshidratada en soluciones de miel de abeja a 38, 45 y 59 °Brix a 18 °C, encontrando así que la disolución a 45°Brix presentó mayor variación en los datos, por lo que no siempre la disolución con mayor concentración garantiza una ganancia de solutos y mayor pérdida de agua, este fenómeno se debe a las gradientes de concentración entre la fruta y la disolución generando una fuerza en los solutos de la disolución la cual ayuda a conducir la salida del agua. Mascheroni y Della Roca (2010) experimentaron la deshidratación osmótica de papa con distintas concentraciones de sacarosa a 30, 40 y 50 % y pudieron verificar que medida que la concentración aumenta, la velocidad de transferencia del agua incrementa. El mayor porcentaje de pérdida de agua se realizan al comienzo del proceso de deshidratación osmótica, siendo consecuente de mayor fuerza de deshidratación que existe entre el alimento y la solución hipertónica (Salvatori, Andrés, Chiralt y Fito, 1999, Kowalska y Lenart, 2001). Cabe mencionar que la remoción de agua durante el proceso de deshidratación osmótica empieza desde la superficie del fruto, que está en contacto con la solución, hasta el centro del fruto, este proceso es llamado la desintegración celular, que causa un daño celular que permite la pérdida de agua durante el proceso (Rastogi *et al.*, 2002). Además, la acidez de la solución osmótica permite cambios en la textura y en las propiedades tisulares, teniendo como consecuencia una fácil eliminación de agua (Moy, Lau y Dolla, 1978).

Si se relaciona la pérdida de peso, la pérdida de agua y la ganancia de sólidos para dos concentraciones de sacarosa y xilitol en la solución deshidratante se pudo deducir que a concentraciones de sacarosa (40 °Brix) y xilitol (40 °Brix) se alcanzó pérdidas considerables

de peso y de agua, a pesar que la sacarosa en comparación al xilitol tiene mayor peso molar. La geometría del fruto influye en la deshidratación osmótica permitiendo que la pérdida de agua incremente y al mismo tiempo aumente la absorción de solutos, además para el caso de cubos o esferas, reduce el lado o el radio, respectivamente, sin embargo, el volumen disminuye al igual que la superficie por unidad de volumen, entonces la pérdida de agua resulta inferior para tamaños superiores (Lerici, Pinnavaia, Dalla y Bartolucci, 1985). Según Della Rocca (2010) menciona otras características que afecta la pérdida de agua que son la forma, tamaño, estructura, composición, tratamiento previo, y las condiciones de la solución: tipo de soluto, la concentración, proceso, temperatura, agitación, presión y relación masa-producto; y con todo estas características el proceso de deshidratación osmótica puede ayudar a extender la vida del producto con el apoyo de un proceso posterior como el secado, congelado o liofilizado.

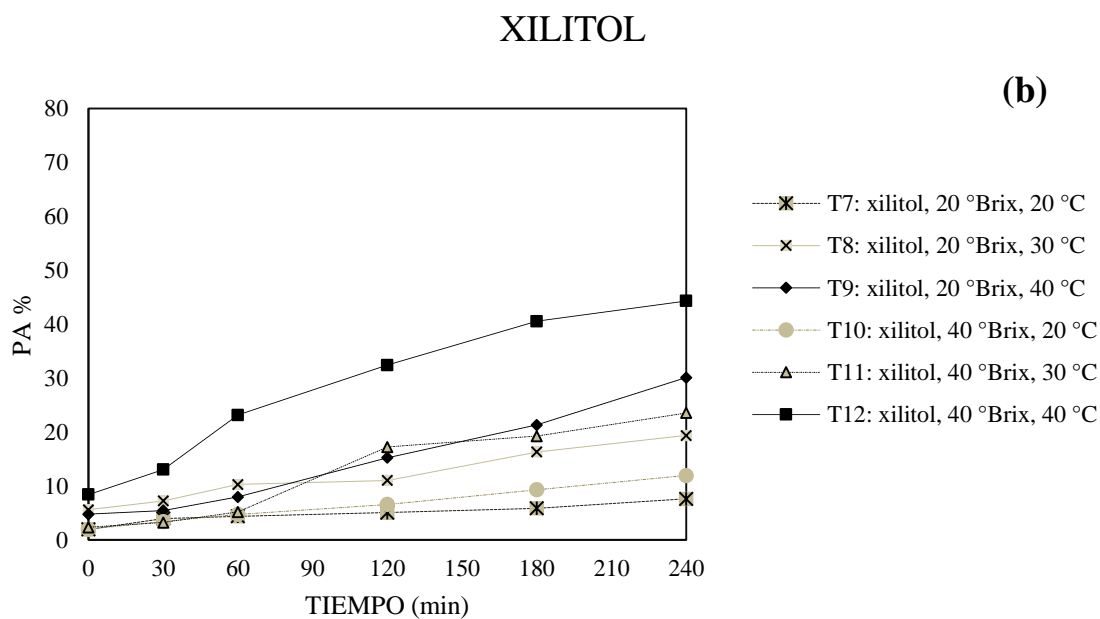
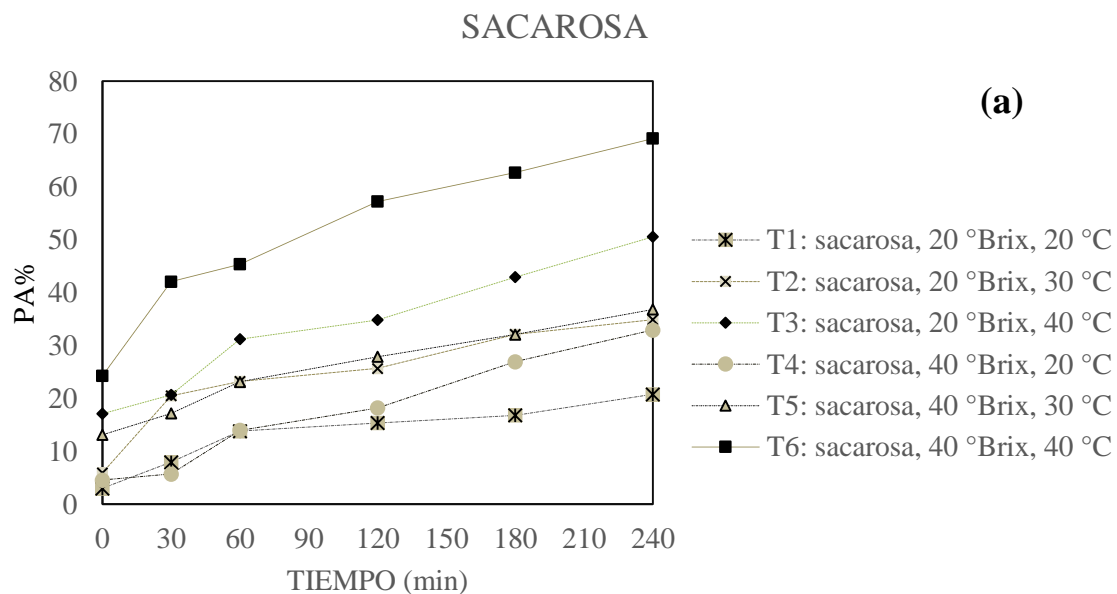


Figura 14. Pérdida de agua en relación al tiempo de DO.

4.2.3 Ganancia de sólidos

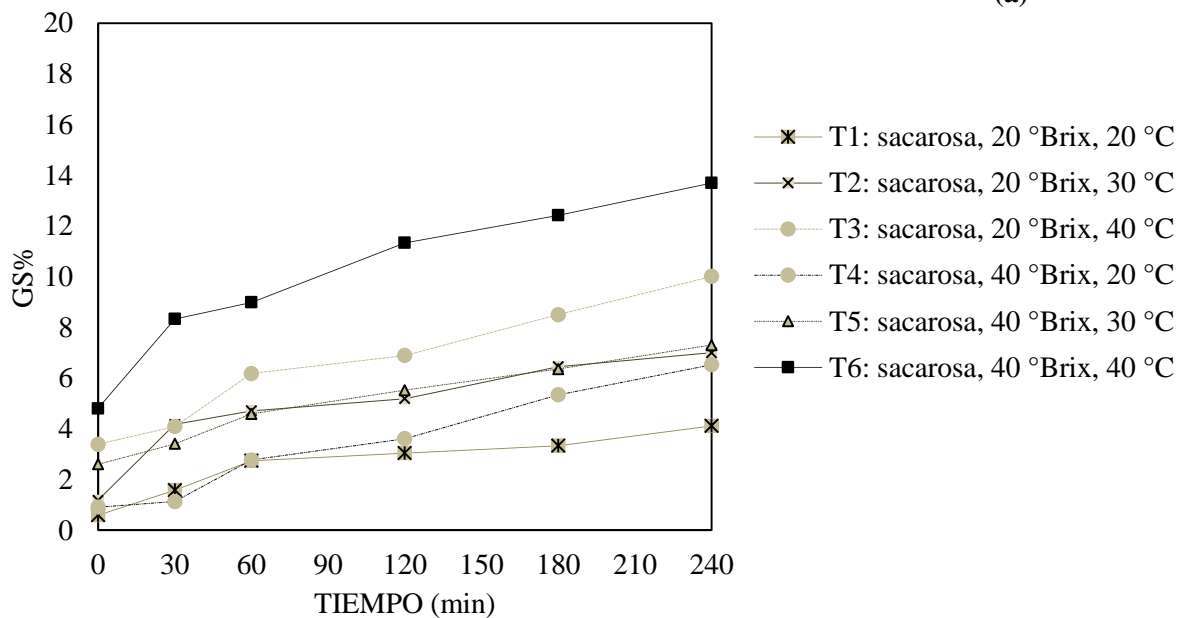
La ganancia de sólidos en la fruta se debe a la entrada de solutos provenientes del jarabe que es necesario en el proceso de deshidratación osmótica, en esta investigación se observó dicho suceso que es representado en la Figura 15 (a) y (b), donde se muestra que la ganancia de sólidos incrementa con el tiempo, de acuerdo con los agentes la sacarosa a 40 °Brix y a 40 °C y el xilitol a 40 °Brix a 40 °C tienen mayor ganancia de sólidos, sin embargo la sacarosa tuvo una inmediata reacción en comparación del xilitol, el xilitol hasta los 60 minutos la ganancia fue constante, debido a que esta va aumentando durante el tiempo el incremento fue mayor; este suceso es como consecuencia de la impregnación de solutos, provenientes de la solución, en el fruto (Acevedo, Tirado y Guzmán, 2013). Además, la viscosidad de la solución juega un rol importante debido a que esta va aumentando durante el tiempo de deshidratación osmótica, es por eso que la velocidad de transporte de masa es lenta (Rodríguez, 2013). Bambicha *et al.* (2012) indican que la concentración de sacarosa permite mayor poder deshidratante, debido al posible aumento del gradiente de concentración del mismo, que genera el incremento de transferencia hacia el interior del tejido del fruto; el incremento del agente disminuye la actividad de agua de la solución que favorece la transferencia de agua desde el tejido hasta la solución osmótica.

Mascheroni y Della Roca (2010) experimentaron la deshidratación osmótica de papa con distintas concentraciones de sacarosa a 30, 40 y 50 % y pudieron verificar que medida que la concentración aumenta, la velocidad de transferencia del agua incrementa. Además, la concentración de sacarosa puede disminuir debido a la formación de una capa superficial sobre el producto impidiendo el ingreso de sólidos dentro del mismo (Giraldo, Arango y Márquez, 2004). Por lo contrario, cuando se utiliza soluciones de la misma concentración con xilitol y sacarosa para la deshidratación osmótica del aguaymanto, la ganancia de sólido con sacarosa es casi el doble que el que están sumergidas en xilitol, esto se puede atribuir, por una parte, a los diferentes pesos moleculares de los solutos, siendo 152.15 g/mol de xilitol y 3423 g/mol de sacarosa (Wais, 2011).

Según Acevedo *et al.* (2013) indicaron que a bajas concentraciones las ganancias de sólidos son mayores, que la pérdida de agua, sin embargo si aumenta la concentración de la solución osmótica, la ganancia de sólidos llegaría a su valor máximo, por ello mencionaron que los niveles elevados de ganancia de sólidos no permite que se eleve la pérdida de agua debido a la capa superficial de azúcar. En relación a lo referido Mascheroni y Della Roca (2010) recomendaron usar altas concentraciones de soluto y tiempos de deshidratación cortos. De la misma forma, Cerdán y López, (2014) afirman que “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 la membrana 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 soluto por parte del alimento”.

SACAROSA

(a)



XILITOL

(b)

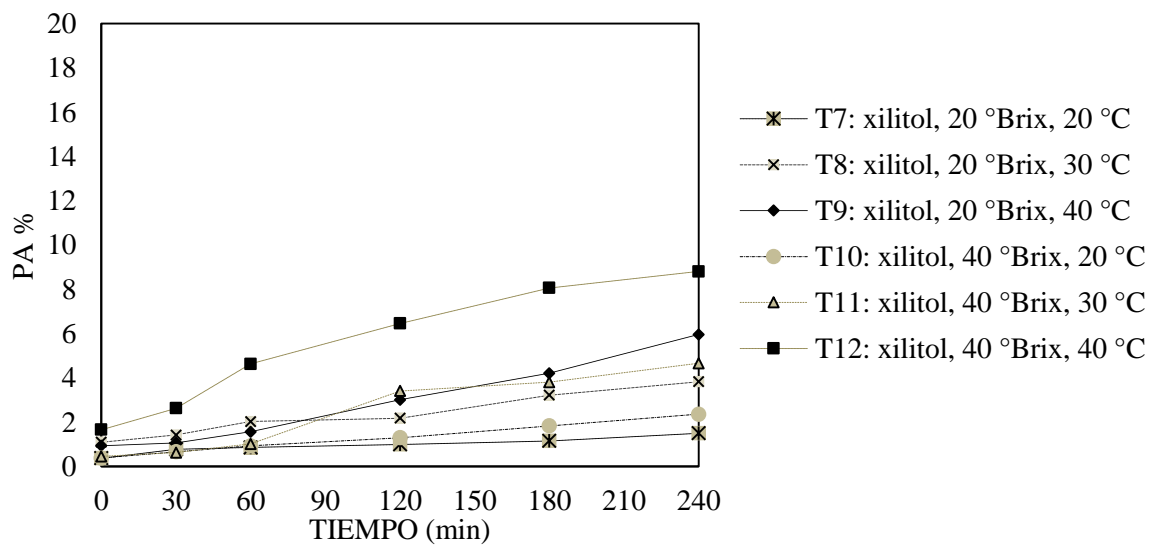


Figura 15. Ganancia de sólidos en relación al tiempo de DO.

4.3 Modelos matemáticos

4.3.1 Modelo de Crank

La ley de Fick es un método propuesto para esferas (Crank, 1975), la mayoría de los modelos matemáticos se calcula en base a esta ley, la difusividad que mide la movilidad de difusión en una solución cuya relación está entre en flujo por unidad de área y la gradiente de concentración (Sierra, 2010), en otras palabras, analiza el transporte de agua y de sólidos solubles durante la deshidratación osmótica en la solución correspondiente (Della Rocca, 2010).

Tabla 9. Coeficiente de difusión mediante el modelo de Fick

AGENTE	°BRIX	T°	De _(PA) [m²/s]	De _(GS) [m²/s]
SACAROSA	T1	20	1.02E-05 ± 1.8E-09 ^{ab}	1.05E-05 ± 1.8E-09 ^c
	T2	20	1.15E-05 ± 1.8E-09 ^{ab}	1.15E-05 ± 1.8E-09 ^{bc}
	T3	40	1.41E-05 ± 1.8E-09 ^a	1.40E-05 ± 1.8E-09 ^{abc}
	T4	20	1.18E-05 ± 1.8E-09 ^{ab}	1.32E-05 ± 1.8E-09 ^{abc}
	T5	40	1.41E-05 ± 1.8E-09 ^{ab}	1.66E-05 ± 1.8E-09 ^{ab}
	T6	40	1.71E-05 ± 1.8E-09 ^a	1.68E-05 ± 1.8E-09 ^{ab}
XILITOL	T7	20	1.01E-05 ± 1.8-09 ^{ab}	1.05E-05 ± 1.8E-09 ^{bc}
	T8	20	1.13E-05 ± 1.8E-09 ^{ab}	1.14E-05 ± 1.8E-09 ^{abc}
	T9	40	1.41E-05 ± 1.8-09 ^{ab}	1.24E-05 ± 1.8E-09 ^a
	T10	20	1.22E-05 ± 1.8-09 ^{ab}	1.29E-05 ± 1.8E-09 ^{bc}
	T11	40	1.43E-05 ± 1.8E-09 ^{ab}	1.58E-05 ± 1.8E-09 ^{abc}
	T12	40	1.51E-05 ± 1.8E-09 ^{ab}	1.66E-05 ± 1.8E-09 ^{ab}
p-valor			<0.05	<0.05
R²			76.65%	85.17%

Roche, Mascheroni y Della (2013) analizaron la zanahoria osmodeshidratada en sacarosa, a 180 min obtuvo 1,52E-09 m²/s, Arias, Perea y Zapata (2017) trabajaron con el mango osmodeshidratado con sacarosa a 45 y 60 °Brix y a 20, 35 y 50 °C, el que ganó mayor sólidos solubles fue el de 60°Brix a 50 °C con 1.35E-08 m²/s, y para la pérdida de agua fue a 45 °Brix a 20 °C con 2.74E-08 m²/s. Díaz *et al.* (2014) estudiaron la impregnación de la miel en la cáscara de naranja a 40 y 60 °Brix de la solución, la difusividad efectiva más alta fue a

40 °Brix con $3.211\text{E-}12 \text{ m}^2/\text{s}$. Rastogi y Raghavarao (2004) ellos evaluaron la difusividad efectiva de la piña durante el proceso de deshidratación osmótica a 40, 50, 60 y 70 °Brix a temperaturas de 30, 40, 50 °C se percibió que a los 70 °Brix mayor es difusividad efectiva para la pérdida de peso con 50 °C teniendo como resultado $3.24\text{E-}09 \text{ m}^2/\text{s}$ y para la ganancia de sólidos $1.54\text{E-}09 \text{ m}^2/\text{s}$. Así también Yanqui y Maquera (2010) trataron la papaya mediante el proceso de deshidratación osmótica a 50, 60 y 70 °Brix a 35 y 45 °C, obtuvieron la mayor difusividad efectiva de sacarosa a 60 °Brix a 45 °C dando un valor de $4.458\text{E-}08 \text{ m}^2/\text{s}$. Dionisio (2017) estudió el sauco sometido a deshidratación osmótica en solución de sacarosa a 40, 50 y 60 °Brix y a 20, 45 y 60 °C, del cual el mayor coeficiente de difusión fue a 60°Brix a 20 °C con $12.34\text{E-}12 \text{ m}^2/\text{s}$. Vega *et al.* (2007) usaron la papaya chilena mediante el proceso de deshidratación osmótica a 40, 50 y 60 °Brix y a 30, 40 y 50 °C para determinando el coeficiente de difusión de pérdida de agua y ganancia de sólidos donde se obtuvo los siguientes valores $40.43 \pm 2.22\text{E-}10$ a 60 °Brix a 30°C y $19.32 \pm 1.70\text{E-}10$ a 60 °Brix a 50 °C, respectivamente. Bajo estas premisas se cumple lo siguiente, a mayor concentración de solución osmótica mayor la difusividad efectiva de la pérdida de peso y la ganancia de sólidos.

El análisis de difusividad para la pérdida de agua y ganancia de sólidos arrojó un ANOVA presentado en la Tabla 9, donde se encontraron diferencia significativa ($p < 0.05$) para ambas difusividades, lo que quiere decir es que la pérdida de agua depende del agente osmóticos y de la concentración de los mismos; bajos los resultados ya mencionados existen diferentes formas de representar las soluciones de Crank, varían de acuerdo a los autores que van encontrado diferentes coeficientes de difusión efectiva que se ajusten a los datos experimentales, siendo así que dichos valores se pueden atribuir a la diversidad de los productos y a las condiciones utilizadas mediante el proceso de deshidratación osmótica. Sin embargo el modelo de difusión de Fick tiene algunas limitaciones (Ochoa y Ayal, 2005) como: la transferencia de masa que es unidireccional, también se requiere una relación más amplia sobre los agentes osmóticos (disolución/alimento). Además cuenta con soluciones analíticas para láminas planas, cilindros, cubos y esferas requiriendo técnicas numéricas para materiales irregulares, asimismo solo presenta el mecanismo de difusión para la extracción de agua no contando con el efecto de los sólidos ganados.

4.3.2 Modelo de Azuara

El modelo de Azuara permite modelar la pérdida de agua y la ganancia de sólidos en la deshidratación osmótica a partir del balance de masa suponiendo que no hay una salida de soluto (Ochoa y Ayal, 2005), este modelo empírico no requerir llegar al equilibrio lo cual genera una desventaja para su validez, además el modelo no considera la forma, la dimensión ni la estructura del material.

En la **Tabla 10** se presentaron los coeficiente de difusión con mayor pérdida de agua es la sacarosa con 40 °Brix a 40 °C teniendo como resultado 8.901 ± 0.264 y con xilitol obtuvo menos pérdida de agua a 20 °Brix a 20 °C con 1.355 ± 0.677 ; para la difusión con mayor ganancia de sólidos fue a 40 °Brix a 40 °C con 8.956 ± 0.668 , y con xilitol a 20 °Brix a 20 °C obtuvo menor ganancia de sólidos con 1.350 ± 0.670 .

Tabla 10. Modelo Azuara de pérdida de agua y ganancia de sólidos.

AGENTE	T	°BRIX	T°	De(PA) [m ² /s]	De(GS) [m ² /s]
SACAROSA	T1		20	2.564 ± 2.491^b	2.878 ± 1.997^b
	T2	20	30	3.668 ± 3.04^{ab}	4.752 ± 1.949^{ab}
	T3		40	5.105 ± 2.473^{ab}	8.640 ± 1.847^a
	T4		20	1.98 ± 0.74^b	1.993 ± 0.775^b
	T5	40	30	5.090 ± 0.945^{ab}	5.230 ± 0.786^{ab}
	T6		40	8.901 ± 0.264^a	8.956 ± 0.668^a
XILITOL	T7		20	1.355 ± 0.677^b	1.350 ± 0.670^b
	T8	20	30	3.005 ± 0.410^{ab}	3.046 ± 0.376^b
	T9		40	4.567 ± 1.496^{ab}	3.285 ± 0.305^b
	T10		20	1.870 ± 0.209^b	2.495 ± 0.660^b
	T11	40	30	2.573 ± 0.530^b	2.638 ± 0.606^b
	T12		40	4.494 ± 2.008^{ab}	4.422 ± 1.889^{ab}
p-VALOR				<0.05	<0.05
R ²				75.68%	88.04%

Los resultados se compararon con los registrados por Arias *et al.* (2017) que usaron el mango deshidratado osmóticamente empleando el modelo de Azuara, el proceso se trabajó con sacarosa a 45 y 60 °Brix a 20, 35 y 50 °C, con una relación 3:1 jarabe/fruta durante 6 horas de deshidratación osmótica, donde observaron que el incremento de la temperatura

favorece la ganancia de sólidos, estimulando de esa forma el movimiento molecular y aumentando la permeabilidad celular generando así el aumento de la velocidad de transferencia de materia. Sin embargo, la ganancia de sólidos puede ser desfavorable puesto que el incremento de ello modifica las propiedades organolépticas y además ayuda a la formación de una barrera en la superficie del producto afectando la transferencia de masa (Giraldo *et al.*, 2005)

Ruiz y López (2017) trabajaron con zanahoria mediante el proceso de deshidratación osmótica, utilizaron como agente NaCl a 10 % a 25, 30 y 35 °C y se calculó la difusividad efectiva con el modelo de Azuara cuyos valores fueron $2.197\text{E-}09 \text{ m}^2/\text{s}$, $3.335\text{E-}09 \text{ m}^2/\text{s}$ y $4.035\text{E-}09 \text{ m}^2/\text{s}$ en 25, 30 y 35 °C respectivamente. Así mismo, Álvarez y Barraza (2013) estudiaron el filete de tilapia en una solución osmodeshidratante 10, 15 y 20 °Brix, encontraron que el mayor coeficiente de difusión de pérdida de peso a 20°Brix con $9.004 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ y para la ganancia de sólidos a 20 °Brix con $6.437\text{E-}07 \text{ m}^2/\text{s}$. Por otro lado, Della Rocca (2010) al recurrir al modelo de Azuara, para la deshidratación osmótica de papa con sacarosa a 30, 40 y 50 % a 40 °C durante 4 horas, encontró que este modelo Azuara se ajustó de manera satisfactoria. Asimismo, se observó que el agua sale del interior del fruto para captar la sacarosa de la solución osmótica, sin embargo durante este proceso no llegó al equilibrio durante el tiempo.

Los parámetros de ajuste del modelo de Azuara y los coeficientes de correlación (R^2) para todas las pruebas realizadas se muestran en la Tabla **10**, lo cual representan la velocidad de ganancia de sólidos y pérdida de agua: Si bien este modelo no ayuda a identificar las condiciones óptimas de proceso ni la concentración exacta de soluto dentro del fruto sino solo valores globales, este es el motivo por el cual la información del mecanismo de transferencia de masa pierde importancia durante la deshidratación (Parjoko, Rahman, Buckle y Perera, 1996). Es necesario ampliar el análisis empírico para identificar las condiciones necesarias de deshidratación osmótica utilizando un modelo de mayor complejidad matemática que involucre el mecanismo en la transferencia de masa (Ramiro, 2013).

4.3.3 Modelo de Biswal y Bozorgmehr

Biswal y Bozorgmehr modelaron la pérdida de agua y la ganancia de solutos en función a la composición de la disolución osmótica con sacarosa y NaCl. En la **Tabla 11**, se presentaron los resultados de las constantes de $K_{(PA)}$ y $K_{(GS)}$, los resultados fueron significativos ($p < 0.05$) por lo que el modelo mencionado mostró buena calidad de ajuste sobre la variación del contenido de agua y sólidos solubles, por lo tanto este modelo es más confiable a la hora de predecir la cinética de transferencia de materia en el fenómeno de la deshidratación osmótica de aguaymanto.

En la **Tabla 11** se obtuvo mayor difusividad efectiva para la pérdida de peso $K_{(PA)}$ y para la ganancia de sólidos $K_{(GS)}$, con sacarosa 40 °Brix a 40 °C adquirió 0.51 ± 0.06 para $K_{(PA)}$ y 0.12 ± 0.015 para $K_{(GS)}$, y la menor difusividad efectiva fue con xilitol a 20 °Brix a 20 °C que alcanzó 0.05 ± 0.001 para $K_{(PA)}$ y 0.02 ± 0.015 para $K_{(GS)}$.

Tabla 11. Modelo Biswal-Bozorgmerh de pérdida de peso y ganancia de sólidos

AGENTE	T	°BRIX	T°	K _(PA) [m²/s]	K _(GS) [m²/s]
Sacarosa	T1	20	20	0.14 ± 0.017 ^{cde}	0.03 ± 0.004 ^{bc}
	T2		30	0.25 ± 0.023 ^{bcd}	0.05 ± 0.007 ^{bc}
	T3		40	0.34 ± 0.077 ^{ab}	0.08 ± 0.022 ^{ab}
	T4	40	20	0.19 ± 0.004 ^{bcde}	0.03 ± 0.026 ^{bc}
	T5		30	0.25 ± 0.050 ^{bcd}	0.06 ± 0.010 ^{bc}
	T6		40	0.51 ± 0.06 ^a	0.12 ± 0.015 ^a
Xilitol	T7	20	20	0.05 ± 0.001 ^e	0.02 ± 0.015 ^c
	T8		30	0.14 ± 0.003 ^{cde}	0.05 ± 0.026 ^{bc}
	T9		40	0.30 ± 0.028 ^{bc}	0.07 ± 0.007 ^{abc}
	T10	40	20	0.08 ± 0.031 ^{de}	0.01 ± 0.001 ^c
	T11		30	0.13 ± 0.002 ^{cde}	0.03 ± 0.005 ^{bc}
	T12		40	0.13 ± 0.086 ^{cde}	0.04 ± 0.011 ^{bc}
p-valor				<0.05	<0.05
R²				94.22%	88.56%

Diversos investigadores obtuvieron similares valores: Vega *et al.*, (2007) determinaron las constantes de cinéticas de la papaya chilena utilizando las variables de temperatura a 30, 40 y 50 °C con concentraciones a 40, 50 y 60 % de las soluciones osmóticas, sobre los parámetros cinéticos de la pérdida de peso para 40, 50 y 60 % fueron 1.46, 0.22 y 0.24 m^2/s respectivamente, y para la ganancia de sólidos 1.08, 2.57 y 0.67 m^2/s , de modo similar Silva, Della Roca, Tisocco y Mascheroni (2014) estudiaron la cinética de deshidratación osmótica

de papa comparando los modelos de Biswal y Bozorgmehr con el modelo de Azuara en tres temperaturas diferentes (30, 40 y 50 °C), con relación masa producto 1:4 y en una solución de 40 % de sacarosa, donde se presentó resultado mayor de la difusividad efectiva a 30 °C para la pérdida de agua con $1.18517\text{E-}09 \text{ m}^2/\text{s}$ y para la ganancia de sólidos con $1.34022\text{E-}09 \text{ m}^2/\text{s}$, al modelarlo con Biswal y Bozorgmehr los parámetros cinéticos para la pérdida de agua a 50 °C fue 26.003 ± 0.19 y para la ganancia de sólidos 5.902 ± 0.18 . De acuerdo a los siguientes resultados mostraron que el modelo de se ajusta al proceso de deshidratación osmótica, siendo así que la temperatura influye en la cinética de pérdida de agua y ganancia de sólidos.

Según la Tabla 12 el análisis realizado estadísticamente muestra que el modelo Biswal y Bozorgmehr resultaron ser convenientes para describir la cinética de transferencia de masa dada en la deshidratación osmótica consiguiendo, logrando alcanzar la mejor calidad de ajuste sobre la variación de pérdida de peso y ganancia de sólidos para cada uno de los experimentos realizados, respecto a los modelos de Fick y de Azuara (Anexo 2)

Tabla 12. Valores estadísticos promedios del modelo Biswal y Bozorgmehr

BISWAL Y BOZORGMEHR								
	PP				GS			
	Yexp	Ymod	SSE	RMSE	Yexp	Ymod	SSE	RMSE
T1	16.66	7.19	7.47E-03	0.09	28.76	4.11	5.06E-02	0.22
T2	27.92	3.97	4.78E-02	0.22	18.91	7.00	1.18E-02	0.11
T3	40.58	2.98	1.18E-01	0.34	12.25	10.01	4.16E-04	0.02
T4	26.43	5.02	3.82E-02	0.20	49.06	6.52	1.51E-01	0.39
T5	55.48	3.92	2.22E-01	0.47	16.16	13.70	5.07E-04	0.02
T6	29.57	1.96	6.35E-02	0.25	7.95	7.30	3.50E-05	0.01
T7	5.95	19.88	1.62E-02	0.13	55.77	1.50	2.45E-01	0.50
T8	18.89	7.01	1.18E-02	0.11	20.78	4.66	2.16E-02	0.15
T9	35.49	3.33	8.62E-02	0.29	13.41	8.81	1.77E-03	0.04
T10	9.57	11.87	4.41E-04	0.02	56.68	2.36	2.46E-01	0.50
T11	15.52	7.36	5.54E-03	0.07	32.89	3.83	7.04E-02	0.27
T12	24.15	9.14	1.88E-02	0.14	25.38	5.96	3.14E-02	0.18

4.3.4 Energía de activación

Al evaluar la influencia de la concentración sobre las constantes de cinética $K_{(PA)}$ y $K_{(GS)}$ mediante la ecuación de Arrhenius mostrados en la Tabla 13, se observó que la influencia de la concentración de ambos agentes es significativo ($p < 0.05$) para $K_{(PA)}$ en comparación a la temperatura, sin embargo para $K_{(GS)}$ no existe significancia en relación a las concentraciones de los agentes ($p > 0.05$).

Tabla 13. E_a de los parámetros cinéticos $K_{(PA)}$ y $K_{(GS)}$

AGENTE	BRIX	Ea $K_{(PA)}$	Ea $K_{(GS)}$
		Ea (kJ.mol ⁻¹) $K_{(PA)}$ (m ² .s ⁻¹)	Ea (kJ.mol ⁻¹) $K_{(GS)}$ (m ² .s ⁻¹)
Sacarosa	20	14.007 ± 1.5 ^b	2.993 ± 0.1 ^a
	40	89.580 ± 16.4 ^a	7.431 ± 2.6 ^a
Xilitol	20	14.748 ± 11.4 ^b	3.799 ± 0.1 ^a
	40	41.864 ± 24.3 ^{ab}	13.805 ± 6.2 ^a
p-valor		<0.05	0.097
R2		88.39%	76.25%

Tabla 14. E_a de los parámetros cinéticos $De_{(PA)}$ y $De_{(GS)}$

AGENTE	BRIX	$De_{(PA)}$	$De_{(GS)}$
		Ea (kJ.mol ⁻¹) $De_{(PA)}$ x 10 ⁻⁸ (m ² .s ⁻¹)	Ea (kJ.mol ⁻¹) $De_{(GS)}$ x 10 ⁻⁹ (m ² .s ⁻¹)
Sacarosa	40	16.59 ± 2.74 ^b	16.80 ± 3.11 ^b
	60	32.68 ± 2.36 ^a	32.69 ± 3.33 ^a
Xilitol	40	7.45 ± 1.32 ^b	7.45 ± 1.31 ^b
	60	14.18 ± 3.25 ^b	14.12 ± 3.59 ^b
p-valor		<0.05	<0.05
R2		95.75%	95.11%

En la **Tabla 13** se observó los resultados de energía de activación para la pérdida de peso, con sacarosa a 20 °Brix obtuvo 14.007 ± 1.5 KJ.mol⁻¹m².s⁻¹, con sacarosa a 40 °Brix se consiguió 89.580 ± 16.4 KJ.mol⁻¹m².s⁻¹, con xilitol a 20 °Brix alcanzó 14.748 ± 11.4 KJ.mol⁻¹m².s⁻¹ y xilitol a 40 °Brix se logró 41.864 ± 24.3 KJ.mol⁻¹m².s⁻¹, y la energía de activación para la ganancia de sólidos para la sacarosa a 20 °Brix ganó 2.993 ± 0.1 KJ.mol⁻¹m².s⁻¹ y a 40 °Brix obtuvo 7.431 ± 2.6 KJ.mol⁻¹m².s⁻¹ y con xilitol a 20 °Brix consiguió 3.799 ± 0.1

KJ.mol⁻¹m².s⁻¹ y a 40 °Brix alcanzó 13.805 ± 6.2 KJ.mol⁻¹m².s⁻¹. En la Tabla **14** se mostró que la E_a para la difusividad efectiva de agua ($D_{e(PA)}$) y sólidos solubles ($D_{e(GS)}$) presentó mayor resultados con sacarosa a 60 °Brix con 32.68 ± 2.36 y 32.69 ± 3.33 KJ.mol⁻¹.m².s⁻¹ respectivamente. Además, las concentraciones de xilitol de 20 °Brix a 40 °C adquirió una E_a descendente similar para $K_{(PA)}$, a 40 °Brix con 7.45 ± 1.32 , a 60 °Brix 14.18 ± 3.25 KJ.mol⁻¹.m².s⁻¹ y para $K_{(GS)}$ a 40 °Brix con 7.45 ± 1.31 , a 60 °Brix 14.12 ± 3.59 KJ.mol⁻¹.m².s⁻¹. Cuyos valores se compararon con los siguientes autores, Vega *et al.*(2007) al estudiar la deshidratación osmótica de papaya chilena evaluaron la dependencia de la temperatura sobre las constantes cinéticas $D_{e(PA)}$ para 40, 50 y 60 % de sacarosa, consiguió 10.56, 7.40 y 9.05 KJ.mol⁻¹, respectivamente, de la misma forma para la constante de cinética $D_{e(GS)}$ para 40, 50 y 60 % y obtuvo 6.63, 3.77 y 8.35 KJ.mol⁻¹.m².s⁻¹, respectivamente, no existen diferencias significativas entre las medias de $D_{e(PA)}$, así mismo tampoco existe diferencia significativa en los valores de $D_{e(GS)}$, es decir, a medida que aumenta la concentración disminuyó la E_a . Luchese, Gurak y Ferreira (2015) también realizaron la deshidratación osmótica de aguaymanto a 40 y 70 °C con concentraciones de sacarosa de 30 y 50 °brix, donde encontraron la difusividad efectiva de pérdida de agua a $14 \pm 2.9E-08$ m² s⁻¹ y la difusividad efectiva de ganancia de sólidos varió entre $7 \pm 1.1E-09$ m² s⁻¹. Marinos y Maroulis (2006) al recopilar datos dan a conocer los coeficientes de difusión de los alimentos encontrando un rango entre 10^{-13} a 10^{-6} m²/s, es así que esté presente estudio cuenta con los valores de difusividad dentro de dicho intervalo.

En la Tabla **14** se presentaron los resultados estadísticos de esta investigación tanto para la difusividad efectiva del agua $D_{e(PA)}$ y para la ganancia de solidos $D_{e(GS)}$ muestran significancia ($p < 0.05$) en relación a la temperatura por lo contrario para el factor de concentración de la solución osmótica no existe diferencia significativa ($p > 0.05$). Inverso a lo indicado Mendoza y Schmalko (2002) analizó la E_a de la deshidratación osmótica de papaya y observaron no que existe dependencia de temperatura pero a medida que aumenta la concentración aumenta los valores. Sin embargo, por autores como Vega *et al.*, (2007) han estudiado la papaya chilena analizando la E_a , que observaron que no existe dependencia de la temperatura, aunque a medida que fue aumentando la concentración incremento los valores de difusividad.

Según Silva *et al.*(2014) al realizar la E_a para los modelos de Biswal y Bozorgmehr modificado y la difusividad efectiva para la transferencia de agua y ganancia de sólidos, se aprecia que la E_a es menor con el modelo de Biswal y Bozorgmehr, tanto para la transferencia de agua y la de los sólidos durante el proceso de deshidratación osmótica de papa, por lo tanto el modelo de Biswal y Bozorgmehr se ajustó mejor a los datos de deshidratación osmótica, seguida por el modelo de Azuara, tanto para el agua y los sólidos. Cardoza y Custodio (2013) al analizar la piña deshidratada osmóticamente observaron que medida que el tiempo de secado pasa, la difusividad efectiva disminuye.

4.4 Parámetros de control

4.4.1 Color

Al realizar la deshidratación osmótica en los alimentos mejora la calidad del producto, como el color, flavor y textura (Della Rocca, 2010). El color se ve afectado en el proceso de deshidratación osmótica (Wais, 2011), ya que existen cambios químicos que se genera en la clorofila, en los carotenos y entre otros pigmentos, por eso si el proceso de deshidratación osmótica es más largo y la temperatura es elevada, entonces la pérdida de pigmento será mayor (Sierra, 2010). Conjuntamente, existen parámetros que impiden la proliferación microbiana y mantienen las características de color, sabor y el tiempo de vida del producto deshidratado. El color llega a ser el parámetro de calidad de mayor importancia, ya que la disminución del pigmento expresa que si mayor son las diferencia de temperaturas en el medio calórico en el cual fue sometido el aguaymanto, entonces mayor será la humedad relativa, formando de esa manera una capa de células que origina una reacción química por el sobrecalentamiento (Hernández, 2017). Sin embargo no se encontró diferencia significativa de color en este trabajo.

En la Tabla 15 se muestra los índices de color del aguaymanto fresco (CONTROL), obteniendo como promedio los siguientes valores: (amarillo-naranja) $L^* = 58.07 \pm 0.48$, $a^* = 17.72 \pm 1.44$ y $b^* = 55.46 \pm 2.16$, cabe mencionar que el cromoplasto que caracteriza al aguaymanto es el amarillo rojizo debido al pigmento de la fruta (Duque, Giraldo y Quintero, 2011). Estos resultados son similares a los reportados por Guevara y Málaga (2013) que registraron rangos para el fruto fresco de aguaymanto $L^*=57,82 \pm 2,94$, $a^* = 15,82 \pm 1,18$ y

$b^* = 53,11 \pm 2,53$; Puente *et al.* (2011) reportan los parámetros de color para el aguaymanto fresco $L^* = 70.84 \pm 0.75$, $a^* = 14.76 \pm 0.63$ y $b^* = 61.30 \pm 0.65$, lo cual confirma que nuestro producto se encuentra dentro de los rangos de un fruto maduro, considerando que el color depende de la variedad (Velasquez y Velasquez, 2017).

Tabla 15. Coordenadas de color para DO de aguaymanto con agentes diferentes.

	L^*	a^*	b^*	ΔE
CONTROL	58.07 ± 0.48^a	17.72 ± 1.44^a	55.46 ± 2.16^a	10.12 ± 2.16^e
T1	50.19 ± 0.09^{ab}	15.11 ± 0.44^{ab}	45.03 ± 0.27^{bcd}	10.76 ± 0.27^e
T2	48.88 ± 5.29^{ab}	14.77 ± 2.64^{ab}	41.67 ± 1.60^{cd}	17.08 ± 1.60^{cd}
T3	46.33 ± 2.48^b	16.76 ± 0.13^b	39.80 ± 0.30^{cd}	18.97 ± 0.30^{cd}
T4	48.19 ± 1.22^b	17.54 ± 0.72^b	47.36 ± 0.04^{abc}	9.82 ± 0.04^e
T5	44.23 ± 0.19^b	16.76 ± 2.10^b	36.64 ± 2.07^d	18.35 ± 2.07^d
T6	51.86 ± 0.86^{ab}	20.63 ± 0.39^{ab}	50.59 ± 0.10^{ab}	7.54 ± 0.10^a
T7	47.45 ± 2.26^b	14.02 ± 1.64^b	42.22 ± 2.13^{bc}	18.53 ± 2.13^e
T8	50.54 ± 3.39^{ab}	18.37 ± 1.17^{ab}	47.30 ± 1.17^{abc}	10.52 ± 1.17^{abc}
T9	44.29 ± 0.75^b	17.27 ± 0.65^b	41.28 ± 0.59^{cd}	13.95 ± 0.59^{bcd}
T10	47.29 ± 0.42^b	14.79 ± 1.97^b	42.95 ± 0.83^{bcd}	11.94 ± 0.83^e
T11	48.46 ± 3.37^{ab}	19.17 ± 0.58^{ab}	43.84 ± 0.46^{bcd}	14.05 ± 0.46^{abcd}
T12	52.36 ± 3.74^{ab}	19.49 ± 0.57^{ab}	50.69 ± 0.19^{ab}	9.15 ± 0.19^{ab}
p-valor	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
R2	80.07%	80.73%	90.76%	99.53%

Medias con una letra en común no son significativa ($p > 0.05$)

El aguaymanto se sometió a deshidratación osmótica con dos agentes (sacarosa y xilitol), a 20 y 40 °Brix a 20, 30 y 40 °C como se presenta en la Tabla 6, cada tratamiento fue agitado a 120 rpm en relación 1:4 muestra: solución, durante cada tiempo de: 30, 60, 120, 180 y 240 minutos fueron analizados. La deshidratación y el secado llega a cambiar el color superficial del fruto, en especial varía el color amarillo-naranja de la fruta a temperaturas superiores a 40 y 60°C (Moreno *et al.*, 2012)

En la Tabla 15 se observa las coordenadas en el último tiempo de análisis, la luminosidad (L^*) de la deshidratación osmótica del aguaymanto cuyos los valores varían entre 0 y 100 entre colores negro y blanco respectivamente. En el presente trabajo la luminosidad más cercana a la luminosidad del aguaymanto fresco es el que presentó el xilitol con $L^* = 52.36 \pm 3.74$ y más alejado fue con sacarosa con 44.23 ± 0.19 , sin embargo se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$), se pudo analizar que a mayor sea el tiempo de deshidratación

osmótica, menor es la luminosidad, sin embargo el xilitol en comparación a la sacarosa tuvo menor de caimiento de color, con mayor tiempo. Sin embargo, el oscurecimiento que se dió con la sacarosa se debe a las reacciones oxidativas y en algunos casos por los pretratamiento enzimático (Martinez, Calero, Aponte y Fito, 2002), conjuntamente la temperatura ambiente también influye de manera mínima al cambio de color (Wong y Stanton, 1993) ya que el oscurecimiento es significativo si el fruto deshidratado es almacenado permitiendo la reducción de luminosidad (Lee y Coates, 2002). Cortés y Chiralt (2008) estudiaron el cambio de color de la fruta causada por la deshidratación osmótica, midiendo la disminución de luminosidad y los cambios de las coordenadas de a y b, mencionando que la caída de la luminosidad se debe a la extracción del aire y la compactación de la misma, aumentando la homogeneidad en el índice del tejido, siendo así mayor absorción de la luz en la superficie del fruto con la caída de la claridad.

Las coordenadas a^* representan los componentes de color rojo a verde tomando valores positivos el color rojo y negativos para el verde, como se trabajó con el fruto en estado de madurez adecuado, se debe mantener en valores positivos. Además, se encontró diferencia significativa con la sacarosa $a^* = 17.54 \pm 0.72$ siendo el más próximo a los valores de a^* del fruto fresco, por otro lado no tiene valores muy alejados al del fresco xilitol $a^* = 19.49 \pm 0.57$, sin embargo el oscurecimiento del fruto se debe a que se mantuvo mayor tiempo de inmersión durante el proceso de deshidratación, las reacciones no enzimáticas que se asocian a la perdida de color de la fruta es conocida como la reacción Maillard, asimismo también afecta a la degradación el pigmento de la clorofila (Jangam, Law y Mujumdar, 2010).

Las coordenadas b^* , muestran las coordenadas de color amarillo a azul, toma valores positivos el color amarillo y valores negativos el azul (Askari, Emam y Tahmasbi, 2009), en la gráfica se analiza el amarillamiento del fruto durante el proceso de deshidratación, siendo el xilitol el más cercano a los valores de b^* con 50.69 ± 0.19 , pero el valor más bajo es con la sacarosa con 36.64 ± 2.07 , esto deduce que las muestras osmotizadas presentan menor decoloración porque presentó menor transferencia de oxígeno, evitando generar el pardeamiento, es decir inactiva la acción enzimática (Mandala, Anagnostaras y Oikonomou, 2005). Por lo tanto a mayor tiempo de tratamiento el amarillamiento intenso que presenta va disminuyendo de manera paulativa; los datos se compara con los resultados de los

siguientes autores Marin y Peralta (2017) donde muestran que las coordenadas a^* y b^* son afectadas durante el proceso de deshidratación osmótica, principalmente por la degradación de pigmentos de clorofila, asimismo la evolución del color se ve afectada a mayor temperatura de tratamiento. Además, el color durante el proceso de deshidratación osmótica es mayor de acuerdo va aumentando la concentración de solutos (Bambicha *et al.*, 2012), así mismo los frutos no climatéricos muestran cambios en la coloración con el pasar del tiempo, “un atributo de calidad muy importante de todas las frutas y vegetales es el atributo crítico para determinar el grado de frescura del producto” (Salgado y Martinez, 2006).

4.4.2 Actividad de agua

Según Parzanese (2010) denomina actividad de agua a la relación entre la presión de vapor ejercida por el alimento y la presión de valor saturado de agua a la misma temperatura, si hay menos a_w , existe menos contaminación microbiana, entonces la condición de equilibrio que determina el proceso de deshidratación de un alimento es la a_w , si multiplicamos la a_w por 100 se obtiene la humedad relativa de equilibrio de la atmósfera en equilibrio con el producto (Cerdán y López, 2014).

Della Rocca (2010) hace referencia a la a_w como la prevención de alimentos siendo útil para la mejora del proceso nuevos productos, sin embargo, la técnica de deshidratación osmótica ayuda a modificar el alimento sacando el líquido e incorporando sólidos que tengan propiedades nutricionales, organolépticas y de conservación, por ende se genera nuevos productos (Sierra, 2010). Si bien, al finalizar la DO la actividad acuosa (a_w) no tiene la capacidad suficiente para impedir la proliferación de microbios por eso se realiza el proceso de secado para complementar y así poder alcanzar la a_w que evite la proliferación microbiológica, denominando de este modo a la DO como un proceso de conservación (Wais, 2011; Sierra, 2010; Cerquera, Parra y Camacho, 2012)

La a_w de la solución decrece con el aumento de la concentración de solutos, aumentando la pérdida de agua y la concentración de la solución osmótica, siendo así que la a_w de la solución decrece con un aumento en la concentración de solutos, (Wais, 2011).

En la Tabla 16 se encuentran los datos de a_w de los distintos tratamientos de DO, donde la sacarosa a 20 °Brix a 30 °C es diferente al tratamiento con sacarosa a 40 °Brix a 40 °C y al tratamiento con xilitol a 40 °Brix a 20 y 40 °C respectivamente, siendo el valor más elevado con azúcar a 20 °Brix y 30 °C y el dato más bajo con xilitol a 40 °Brix y 20 °C con 0.977 ± 0.004 y 0.919 ± 0.019 , respectivamente; aunque esto no presentó diferencia significativa ($p>0.05$)

Al trabajar con un fruto cítrico como el aguaymanto se tiene cuidado con los valores críticos de a_w , en valores inferiores a 0.85 no permite que las bacterias patógenas crezcan, mientras que mohos y levaduras son más tolerables a a_w hasta 0.80, sin embargo se produce crecimiento microbiológico a a_w inferiores a 0.62 (Megías, Gamboa, Soria, Montilla y Villamiel, 2008). Dado los resultados, a mayor sea la concentración del medio deshidratante, y menor el tamaño molecular del soluto usado, mayor fue la cantidad de agua removida del alimento. También, se cuenta que “a mayor temperatura implica menor humedad de equilibrio y mayor gradiente de humedad para el flujo de agua”(Cerdán y López, 2014). Así mismo a mayor tiempo de tratamiento de DO la a_w disminuye, sin embargo al aumento de la concentración de la solución tienden a incrementar la pérdida de agua y la velocidad de deshidratación, por ello la a_w de agua de la solución decrece al aumentar la concentración de solutos, por lo contrario esto no aumentará el ingreso de sólidos a la fruta (Wais, 2011). Por tanto al analizar el efecto sinérgico de los dos solutos: sacarosa y xilitol, en la pérdida de agua del producto, se percibió que cuando se incrementa la concentración de los solutos en la solución, se conlleva a una mayor deshidratación del producto, ya que la a_w de la solución acuosa disminuye y la fuerza impulsadora de la DO es mayor.

4.4.3 Humedad del aguaymanto osmodeshidratado

La deshidratación osmótica permite la extracción de la humedad del aguaymanto ayudando a prevenir el crecimiento y la reproducción de los microorganismos. Durante el proceso de osmodeshidratación con la sacarosa y el xilitol, con los mismos parámetros de, 40 °Brix a 40 °C arrojaron 15.1 y 16.9 % de humedad, respectivamente.

Ponce y Rodríguez (2014) deshidrataron el aguaymanto a 50, 55 y 60 °C durante 32 horas y encontraron el menor porcentaje de humedad se dió 60 °C con 10.71 %. Benavides (2014)

registró 14 % de humedad a 60 °C, sin embargo durante su investigación menciona que el aguaymanto con 10 % de humedad es un fruto duro. Por otro lado, Megías *et al.* (2008) analizaron la humedad durante el proceso de deshidratación osmótica de diferentes frutos, entre ellos: plátano, manzana, cereza, pomelo, mango, kiwi, papaya, coco y piña, encontraron 6.8 ± 0.7 , 17.4 ± 0.8 , 22.5 ± 0.2 , 11.2 ± 0.5 , 21.1 ± 0.2 , 19.9 ± 0.3 , 13.7 ± 0.6 , 5.7 ± 1.0 , 10.4 ± 0.3 , respectivamente. Además, Laborde, Barreto y Pagano (2015) estudiaron el deshidratado osmótico de la uva pasas con 18, 20 y 22 % de Stevia a 60 °C por 35, 75 y 115 minutos encontrado una humedad del 18%. Ronceros y Quevedo (2015) trabajaron con arándanos osmodeshidratados con sacarosa con 65 °Brix a 40 °C obtuvieron 14.5 % de humedad. Estos resultados son similares a los encontrados en el aguaymanto osmodeshidratados por 240 min.

Por lo tanto, el contenido de humedad del producto seco a diferentes temperaturas disminuye a medida que se incrementa la temperatura de deshidratación osmótica, evitando así el crecimiento de microorganismos, bacterias y levaduras en las frutas deshidratadas. Siendo esta la técnica de conservación, consistiendo en preservar la calidad de los alimentos con baja aw mediante la disminución del contenido de humedad, durante su almacenamiento (Vega *et al.*, 2007).

Tabla 16. Aw y humedad final de la DO

	°B	T°		Aw	Humedad	(%)
Sacarosa	20	20	T1	0.969 ± 0.001	0.614 ± 0.008 ^{ab}	23.4
		30	T2	0.977 ± 0.004	0.630 ± 0.010 ^{ab}	21.4
		40	T3	0.972 ± 0.003	0.663 ± 0.018 ^{ab}	17.4
	40	20	T4	0.951 ± 0.009	0.622 ± 0.008 ^{ab}	22.4
		30	T5	0.960 ± 0.014	0.651 ± 0.028 ^{ab}	18.8
		40	T6	0.935 ± 0.021	0.681 ± 0.021 ^b	15.1
Xilitol	20	20	T7	0.936 ± 0.001	0.628 ± 0.021 ^{ab}	21.7
		30	T8	0.941 ± 0.015	0.656 ± 0.007 ^{ab}	18.2
		40	T9	0.932 ± 0.007	0.666 ± 0.006 ^{ab}	17.0
	40	20	T10	0.919 ± 0.019	0.648 ± 0.022 ^a	19.2
		30	T11	0.937 ± 0.024	0.661 ± 0.046 ^{ab}	17.6
		40	T12	0.948 ± 0.066	0.667 ± 0.006 ^{ab}	16.9
		p<	0.356	<0.05		
		R2	53.27%	73.35%		

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las características físicas y químicas del aguaymanto fresco fueron: diámetro 1.9 ± 0.3 cm, peso 7 ± 0.5 gr, 12 ± 0.5 ° Brix, 2.5 ± 0.7 de acidez, 3.5 ± 0.3 de pH, 80.28 ± 0.8 % de humedad y el índice de madurez, de 4.5 ± 0.9 .

Respecto al proceso de osmodeshidratación, los tratamientos con sacarosa y xilitol a 40 °Brix a 40 °C obtuvieron mayor pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos. El comportamiento del proceso de deshidratación puede ser modelado en función del tiempo y la temperatura, tanto con modelos empíricos, como fenomenológicos; el modelo de Biswal y Bozormehr ajusta mejor que el modelo empírico de Azuara y el modelo fenomenológico derivado de la ley de Fick, bajo las condiciones de este trabajo, los coeficientes de difusión efectiva a 40 °C y 40°Brix dependen de la temperatura siguiendo un comportamiento tipo Arrhenius.

De acuerdo con los parámetros de $K_{(PA)}$ y $K_{(GS)}$ presentaron cierta dependencia con la temperatura del proceso, lo cual ayudó a calcular la energía de activación en función de las concentraciones utilizadas, para los parámetros cinéticos de pérdida de agua se tiene con sacarosa a 20 y 40 °Brix, y con xilitol a 20 y 40 °Brix, 14.007 ± 1.5 , 89.580 ± 16.4 , 14.748 ± 11.4 y 41.864 ± 24.3 m² s⁻¹, respectivamente. Para los parámetros cinéticos de la ganancia sólidos se tiene con sacarosa a 20 y 40 °Brix, y con xilitol a 20 y 40 °Brix, 2.993 ± 0.1 , 7.431 ± 2.6 , 3.799 ± 0.1 y 13.805 ± 6.2 m² s⁻¹, respectivamente.

Para los parámetros sobre los coeficiente de difusión de la pérdida de agua se tiene: con sacarosa a 20 y 40 °Brix, y con xilitol a 20 y 40 °Brix, 16.59 ± 2.74 , 32.68 ± 2.36 , 7.45 ± 1.32 y 14.18 ± 3.25 m² s⁻¹, respectivamente. Y para los parámetros sobre los coeficientes de difusión de la ganancia de sólidos con sacarosa a 20 y 40 °Brix, y con xilitol a 20 y 40 °Brix, 16.80 ± 3.11 , 32.69 ± 3.33 , 7.45 ± 1.31 y 14.18 ± 3.25 m² s⁻¹, respectivamente.

De acuerdo a los análisis estadísticos tanto el modelo de Biswal – Bozorgmehr modificado resultaron ser útiles para describir la cinética de transferencia de materia durante la deshidratación osmótica, no obstante el modelo Biswal – Bozorgmehr obtuvo mejor calidad

de ajuste sobre la pérdida de peso y sólidos solubles para cada uno de los experimentos realizados. El análisis de color del aguaymanto deshidratado más próximo a los valores del fruto fresco fue con xilitol a 40 °Brix a 40 °C $L^* = 52.36 \pm 3.74$, $a^* = 19.49 \pm 0.57$ y $b^* = 50.69 \pm 0.19$. Durante el proceso de deshidratación osmótica se tuvo 0.919 ± 0.019 de a_w y los tratamientos a 40 °Brix a 40 °C con xilitol y sacarosa arrojaron 15.1 y 16.9 % de humedad, respectivamente. Por último se ha demostrado que a concentración mayor y temperatura elevada en la solución osmótica se acelera la salida de humedad y la ganancia de sólidos solubles ocurridas durante la deshidratación osmótica del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.).

5.2 Recomendaciones

Para una próxima investigación se debería estudiar otros factores que afecten el proceso de deshidratación osmótica como el tiempo, las revoluciones de agitación y cambiar de agente con diferentes pesos moleculares, además aplicar al vacío utilizando otra variedad de fruta.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

- A.O.A.C. (1995). *Official Methods of Analysis*, 1.
- Acevedo, D., Tirado, D., & Guzmán, L. (2013). Deshidratación osmótica de pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.): influencia de la temperatura y la concentración. *U.D.C.A Actividad Y Divulgación Científica.*, 17, 123–130.
- Álvarez, S., & Barraza, D. (2013). *Optimización de la deshidratación osmótica de filete e tilapia roja (Oreochromis spp.) para el mejoramiento de su vida útil*. Universidad de Cartagena.
- Alvines, E. (2006). *Osmodeshidratación de tomate de árbol*. Universidad Agraria la Molina.
- Aparcana, I., & Villarreal, L. (2014). *Evaluación de la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos del fruto de Physalis peruviana “aguaymanto” de diferentes lugares geográficos del Perú*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Araújo, E. (2005). *Estudo do processo de desidratação osmótica e secagem de nectarina (Prunus pérsica)*. Universidade estadual de campinas.
- Areballo, J., Campañone, L., & Mascheroni, R. (2010). Simulación numérica de la deshidratación de frutas por métodos combinados: seado por impregnación y microondas. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, XXIX, 15–18.
- Arias, L., Perea, Y., & Zapata, J. (2017). Cinética de la Transferencia de Masa en la Deshidratación Osmótica de Mango (*Mangifera indica* L.) var. Tommy Atkins en Función de la Temperatura. *Universidad de Antioquía*, 28(3), 47–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000300006>
- Askari, G. R., Emam-djomeh, Z., & Tahmasbi, M. (2009). Effect of various drying methods on texture and color of tomato halves. *University of Tehram*, 40, 371–389.
- Azcona, C. (2010). Manual de Nutrición y Dietética. *Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid*, 1–10. Retrieved from

<https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-cap-7-hidratos-carbono.pdf>

- Azuara, E., Cortes, R., Garcia, H. S., & Beristain, C. I. (1992). Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *International Journal of Food Science and Technology*, 27, 409–418. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb01206.x>
- Bambicha, R., Agnelli, M., & Mascheroni, R. (2012). Optimización del proceso de deshidratación osmótica de calabacita en solución ternarias. *Avances En Ciencias E Ingeniería*, (0718–8706), 121–136.
- Benavides, L. (2014). Innovación industrial deshidratación de Berries - Aguaymanto. In *Dirección de emprendimiento y competitividad*. Perú: Sierra Exportadora. Retrieved from <http://www.youblisher.com/p/1108803-proyecto-innovacion-industrial-deshidratacion-de-berries-aguaymanto-2014-2015/>
- Bird, R., Stewart, W., & Lightfoot, E. (1992). *Fenómenos de transporte* (Repla, S.A). Barcelona.
- Branen, A. L., & Davidson, P. M. (2001). *Food Additives, Second Edition Revised and Expanded*.
- Cardoza, J., & Custodio, D. (2013). *Modelamiento matematica para preecir el comportamiento de la deshidratación osmótica de la piña MD2*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Castro, A., Manjarres, K., Ospina, A., & Pineda, Y. (2005). Estudio de la cinética de deshidratación osmótica de la uchuva (*Physalisperuviana*). *Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano*, 1–6.
- Cerdán, K., & López, C. (2014). *Efecti de la concentración del soluto en la deshidratación osmótica del aguaymanto*. Universidad Señor de Sipan.
- Cerquera, N., Parra, A., & Camacho, J. (2012). Determinación de variables de secado en

- lámina para la deshidratación de pulpa de maracuyá. *Sciendirect*, 6(2), 172–182.
- Chavan, U. D. (2012). Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. *Food Research*, 1(2), 202–209. <https://doi.org/10.5539/jfr.v1n2p202>
- Cortés, M., & Chiralt, A. (2008). Cinética de los cambios de color en manzana deshidratada por aire fortificado con vitamina E. *Vitae, Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*, 15(0121–4004), 8–16.
- Crank, J. (1975). *The mathematics of Diffusion*. Brunel University Uxbrige. [https://doi.org/10.1016/0306-4549\(77\)90072-X](https://doi.org/10.1016/0306-4549(77)90072-X)
- Dávila, L., & López, L. (2005). Transferencia de masa en la deshidratación osmótica a vacío de rodajas de ananas comosus L MERR “Piña”. *Revista de La Facultad de Ingeniería Industrial*, 8(1810–9993), 07–12.
- Della Rocca, P. (2010). *Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente*. Universidad Tecnológica Nacional.
- Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. (2007). Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.026>
- Diario oficial, U. E. (2008). Reglamento (CE) N° 1333/2008 sobre aditivos alimentarios. *Unión Europea*, 16–33.
- Díaz, L., Puelles, J., Retto, P., Valverde, L., Rodríguez, K., & Valderrama, C. (2014). Efecto de la presión y concentración de soluciones de miel de abeja en la transferencia de masa y aceptabilidad sensorial de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) variedad “Huando” impregnadas al vacío. *Agroindutrial Science*, 4.
- Dionisio, S. (2017). *Efecto del deshidratado osmótico en la estabilidad de antocianinas del saúco (Sambucus peruvian)*. Universidad nacional del Centro del Perú.

- Duque, A. L., Giraldo, G. A., & Quintero, V. D. (2011). Caracterización de la fruta, pulpa y concentrado de Uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Temas Agrarios*, 16(1), 75–83.
- Espinoza, R. (2016). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta procesadora de aguaymanto deshidratado en la provincia de Celendín*. Universidad Nacional de Piura.
- European Food Safety Authority. (2011). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to the sugar replacers xylitol , sorbitol , mannitol , maltitol , lactitol , isomalt , erythritol , D-tagatose , isomaltulose , sucralose and polydextrose and maintenance of tooth mineralis. *EFSA Journal*, 9 (4)(1924), 1–25. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2076>.
- Fisher, G., Flores, V., & Sora, Á. (2000). *Producción, poscosecha y exportación de la Uchuva (Physalis peruviana L.)*. (U. N. de Colombia, Ed.). Colombia: UNIBIBLOS.
- Fisher, G., & Lüdders, P. (2014). Developmental changes of carbohydrates in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L .) fruits in relation to the calyx and the leaves. *Departamento de Fisiología de Cultivos*, XIV(June), 95–107.
- Frye, A. M., & Setser, C. S. (1992). Optimizing Texture of Reduced-Calorie Yellow Layer Cakes. *Cereal Chemistry*, 69(3), 338–343.
- Galvis, J., Fischer, G., & Gordillo, O. (2005). *Cosecha y poscosecha de la uchuva*. Colombia.
- Giraldo, D., Arango, L., & Márquez, C. (2004). Osmodeshidratación de mora de castilla (*Rubus glaucus* benth) con tres agentes edulcorantes. *Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*.
- Giraldo, G., Duque, A., & Mejía, C. (2005). La deshidratación osmótica como pretratamiento en la concervación de mora (*Rubus glaucus*) y uchuva (*Physalis peruviana* L .). *VITAE. Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*, 12(0121–4004), 15–22.
- Guevara, A., & Málaga, R. (2013). Determinación de los parámetros de proceso y

caracterización del puré de aguaymanto. *Universidad Nacional Agraria La Molina*.

Hawkes, J., & Flink, J. M. (1978). Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2(3060), 265–284.

Hernández, Z. (2017). *Aplicación de método estadísticos para la mejora de las condiciones de almacenamiento de aguaymanto deshidratado para exportar en la empresa agroandino S.R.L.* Universidad Peruana del Norte.

Jangam, S., Law, C., & Mujumdar, A. (2010). *Osmotic Dehydration. Drying of Foods, Vegetables and Fruits*.

Jenkins, D., Kendall, C., Augustin, L., Franceschi, S., Hamidi, M., & Marchie, A. (2002). Glycemic index : overview of implications in health and disease. *American Society for Clinical Nutrition*, 76(September), 266–273.

Kowalska, H., & Lenart, A. (2001). Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *Journal of Food Engineering*, 49(2–3), 137–140. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00214-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00214-4)

Laborde, M., Barreto, G., & Pagano, A. (2015). Pasas de uva de bajas calorías obtenidas por deshidratación combinada : optimización del proceso y evaluación de la eficiencia antioxidante. *Avances En Ciencias E Ingeniería*, 6(0718–8706), 17–30.

Lee, H., & Coates, G. (2002). Characterization of color fade during frozen storage of red grapefruit juice concentrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(14), 3988–3991. <https://doi.org/10.1021/jf020159q>

Lerici, C., Pinnavaia, M., Dalla, R., & Bartolucci, L. (1985). Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. *Journal of Dairy Science*, 50, 1217–1219.

Lin, S. D., Hwang, C. F., & Yeh, C. H. (2003). Physical and sensory characteristics of chiffon cake prepared with erythritol as replacement for sucrose. *Journal of Food Science*,

68(6), 2107–2110. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb07027.x>

Livesey, G. (2003). Health potential of polyols as sugar replacers, with emphasis on low glycaemic properties. *Nutrition Research Reviews*, 16(2), 163. <https://doi.org/10.1079/NRR200371>

Luchese, C., Gurak, P., & Ferreira, L. (2015). Osmotic dehydration of physalis (*Physalis peruviana* L.): Evaluation of water loss and sucrose incorporation and the quantification of carotenoids. *Elsevier*, 1, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.060>

Luebert, T. F. (2011). Hoja botánica : Aguaymanto.

Mäkinen, K. K., Hujoel, P. P., Bennett, C. A., Isotupa, K. P., Mäkinen, P. L., & Allen, P. (1996). Polyol chewing gums and caries rates in primary dentition: A 24-month cohort study. *Caries Research*, 30(6), 408–417. <https://doi.org/10.1159/000262352>

Mandala, I. G., Anagnostaras, E. F., & Oikonomou, C. K. (2005). Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics, 69, 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.021>

Marin, I., & Peralta, R. (2017). *Evaluación fisicoquímica y sensorial durante la madurez y almacenamiento en estado deshidratado y congelado del Humpikusawa*. Universidad Nacional del Altiplano.

Marín, Z., Cortéz, M., & Montoya, O. (2010). Frutos de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) ecotipo “Colombia” minimamente procesados, adicionados con microorganismos probióticos utilizando la ingeniería de matrices. *Revista de La Facultad de Agronomía de Medellín*, 63(0304–2847), 5395–5407.

Marinos-Kouris, D., & Maroulis, Z. (2006). *Transport Properties in the Drying of Solids. Handbook of Industrial Drying, Third Edition*. <https://doi.org/10.1201/9781420017618.ch4>

Martinez, J., Calero, A., Aponte, A., & Fito, P. (2002). Efecto del escaldado sobre la

- Deshidratación Osmótica del Mango. *Ciencia Y Tecnología*, 2, 27–33.
- Mascheroni, R., & Della Roca, P. (2010). *Modelos empíricos en la deshidratación osmótica de papas. Rumbos tecnológico*. Universidad de la Plata, Buenos Aires.
- Megías, R., Gamboa, J., Soria, A., Montilla, A., & Villamiel, M. (2008). Evaluación de la calidad en frutas deshidratadas comerciales, comunes y exóticas. *Instituto de Química Orgánica General*.
- Mendoza, J., Rodríguez, A., & Millán, P. (2012). Caracterización físico química de la Uchuva (*Physalis peruviana*) en la región de Silvia Cauca. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 10(2), 188–196.
- Mendoza, R., & Schmalko, M. (2002). Difusion coefficients of water and sucrose in osmotic dehydration of papaya. *International Journal of Food Properties*, 5(537–546), 37–41. <https://doi.org/10.1081/JFP-120015490>
- Milgrom, P., Ly, K., Tut, O., Mancl, L., Roberts, M., Briand, K., & Gancio, M. (2009). Xylitol pediatric topical oral syrup to prevent dental caries: a double blind, randomized clinical trial of efficacy. *National Institutes of Health*, 6(7), 247–253. <https://doi.org/10.1001/archpediatrics.2009.77>.
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2016). Aguaymanto Fresco y Procesado.
- Moreno, J., Simpson, R., Pizarro, N., Parada, K., Pinilla, N., Reyes, J. E., & Almonacid, S. (2012). Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the quality and microbial stability of osmotically dehydrated strawberries (cv . Camarosa). *Journal of Food Engineering*, 110(2), 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.005>
- Moy, J., Lau, N., & Dollar, A. (1978). Effects of sucrose and acids on osmovac-dehydration of tropical fruits. *University of Hawaii*, 2, 131–135.
- Mujaffar, S., & Sankat, C. K. (2006). The mathematical modelling of the osmotic dehydration of shark fillets at different brine temperatures. *International Journal of*

- Food Science and Technology*, 41(4), 405–416. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01086.x>
- Nantel, G. (1999). Carbohydrates in human nutrition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 6–10. [https://doi.org/92 5 104114 8](https://doi.org/92%5B104114%5D)
- Novoa, R., Bojacá, M., Galvis, J. A., & Fisher, G. (2006). La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva , almacenada a 12 ° C (*Physalis peruviana* L .). *Agronomía Colombiana*, 24(1), 77–86.
- Ochoa, C., & Ayala, A. (2005). Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, 4(1135–8122), 330–342.
- Ochoa, E., Ornelas, J., Ruiz, S., Ibarra, V., Pérez, J., Guevara, J., & Aguilar, C. (2013). Tecnologías pde deshidratación para la preservación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Revista de Cinecias Bilológicas Y de La Salud*, 25(2), 39–46.
- Ortega, K., Vélez, P., & Ayala, A. (2016). Cinéticas de deshidratación osmótica de melon (*Cucumis melo*) y efecto sobre su calidad. *Vitae*, 23, 208–212.
- 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.
- Parjoko, M., Rahman, S., Buckle, K., & Perera, C. (1996). Osmotic dehydration kinetics of pineapple wedges using palm sugar. *LWT - Food Science and Technology*, 29(5–6), 452–459. <https://doi.org/10.1006/fstl.1996.0069>
- Parzanese, M. (2010). Deshidratacion osmotica. *Tecnología Para La Industria Alimentaria, Deshidratación Osmótica.*, 1–11. Retrieved from www.alimentosargentinos.gob.ar
- Peña, F., Cortéz, M., & Gil, J. (2015). Uchuvamínimamente procesada impregnada al vacío con calcio y vitamina B9, D y E. *Bioteología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 13(1), 110–119. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-

35612015000100013&lang=pt%5Cn<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n1/v13n1a13.pdf>

- Pérez, M. (2014). Efecto de los polioles en la nutrición y sus aplicaciones en la industria alimentaria. *Universidad de Valladolid*, 34.
- Ponce, A., & Rodríguez, F. (2014). *Evaluación del efecto de secado en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del Aguaymanto (Physalis peruviana L.)*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Puente, L. A., Pinto-Muñoz, C. A., Castro, E. S., & Cortés, M. (2011). Physalis peruviana Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1733–1740. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034>
- Rabie, M. A., Soliman, A. Z., Diaconeasa, Z. S., & Constantin, B. (2015). Effect of Pasteurization and Shelf Life on the Physicochemical Properties of Physalis (Physalis peruviana L.) Juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1051–1060. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12320>
- Ramadan, M. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (Physalis peruviana): An overview. *Food Research International*, 44(7), 1830–1836. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.042>
- Ramadan, M. F., & Mörsel, J.-T. (2004). Goldenberry, a novel fruit, source of fat-soluble bioactives. *Infom. International News on Fats, Oils and Related Materials*, 15(2), 130–131.
- Ramiro, J. (2013). *Modelado y simulación de la deshidratación combinada osmótica-microondas de frutihortícolas*. Universidad Nacional de La Plata.
- Rastogi, N. K., & Raghavarao, K. S. M. S. (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: Considering Fickian diffusion in cubical configuration. *LWT - Food Science and Technology*, 37(1), 43–47. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00131-2](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00131-2)

- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Niranjana, K., & Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science and Technology*, 13(2), 48–59. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00032-8)
- Restrepo, A., Cortés, M., & Márquez, C. (2009). Uchuvas (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E. *VITAE, Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*, 16(1), 19–30. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v16n1/v16n1a03>
- Roche, L., Mascheroni, R., & Della, P. (2013). Estudio de la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de zanahoria. *Centro de Investigación Y Desarrollo En Criotecnología*, 11(2), 81–92.
- Rodríguez. (2013). “*Obtención De Frutos Deshidratados De Calidad Diferenciada Mediante La Aplicación De Técnicas Combinadas.*” Universidad nacional de la plata.
- Ronceros, R., & Quevedo, J. (2015). Efecto del pretratamiento químico en el deshidratado por métodos combinados del arandano. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642007000600008>
- Ronda, F., Gómez, M., Blanco, C. A., & Caballero, P. A. (2005). Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chemistry*, 90(4), 549–555. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.023>
- Rossi, D., Fuentes, R., Pardo, F., Reyes, D., & Urbina, E. (2012). Efecto de la temperatura y sinergismo de sacarosa, sacarina y sugar light en la deshidratación osmótica de aguaymanto (*Physalis peruviana*). *Agroindustrial Science*, 1, 100–109.
- Ruiz, S., & López, R. (2017). “*Elaboración de un producto de cuarta gama a partir de Daucus carota (ZANAHORIA) mediante deshidratación osmótica y evaluación de la vitamina ‘A’ durante el almacenamiento.*” Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Salgado, T., & Martínez, R. (2006). *Relacion entre la intensidad respiratoria y las*

propiedades fisicoquímicas del banano (Musa sapientum L.) var. criollo, tomate (Solanum betaceum) var. morada y mango (Mangifera indica L.) var. azúcar. Universidad de la Salle. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15583/00798449.pdf>

Salvatori, D., Andrés, A., Chiralt, A., & Fito, P. (1999). Osmotic dehydration progression in apple tissue I: spatial distribution of solutes and moisture content. *Journal of Food Engineering*, 42([https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00083-7)), 125–132.

Sanjinez, E., Branco, I., Takito, S., & Corbari, J. (2010). Influencia de la deshidratación osmótica y de la adición de cloruro de calcio en la conservación de kivis minimamente procesados. *Ciência E Tecnologia de Alimentos*, 30(1), 205–209. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000500031>

Saurelt, R., Raoult, A., Ríos, G., & Guilbert, S. (1994). Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple I . Fresh plant tissue. *Journal of Food Science*, 29(1004), 531–542.

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/FRI-120016208>

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 hortofrutícola del país.* Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sierra exportadora. (2013). Estadística del sistema integrado de información del comercio exterior (SIICEX) de Promperú, 12. Retrieved from http://www.sierraexportadora.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/fichas_aguaymanto.pdf

Silva, R., Della Roca, P., Tisocco, O., & Mascheroni, R. (2014). Efecto de la temperatura sobre la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de papa (*Solanum tuberosum* L .). *Publicación de Investigación Y Posgrado de La Facultad Regional*

Buenos Aires., 12(2), 37–44.

SUNAT. (2017). Estadística de los principales mercados de aguaymanto. Perú. Retrieved from http://www.sunat.gob.pe/estad-comExt/modelo_web/anuario17.html

Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guia de campo de los cultivos andinos*. Fao; Anpe-Perú.

Tonon, R., Baroni, A., & Hubinger, M. (2007). Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions : Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. *Elsevier*, 82, 509–517. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.03.008>

Vega, A., Palacios, M., Boglio, F., Pássaro, C., Jeréz, 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. *Ciência E Tecnologia de Alimentos*, 27(3), 470–477. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000300008>

Velasquez, E., & Velasquez, K. (2017). *Evaluación de las características fisicoquímicas del aguaymanto (Physalis peruviana L.) de la zona andina y selva en diferentes estados de madurez*. Universidad nacional del centro del Perú.

Villalba, L., Herrera, A., & Orduz, J. (2012). Parámetros de calidad en la etapa de desarrollo y maduración en frutos de dos variedades y un cultivar de mandarina Citrus reticulata Blanco). *Orinoquía, Universidad de Los Llanos*, 18(1), 21–34.

Wais, N. (2011). *Secado Combinado De Frutas: Deshidratación Osmótica Y Microondas*. Universidad Nacional de La Plata. Retrieved from <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/38494>

Wallace, H. M., & Walton, D. a. (2011). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. <https://doi.org/10.1533/9780857092885.450>

- Winkelhausen, E., Jovanovic-Malinovska, R., Velickova, E., & Kuzmanova, S. (2007). Sensory and Microbiological Quality of a Baked Product Containing Xylitol as an Alternative Sweetener. *International Journal of Food Properties*, 10(3), 639–649. <https://doi.org/10.1080/10942910601098031>
- Wong, M., & Stanton, D. (1993). Effect of removal of amino acids and phenolic compounds on non-enzymic browning in stored kiwifruit juice concentrates. Nueva Zelanda: Technology.
- Yanqui, P., & Maquera, V. (2010). *Efecto del estado de madurez, concentración y temperatura en la difusión efectiva de sacarosa en papaya (Carica papaya L.) en el modelo de osmodeshidratación*. Universidad Nacional del altiplano de Puno.
- Yupanqui, C. (2010). *Influencia de la sacarosa y glucosa en la deshidratación osmótica del mango criolla (Manguifera indica L.) de Satipo*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Zapata, J.-L., Saldarriaga, A., Londoño, M., & Díaz, C. (2002). Manejo del cultivo de la uchuva en Colombia. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecaria*, p. 41.
- Zapata, J., Carvajal, L., & Ospina, N. (2002). Efecto de la concentración de solutos y la relación Jarabe / Fruta sobre la cinética de deshidratación osmótica de papaya en láminas. *Interciencia*, 27(0378–1844), 236–242.
- Zapata, J., & Castro, G. (1999). *Deshidratación osmótica de frutas y vegetales*. *Revista Facultad Nacional Agraria de Medellín*. Universidad de Antioquía.
- Zapata, J., & Montoya, A. (2012). Deshidratación Osmótica de Láminas de Mango cv . Tommy Atkins Aplicando Metodología de Superficies de Respuesta. *Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 65(27), 6507–6518.
- Zecchi, B. de M. R. C. L. (2005). Modelado de la deshidratación osmótica de arándanos, 10.
- Zoulias, E. I., Piknis, S., & Oreopoulou, V. (2000). Effect of sugar replacement by polyols

and acesulfame-K on properties of low-fat cookies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(14), 2049–2056. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200011\)80:14<2049::AID-JSFA735>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200011)80:14<2049::AID-JSFA735>3.0.CO;2-Q)

Zumbé, A., Lee, A., & Storey, D. (2001). Polyols in confectionery: the route to sugar-free, reduced sugar and reduced calorie confectionery. *British Journal of Nutrition*, 85(S1), S31. <https://doi.org/10.1079/BJN2000260>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo 1. Proceso del osmodeshidratado del aguaymanto



Recepción materia prima



Acondicionamiento de materia prima



Preparación de la solución osmótica



Agitación a 120 rpm



Peso de la muestra después del proceso de deshidratación osmótica.



Aguaymanto osmodeshidratado

Anexo 2. RMSE Ley de Fick

		HUMEDAD				GANANCIA DE SOLIDOS			
		Y _{exp}	Y _{mod}	SSE	RMSE	Y _{exp}	Y _{mod}	SSE	RMSE
REPETICIÓN I	T1	0.76	25000.00	0.00521	0.072	4.57	97711.22	0.080	0.282
	T2	0.74	20000.00	0.00333	0.058	6.12	78168.97	0.051	0.226
	T3	0.64	20000.00	0.00333	0.058	11.08	78168.97	0.051	0.226
	T4	0.74	20000.00	0.00333	0.058	6.22	78168.97	0.051	0.226
	T5	0.59	20000.00	0.00333	0.058	12.68	78168.97	0.051	0.226
	T6	0.74	16666.67	0.00231	0.048	6.05	65140.81	0.035	0.188
	T7	0.79	25000.00	0.00521	0.072	1.27	97711.22	0.080	0.282
	T8	0.75	25000.00	0.00521	0.072	5.65	97711.22	0.080	0.282
	T9	0.71	20000.00	0.00333	0.058	7.52	78168.97	0.051	0.226
	T10	0.78	25000.00	0.00521	0.072	2.36	97711.22	0.080	0.282
	T11	0.77	25000.00	0.00521	0.072	3.43	97711.22	0.080	0.282
	T12	0.75	20000.00	0.00333	0.058	5.37	78168.97	0.051	0.226
REPETICIÓN II	T1	0.77	20000.00	0.00333	0.058	3.66	78168.97	0.051	0.226
	T2	0.71	16666.67	0.00231	0.048	7.67	65140.81	0.035	0.188
	T3	0.69	16666.67	0.00231	0.048	8.95	65140.81	0.035	0.188
	T4	0.73	25000.00	0.00521	0.072	6.83	97711.22	0.080	0.282
	T5	20.68	25000.00	0.00520	0.072	14.72	97711.22	0.080	0.282
	T6	0.70	20000.00	0.00333	0.058	8.55	78168.97	0.051	0.226
	T7	0.79	20000.00	0.00333	0.058	1.96	78168.97	0.051	0.226
	T8	0.76	20000.00	0.00333	0.058	4.64	78168.97	0.051	0.226
	T9	0.67	12500.00	0.00130	0.036	9.67	48855.61	0.020	0.141
	T10	0.78	20000.00	0.00333	0.058	2.54	78168.97	0.051	0.226
	T11	0.76	20000.00	0.00333	0.058	4.01	78168.97	0.051	0.226
	T12	0.72	16666.67	0.00231	0.048	6.63	65140.81	0.035	0.188
p>0.05		R1		0.00403			R1	0.06155	
		R2		0.00322			R2	0.04921	

Anexo 3. RMSE del modelo Azuara

		PA				GS			
		Y _{exp}	Y _{mod}	SSE	RMSE	Y _{exp}	Y _{mod}	SSE	RMSE
REPETICIÓN I	T1	23.07	1428.57	0.00001646	0.004	4.57	277.78	0.00000062	0.001
	T2	30.90	2500.00	0.00005080	0.007	6.12	555.56	0.00000252	0.002
	T3	55.62	5000.00	0.00020372	0.014	11.08	1250.00	0.00001279	0.004
	T4	31.42	1000.00	0.00000782	0.003	6.22	204.08	0.00000033	0.001
	T5	64.04	5000.00	0.00020303	0.014	12.68	1000.00	0.00000812	0.003
	T6	30.56	5000.00	0.00020579	0.014	6.05	833.33	0.00000570	0.002
	T7	19.40	270.27	0.00000052	0.001	5.07	53.48	0.00000002	0.000
	T8	39.25	1666.67	0.00002207	0.005	7.77	333.33	0.00000088	0.001
	T9	7.75	384.62	0.00000118	0.001	1.53	75.76	0.00000005	0.000
	T10	25.13	555.56	0.00000234	0.002	2.47	100.00	0.00000008	0.000
	T11	12.48	500.00	0.00000198	0.001	3.60	151.52	0.00000018	0.000
	T12	18.18	769.23	0.00000470	0.002	4.97	200.00	0.00000032	0.001
REPETICIÓN II	T1	18.49	172.41	0.00000020	0.000	7.87	136.99	0.00000014	0.000
	T2	38.92	714.29	0.00000380	0.002	8.95	400.00	0.00000127	0.001
	T3	45.57	2000.00	0.00003183	0.006	3.66	555.56	0.00000254	0.002
	T4	34.48	625.00	0.00000291	0.002	6.83	121.95	0.00000011	0.000
	T5	43.18	2500.00	0.00005030	0.007	8.55	555.56	0.00000249	0.002
	T6	74.33	10000.00	0.00082099	0.029	14.72	2000.00	0.00003284	0.006
	T7	21.49	500.00	0.00000191	0.001	4.25	98.04	0.00000007	0.000
	T8	49.35	1666.67	0.00002180	0.005	9.84	344.83	0.00000094	0.001
	T9	7.42	666.67	0.00000362	0.002	1.47	53.48	0.00000002	0.000
	T10	11.39	294.12	0.00000067	0.001	2.25	58.82	0.00000003	0.000
	T11	35.10	1000.00	0.00000776	0.003	6.95	200.00	0.00000031	0.001
	T12	20.51	2000.00	0.00003265	0.006	4.06	370.37	0.00000112	0.001
p>0.05		R1		0.00006004		R1		0.00000263	
		R2		0.00008154		R2		0.00000349	

Anexo 4. RMSE del modelo de Biswal y Bozorgmehr

		PP				GS			
		Y_{exp}	Y_{mod}	SSE	RMSE	Y_{exp}	Y_{mod}	SSE	RMSE
REPETICIÓN I	T1	18.50	6.55	1.19E-09	3.45E-05	25.77	4.57	3.75E-09	6.12E-05
	T2	24.78	4.22	3.52E-09	5.93E-05	17.12	6.12	1.01E-09	3.18E-05
	T3	44.54	2.50	1.47E-08	1.21E-04	10.02	11.08	9.29E-12	3.05E-06
	T4	25.20	4.94	3.42E-09	5.85E-05	20.00	6.22	1.58E-09	3.98E-05
	T5	51.36	4.46	1.83E-08	1.35E-04	18.08	12.68	2.43E-10	1.56E-05
	T6	24.51	2.13	4.17E-09	6.46E-05	8.61	6.05	5.48E-11	7.40E-06
	T7	5.95	20.41	1.74E-09	4.17E-05	82.64	1.53	5.48E-08	2.34E-04
	T8	20.54	6.88	1.56E-09	3.94E-05	27.86	5.07	4.33E-09	6.58E-05
	T9	31.48	3.55	6.50E-09	8.06E-05	14.39	7.77	3.65E-10	1.91E-05
	T10	10.01	8.99	8.58E-12	2.93E-06	53.48	2.47	2.17E-08	1.47E-04
	T11	14.58	7.47	4.21E-10	2.05E-05	36.36	3.60	8.95E-09	9.46E-05
	T12	20.15	13.23	3.99E-10	2.00E-05	30.30	4.97	5.35E-09	7.31E-05
REPETICIÓN II	T1	14.83	7.84	4.07E-10	2.02E-05	31.75	3.66	6.57E-09	8.11E-05
	T2	31.05	3.71	6.23E-09	7.89E-05	20.70	7.87	1.37E-09	3.70E-05
	T3	36.62	3.45	9.17E-09	9.58E-05	14.47	8.95	2.54E-10	1.59E-05
	T4	27.65	5.11	4.23E-09	6.51E-05	78.13	6.83	4.24E-08	2.06E-04
	T5	59.61	3.38	2.63E-08	1.62E-04	14.25	14.72	1.85E-12	1.36E-06
	T6	34.63	1.80	8.98E-09	9.48E-05	7.28	8.55	1.34E-11	3.66E-06
	T7	5.95	19.34	1.49E-09	3.87E-05	28.90	1.47	6.27E-09	7.92E-05
	T8	17.23	7.13	8.50E-10	2.92E-05	13.70	4.25	7.43E-10	2.73E-05
	T9	39.51	3.11	1.10E-08	1.05E-04	12.44	9.84	5.61E-11	7.49E-06
	T10	9.13	14.75	2.63E-10	1.62E-05	59.88	2.25	2.77E-08	1.66E-04
	T11	16.45	7.25	7.05E-10	2.66E-05	29.41	4.06	5.36E-09	7.32E-05
	T12	28.15	5.05	4.45E-09	6.67E-05	20.45	6.95	1.52E-09	3.90E-05
		R1	4.67E-09			R1	8.51E-09		
		R2	6.18E-09			R2	7.68E-09		

Anexo 5. Energía de activación, ambos agentes.

REPETICIÓN I	AGENTE	BRIX	Ea De _(PA)	Ea De _(GS)	Ea K _(PA)	Ea K _(GS)
	SACAROSA	20	14.007	2.993	16.585	16.801
		40	89.580	7.431	32.677	32.687
	XILITOL	20	14.748	3.799	7.445	7.453
		40	41.864	13.805	14.180	14.121
REPETICIÓN II	AGENTE	BRIX	Ea De _(PA)	Ea De _(GS)	Ea K _(PA)	Ea K _(GS)
	SACAROSA	20	14.007 ± 1.5b	2.993 ± 0.1a	16.585 ± 2.7b	16.801 ± 3.1b
		40	89.580 ± 16.4a	7.431 ± 2.6a	32.677 ± 3.3a	32.687 ± 3.3a
	XILITOL	20	14.748 ± 11.4b	3.799 ± 0.1a	7.445 ± 1.3b	7.453 ± 1.3b
		40	41.864 ± 24.3ab	13.805 ± 6.2a	14.180 ± 3.3b	14.121 ± 3.6b
	p-valor		0.024	0.097	0.003	0.004
	R ²		88.39%	76.25%	95.75%	95.11%

Anexo 6. Color durante el proceso de DO

				TIEMPO	L*	a*	b*	c*	h*
°B	T°		CONTROL		58.07	32.80	48.97	61.21	57.27
20	20	T1	240	50.26	15.42	45.41	47.97	71.23	
20	30	T2	240	45.14	16.64	39.54	43.03	66.91	
20	40	T3	240	44.58	16.85	38.17	41.75	65.97	
40	20	T4	240	49.05	18.05	48.25	51.53	69.38	
40	30	T5	240	44.12	15.28	34.14	37.44	64.81	
40	40	T6	240	51.28	20.90	49.84	54.11	66.94	
20	20	T7	240	45.86	12.86	39.70	41.73	72.09	
20	30	T8	240	48.14	19.20	46.39	50.25	67.31	
20	40	T9	240	45.29	16.82	40.71	44.09	67.09	
40	20	T10	240	47.59	16.19	44.74	47.62	69.87	
40	30	T11	240	46.07	19.58	42.18	46.57	64.75	
40	40	T12	240	49.71	19.89	48.90	52.81	67.75	