

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos



*Una Institución Adventista*

**Estudio de la cinética de osmodeshidratación aplicando vacío  
en aguaymanto (*Physalis peruviana L.*)**

**Por:**

José Daniel Chuquipoma Morales

**Asesor:**

Ing. Zembe Alejandro Saito Roncal

**Lima, octubre de 2018**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Zembe Alejandro Saito Roncal de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias alimentarias, de la Universidad Peruana Unión.

### DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“Estudio de la cinética de osmodeshidratación aplicando vacío en aguaymanto (*Physalis peruviana L.*)”** constituye la memoria que presenta el **Bachiller José Daniel Chuquipoma Morales** para aspirar al título de Profesional de **Ingeniero de Alimentos** ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

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

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 04 días de Abril del año 2019.



---

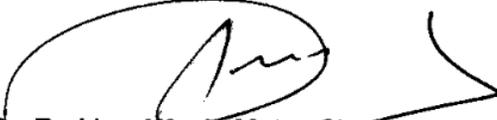
Ing. Zembe Alejandro Saito Roncal

Estudio de la cinética de osmodeshidratación acoplada a vacío de  
Aguaymanto (*Physalis peruviana* L)

# TESIS

Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero de Alimentos

## JURADO CALIFICADOR

  
Dr. Rodrigo Alfredo Matos Chamorro  
**Presidente**

  
Dr. Julio Florencio Paredes Guzmán  
**Secretario**

  
Dr. Reynaldo Justino Silva Paz  
**Vocal**

  
Ing. Guido Fulgencio Anglas Hurtado  
**Vocal**

  
Ing. Zembe Alejandro Saito Roncal  
**Asesor**

Lima, 25 de octubre de 2018

**DEDICATORIA;**

Con inmenso amor y gratitud a mis padres

Jeni Morales y Agustín Coras por su amor,

esfuerzo y sacrificio.

## **AGRADECIMIENTO**

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, un eterno agradecimiento primeramente a Dios.

Agradezco también a mi madre “Jeni Alicia Morales Guía” que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me han ayudado a salir adelante en los momentos difíciles.

A mi padre “Agustín Coras Capcha” por haberme enseñado lo que significa luchar por tus sueños, por darme la confianza que necesité durante el largo camino.

A mi familia “Chuquipoma/Morales”, porque me han brindado apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A mi asesor de tesis Ing. Zembe Alejandro Saito Roncal por su apoyo, paciencia incondicional y por todo el tiempo brindado durante el desarrollo de la investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I. EL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO II. MARCO TEORICO .....</b>	<b>3</b>
2.1. AGUAYMANTO .....	3
2.1.1. Definición de producto .....	3
2.1.2. Clasificación Taxonómica .....	4
2.1.3. Morfología .....	5
2.1.4. Variabilidad .....	7
2.1.5. Ambiente ecológico .....	8
2.1.6. Composición fisicoquímica .....	9
2.1.7. Composición Nutricional.....	10
2.1.8. Producción del aguaymanto .....	11
2.1.9. Distribución .....	12
2.2. El COLOR .....	13
2.2.1. Equipo de determinación de color .....	13
2.3. DESHIDRATADO OSMÓTICO .....	15
2.3.1. Generalidades del deshidratado osmótico .....	15
2.3.2. Factores que afectan el proceso de la deshidratación osmótica.....	17
2.3.3. Influencia del deshidratado osmótico .....	25
2.3.4. Ventajas del Deshidratado Osmótico .....	26
2.3.5. Aspectos termodinámicos.....	27
2.3.5.1. Modelos de transferencia de masa .....	29
2.3.5.2. Modelos empíricos.....	30

<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
3.1. Lugar de Ejecución .....	32
3.2. Materia prima .....	32
3.3. Materiales, equipos y reactivos .....	32
3.3.1. Materiales de laboratorio .....	32
3.3.2. Reactivos .....	33
3.3.3. Equipos .....	33
3.4. Metodología experimental.....	34
3.4.1. Determinación de Parámetros Físicoquímicos .....	34
3.4.1.1. Determinación humedad .....	34
3.4.2. Proceso de osmodeshidratación de aguaymanto .....	35
3.5. Diseño Estadístico .....	38
3.5.1. Medición de Transferencia de masa .....	39
3.5.2. Modelo de Azuara .....	40
3.5.3. Modelo de Fick.....	40
3.5.4. Modelo de Peleg.....	41
3.5.5. Medición del Ajuste .....	41
3.6. Análisis estadístico de proceso de osmodeshidratación de aguaymanto.....	42
<b>CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>42</b>
4.1. Análisis físicoquímicos .....	42
4.1.1. Humedad.....	44
4.1.2. Sólidos Solubles (°Brix).....	47
4.1.3. pH .....	49
4.1.4. Índice de acidez (%) .....	52

4.1.5.	Color escala CIEL*a*b*	55
4.2.	Cálculos cinéticos en la deshidratación osmótica al vacío de aguaymanto	60
4.2.1.	Ajuste de la humedad a los modelos cinéticos	60
4.2.2.	Ajuste de los sólidos solubles a los modelos cinéticos	65
4.3.	Efecto de los parámetros cinéticos de osmodeshidratación en las constantes cinéticas de los modelos de Azuara y Peleg	69
4.3.1.	Parámetros cinéticos de la humedad	69
4.3.2.	Parámetros cinéticos de los sólidos solubles	73
<b>CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>78</b>
5.1.	Conclusiones	78
5.2.	Recomendaciones	79
<b>CAPITULO VI. REFERENCIAS</b>		<b>80</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición fisicoquímica del aguaymanto por 100 gramos de fruto .....	10
Tabla 2. Composición nutricional del aguaymanto (100g de pulpa).....	11
Tabla 3. Índice de color para frutos de aguaymanto.....	15
Tabla 4. Funcionalidad de algunos agentes osmóticos.....	18
Tabla 5. Variables independientes y los niveles para cada una .....	38
Tabla 6. Valores reales y codificados por diseño de arreglo de Taguchi L <sub>9</sub> (3 <sup>4</sup> ).....	38
Tabla 7. Análisis fisicoquímico del aguaymanto en 180 minutos de proceso de DO .....	43
Tabla 8. Caracterización colorimétrica del aguaymanto fresco en escala CIEL*a*b* .....	55
Tabla 9. Resultados finales del color L*a*b* y IC del aguaymanto en la DO .....	56
Tabla 10. Análisis de varianza del color CIEL*a*b* durante la D.O de aguaymanto .....	57
Tabla 11. Valores cinéticos en la pérdida de agua de los modelos de Azuara, Fick y Peleg durante la deshidratación osmótica de aguaymanto en 180 minutos de proceso .....	61
Tabla 12. Valores cinéticos de los sólidos solubles de los modelos de Azuara, Fick y Peleg durante la deshidratación osmótica de aguaymanto en 180 minutos de proceso .....	66
Tabla 13. Análisis de varianza para el análisis cinético del modelo de Peleg y Azuara .....	69
Tabla 14. Análisis de varianza del análisis cinético del modelo empírico de Peleg y Azuara .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fruto de aguaymanto ( <i>Physalis peruviana</i> L.) (Dostert et al., 2011).....	4
Figura 2. Características del aguaymanto ( <i>Physalis peruviana</i> L.) (Dostert et al., 2011). ....	6
Figura 3. Ubicación de la producción Nacional del aguaymanto (Araujo, 2009).....	12
Figura 4. Locación del color en el espacio CIEL*a*b* (Westland, 2001).....	14
Figura 5. Esquema experimental de la evaluación del efecto de la temperatura, presión de vacío, sólidos solubles y acidez durante la deshidratación osmótica de aguaymanto ( <i>Physalis peruviana</i> L.).....	37
Figura 6. Variación del % humedad en el tiempo de 180 minutos de DO .....	45
Figura 7. Humedad final de cada tratamiento a los 180 minutos de DO.....	46
Figura 8. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para el porcentaje de humedad.....	46
Figura 9. Variación de sólidos solubles en el tiempo de 180 minutos de DO.....	48
Figura 10. Sólidos solubles finales de cada tratamiento a los 180 minutos de DO.....	49
Figura 11. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para los sólidos solubles (°Brix) ....	49
Figura 12. Variación del pH en el tiempo de 180 minutos de DO .....	50
Figura 13. pH al final de cada tratamiento a los 180 minutos de DO .....	51
Figura 14. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para el pH.....	52
Figura 15. Variación del índice de acidez en el tiempo de 180 minutos de DO .....	53
Figura 16. Índice de acidez final de cada tratamiento a los 180 minutos de DO .....	54
Figura 17. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para el índice de acidez.....	54
Figura 18. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para L* (- oscuro + blanco).....	59
Figura 19. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para a* (- verde + rojo) .....	59
Figura 20. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para b* (- azul + amarillo) .....	59

Figura 21. Se expone los nueve tratamientos propuestos por Taguchi $L_9$ ( $3^4$ ) evaluando la cinética de pérdida de agua en comparación con los modelos empíricos de Azuara, Fick y Peleg durante la deshidratación osmótica al vacío de aguaymanto en 180 minutos.....	62
Figura 22. Se expone los nueve tratamientos propuestos por Taguchi $L_9$ ( $3^4$ ) evaluando la cinética de sólidos solubles en comparación con los modelos empíricos de Azuara, Fick y Peleg durante la deshidratación osmótica al vacío de aguaymanto en 180 minutos.....	67
Figura 23. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante cinética $k_1$ de Peleg .....	70
Figura 24. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante cinética $k_2$ de Peleg .....	70
Figura 25. Gráficas de promedio y efectos múltiples en pérdida de agua $PA_{eq}$ de Azuara..	72
Figura 26. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante $S_1$ de Azuara .....	72
Figura 27. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante cinética $k_1$ de Peleg .....	75
Figura 28. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante cinética $k_2$ de Peleg .....	76
Figura 29. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante $GS_{eq}$ de Azuara .....	77
Figura 30. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante $S_2$ de Azuara .....	77

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

$a^*$ : coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)  $b^*$ :

coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

Def: Difusividad efectiva ( $m^2/s$ )

GS: ganancia de solidos

$GS_{\infty}$ : ganancia de sólidos en el tiempo infinito (equilibrio)

$GS_t$ : ganancia de sólidos en el tiempo  $t$   $k_1$  y  $k_2$ : constantes cinéticas Peleg

$L^*$ : luminosidad

$MC_{(t)}$ : cantidad de humedad o sólidos en un tiempo  $t$

$MC_{eq}$ : humedad en el equilibrio

$MC_o$ : cantidad de agua inicial o de solidos

$MC_o$ : humedad inicial  $n$ : es el número de observaciones.

min: minutos PA:

pérdida de agua

$PA_{\infty}$ : perdida de agua en el tiempo infinito (equilibrio)

$PA_t$ : perdida de agua en el tiempo  $t$

PP: pérdida de peso  $r$ : radio (m)

$S_1$  y  $S_2$ : constantes cinéticas Azuara

ST: sólidos totales para determinado tiempo,  $t$

$ST^o$ : sólidos totales iniciales  $t$ : tiempo (min)

$X_{ci}$ : es el valor estimado para cada modelo

$X_{ei}$ : es el valor experimental

## RESUMEN

Se estudió el efecto de la temperatura, concentración osmótica, acidez y presión de vacío durante la deshidratación osmótica de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*). Se utilizó una relación jarabe/fruta de 4:1 durante 180 minutos de proceso, tomando lecturas cada 15 min. Las variables de estudio influyeron significativamente sobre la humedad, actividad de agua y  $b^*$ . Sin embargo, los sólidos solubles por efecto de la temperatura, concentración osmótica y acidez; pH por efecto de la temperatura y concentración osmótica; Índice de acidez por efecto de la temperatura y acidez;  $L^*$  por la temperatura y concentración osmótica;  $a^*$  por efecto de la concentración osmótica. Se compararon tres modelos matemáticos para describir la cinética de pérdida de agua y la ganancia de sólidos a diferentes temperaturas (40, 50 y 60 °C), concentración osmótica (30, 40 y 50 °Brix), acidez (0.05, 0.075 y 0.1 % de ácido cítrico) y presión de vacío (200, 300 y 400 mmHg). Se ajustaron dos modelos empíricos (Azua y Peleg) y un modelo fenomenológico a partir de la solución de la segunda ley de Fick. Los resultados indicaron que el modelo de Peleg ajustó mejor que el modelo empírico de Azua y que en menor grado el modelo fenomenológico de Fick, corroborado con la bondad de ajuste del error relativo medio porcentual (ERM %) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Se logró la mayor pérdida de agua de  $17.97 \pm 2.23$  % y la mayor ganancia de sólidos de  $42 \pm 3.06$  °Brix en las siguientes condiciones; temperatura 60 °C, concentración osmótica 50 °Brix, acidez 0.075 % y presión 200 mmHg.

**Palabras Clave:** Aguaymanto, Modelos cinéticos, Deshidratación osmótica, Pérdida de agua y Ganancia de sólidos.

## ABSTRACT

We studied the effect of temperature, osmotic concentration, acidity and vacuum pressure during the osmotic dehydration of Aguaymanto (*Physalis peruviana L.*). A syrup/fruit ratio of 4:1 was used during 180 minutes of the process making readings every 15 minutes. The variables studied significantly influenced moisture, water activity and  $b^*$ . However, the soluble solids by effect of temperature, osmotic concentration and acidity; pH by effect of temperature and osmotic concentration; Acidity index by effect of temperature and acidity;  $L^*$  by temperature and osmotic concentration;  $a^*$  by effect of osmotic concentration. Three mathematical models were compared to describe the kinetics of water loss and the gain of solids at different temperatures (40, 50 and 60 °C), osmotic concentration (30, 40 and 50 °Brix), acidity (0.05, 0.075 and 0.1% citric acid) and vacuum pressure (200, 300 and 400 mmHg). Two empirical models were adjusted (Azua and Peleg) and a phenomenological model from the solution of the second law of Fick. The results indicated that the model of Peleg adjusted better than the empirical model of Azua and that to a lesser degree the phenomenological model of Fick, corroborated with the goodness of adjustment of the relative error mean percentage (ERM %) and the coefficient determination ( $R^2$ ). The highest water loss of  $17.97 \pm 2.23$  % and the highest solid gain of  $42 \pm 3.06$  °Brix were achieved under the following conditions; Temperature 60 °C, osmotic concentration 50 °Brix, acidity 0.075% and pressure 200 mmHg.

**Keywords:** Aguaymanto, kinetic models, osmotic dehydration, water loss and solids gain.

## **CAPÍTULO I. EL PROBLEMA**

“El aguaymanto está dentro de los alimentos perecederos, las frutas y la gran mayoría tienen un periodo de vida relativamente corto por lo que poseen una elevada cantidad de agua, esto ha despertado interés por los investigadores en la industria alimentaria en desarrollar nuevas tecnologías que permitan prolongar la vida útil de los alimentos (Krokida et al., 2003). Los alimentos funcionales tienen un mercado creciente que aporta grandes ganancias económicas, la sociedad hoy en día demanda alimentos que proporcionen un beneficio adicional para la salud, tal como el aguaymanto que cumple los requisitos y es una gran opción (PROMPERÚ, 2010)”.

“En la actualidad recientemente se inició el estudio orientado a buscar oportunidades de innovación del aprovechamiento y conservación de ciertos tipos de alimentos, en especial de frutas tropicales, como por ejemplo, el aguaymanto, que actualmente en el mercado carece de productos industrializados. La deshidratación osmótica (DO) ha brindado una alternativa en el desarrollo de formulación de nuevos productos con una mejora en la estabilidad durante su almacenamiento. Así mismo, evita la pérdida de gran parte de los nutrientes y mejora las características organolépticas del alimento (Dávila & López, 2005; Genina, 2002; Zapata & Montoya, 2012)”.

“El efecto de vacío permite acelerar el intercambio del soluto hacia la matriz gracias a una forzada y pronta penetración de la solución, esto es mayormente favorable para la extracción del agua, como las moléculas del agua pueden migrar más fácilmente en los poros intercelulares llenados con líquido, llevando niveles de pérdida de agua más altos (Jongen, 2002). Las mejoras de las técnicas de procesamiento de osmodeshidratado contemplan el estudio profundo de los parámetros que los gobiernan el proceso de transferencia de masa que

permitan modelar y disminuir el tiempo de procesamiento (Espinoza, Landaeta & Núñez, 2006). Los modelos de Azuara, Peleg y Fick permiten describir y predecir el comportamiento de la pérdida de agua (PA) y ganancia de sólidos (GS) en función al tiempo. La importancia de los modelos cinéticos recae en los parámetros que ayudan a calcular el tiempo requerido, afectado por la temperatura, concentración osmótica, acidez y presión durante el proceso de deshidratación osmótica (Rahman et al., 2011; Rocca, & Mascheroni, 2010)”.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo general analizar el efecto de las condiciones de proceso en la cinética de osmodeshidratación de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) y como objetivos específicos los siguientes; analizar el efecto de los parámetros de deshidratación osmótica sobre las propiedades fisicoquímicas del aguaymanto, ajustar la cinética de deshidratación osmótica a los modelos de Fick, Peleg y Azuara y evaluar el efecto de los parámetros de deshidratación osmótica de aguaymanto sobre las constantes cinéticas de los modelos de Fick, Peleg y Azuara.

## CAPITULO II. MARCO TEORICO

### 2.1. AGUAYMANTO

#### 2.1.1. Definición de producto

El aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) es una fruta nativa de los países andinos (Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia) (Flores, 1997). Los valles interandinos presentan las zonas más apropiadas para este cultivo, por ser su medio agroecológico natural. Actualmente los cultivos se desarrollan mayoritariamente en la sierra del Perú (Cusco, Huánuco, Huancavelica, Junín y Cajamarca); sin embargo, también se presenta en la costa y selva (Herrera, 2000).

La planta de aguaymanto es de consistencia herbácea con una altura de  $1,5 \pm 0,3$  m y un ciclo de producción anual. Sus tallos y hojas están cubiertos por una pubescencia fina y blancuzca que desaparece con la edad. Las hojas son acorazonadas con bordes dentados de  $4,0 \pm 2,0$  cm de largo por  $2,5 \pm 1,5$  cm de ancho, muy vellosas; las flores tienen forma de campana, son grandes y abiertas, de color amarillo con manchas purpúreas en el interior. El cáliz desarrolla más que el ovario, posee 5 lóbulos que van creciendo hasta envolver completamente al fruto (Herrera, 2000).

El fruto contiene muchas semillas, su forma es redonda y mide entre  $2,0 \pm 0,5$  cm de diámetro con un color que varía del amarillo a naranja (Figura 1), su peso puede oscilar entre  $7,0 \pm 3,0$  g con un sabor agridulce muy característico (Dostert et al., 2011).

### 2.1.2. Clasificación Taxonómica

El aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), uchuva o también conocida como uvilla, pertenece a la familia de las Solanáceas; es decir, posee características similares a la familia de la papa, el tomate y el tabaco, aun cuando su crecimiento es arbustivo. A continuación, se muestra la taxonomía del aguaymanto (Schreiber, 2015).

Reino : Plantae

División : Magnoliophyta

Clase : Magnoliopsida

Orden : Solanales

Familia : Solanaceae

Subfamilia : Solanoideae

Tribu : Physaleae

SubTribu : Physalinae

Género : *Physalis*



Figura 1. Fruto de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) (Dostert et al., 2011).

### 2.1.3. Morfología

Schreiber (2015) describe que el aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) es una planta perenne, herbácea y semiarbusciva y fuertemente ramificada, en condiciones normales puede crecer entre  $1,30 \pm 0,20$  m. Las características de la planta (Figura 2) según su estructura son:

**Raíz:** el aguaymanto posee una raíz fibrosa de las cuales la mayoría está situada a unos 10 a 15 cm de profundidad, posee una coloración amarillo pálido y puede estar formado por un conjunto de raíces que forman un radio hasta de 0,60 m que luego se ramifica.

**Tallo:** es de color enteramente verde cubierto con vellosidades. Durante la etapa de crecimiento se desarrolla sus ramas laterales que crecen más que el propio tallo, con la finalidad de agrandar lateralmente a la planta el cual sirve como protección del suelo contra la erosión.

**Hojas:** presentan una peculiar característica que son suaves al tacto por las vellosidades, son de formas enteras y acorazonadas, se las considera cordiformes y son de forma alterna a la planta con un limbo entero.

**Flor:** la corola de la flor es circular (20 mm de diámetro), hermafrodita solitaria y pedunculada con cinco pequeños picos. El cáliz llega a un tamaño de 5 cm de largo, presenta características como un farol colgante que dentro de ella encierra un fruto pequeño que es una baya de  $14,0 \pm 6,0$  mm de diámetro. El color verde del cáliz se mantiene hasta madurar el fruto y posteriormente cambia de tonalidad a un pardo translúcido cuando el fruto se pone amarillo (etapa de maduración).

**Fruto:** varía dependiendo según los ecotipos, el color y aroma depende esencialmente del grado de madurez, que van desde un verde limón (fisiológicamente verde) a un amarillo dorado (fisiológicamente maduro). La baya carnosa presenta una pulpa jugosa de sabor azucarado muy agradable y sus semillas están rodeadas de materia mucilaginosa. El diámetro y el peso varían según los ecotipos, desde  $1,80 \pm 0,55$  cm y  $4,80 \pm 3,30$  g respectivamente. La fruta contiene muchas semillas. Cuando ha completado la madurez, el cáliz y la fruta caen, el fruto se desarrolla durante  $70 \pm 10$  días.

**Semillas:** las semillas son muy pequeñas (desprovistas de hilos placentarios), ovaladas, achatadas, miden de  $2,0 \pm 1,0$  mm de largo, de ancho un promedio aproximado de 1,0 mm; siendo el número muy variable en cada fruto que van desde 150 a 320 semillas por fruto; la semilla es de color amarillo grisáceo o amarillo parduzco.



Figura 2. Características del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) (Dostert et al., 2011).

#### **2.1.4. Variabilidad**

En la actualidad, el cultivo del aguaymanto se ha extendido su producción tanto a los altiplanos de los países tropicales y subtropicales, como a países del Caribe. Hoy en día en países de Sudamérica como Ecuador, Perú, Chile y Brasil aumentan su área de cultivo por el fruto con beneficios a la salud (Fischer & Melgarejo, 2013).

Existen variedades comerciales conocidas en Estados Unidos, Nueva Zelanda y también en Bulgaria se han desarrollado cultivares (Popova, Panayotov & Kouzmov, 2010). El aguaymanto se clasifica en ecotipos en relación con el tamaño, color y forma del fruto, forma de la flor, y altura y tamaño de la planta. En Colombia, Kenia y Sudáfrica se cultivan y tienen origen los tres ecotipos más frecuentes (Sullivan, Shah & Chissoe, 2005).

La variabilidad y los genotipos se han clasificado en los diferentes países debido a la adaptación de los diferentes climas en las regiones específicas. Los frutos de Sudáfrica y Kenia tienen frutos más grandes, debido a su mayor número de cromosomas, pero con las concentraciones de sólidos solubles (°Brix) y ácido cítrico en menor cantidad (Rodríguez & Bueno, 2006). En América Latina y el Caribe, según Ligarreto, Lobo & Correa (2005) se establecieron colecciones en Brasil, Chile, Costa Rica, Ecuador, Guadalupe, Guatemala, México y el Perú. En estas regiones se encuentran variedades tradicionales y silvestres con mucha variabilidad genética.

El Perú es considerado como un importante centro de biodiversidad mundial y la cordillera de los andes peruanos contribuyen a la gran diversidad de ecotipos de aguaymanto y somos la base genética de los cultivos comerciales del mundo. Sin embargo, somos recientes en la comercialización del fruto de aguaymanto (Dostert et al., 2011).

Se realizaron ensayos de cultivo en las universidades de Cuzco y Cajamarca, se clasificaron en ecotipos para seis variedades de la zona del norte del Perú: Urquiaco (Cajamarca), Ayacucho (Cajamarca), Huancayo 1 y Huancayo 2 (Junín), Cajabamba (Cajamarca) y Era (Cajamarca). Recientemente productores de Cajamarca hicieron llegar al Museo de Historia Natural (UNMSM), cuatro ecotipos diferentes a los mencionados que son; Cumbico, Encañada, Villa andina y San Marcos para la determinación Botánica (Dostert et al., 2011)

#### **2.1.5. Ambiente ecológico**

- *Clima.*

El capulí es de ciclo vegetativo anual en regiones de clima templado y planta perenne en climas tropicales. En Sudamérica, crece en forma silvestre en la Región andina en altitudes entre 600 a 3000 m.s.n.m (CONAFRUT, 2000). En condiciones de nuestro país Terán (2012), refiere que el aguaymanto se cultiva entre los 1800 y los 3000 msnm. Sin embargo, altitudes de 2500 a 3000 msnm se encuentran los tamaños más grandes y mejores apariencias de capuchón ha altitudes de 1800 a 2700 msnm. El fruto prospera a temperatura promedio para el cultivo entre  $15 \pm 3$  °C.

A su vez, crece en forma silvestre en Hawái a nivele 300 y 2.400 m.s.n.m. En el norte de la india no prospera en altitudes por encima de 1.200 m.s.n.m; en cambio en el sur de la india prospera hasta los 1.800 m.s.n.m. El capulí es una planta que requiere de completa exposición a la radiación solar, estar libre de temperaturas de helada y de vientos fuertes; buena cantidad de humedad en el suelo durante el crecimiento vegetativo; pero menos humedad cuando se aproxima la maduración de frutos (CONAFRUT, 2000).

Según Zapata et al., (2002), manifiestan que en Colombia el aguaymanto se adapta fácilmente a una amplia gama de condiciones agroecológicas, crece entre 1500 y los 3000 msnm, pero los mejores cultivos se ubican a una altura entre los 1800 y los 2800 msnm, además requiere de una humedad relativa promedio de  $75 \pm 5$  %.

- ***Suelo.***

El capulí prospera en varios tipos de suelos, tales como arenosos o arcillo cascajosos, siempre que éstos tengan buen drenaje. En suelos aluviales de alta fertilidad, el capulí crece vigorosamente y los frutos no logran la madurez adquirir el amarillo dorado que es lo característico. En cambio, en suelos arenosos se obtiene buenas cosechas. En terrenos planos y con mal drenaje las siembras de capulí no darán buenos resultados, por lo que será preferible establecerla en laderas moderadas que eliminen fácilmente cualquier exceso de agua (Dostert et al., 2011). La reacción del o suelos debe ser preferentemente en el rango de  $7,0 \pm 0,5$  de pH. La cobertura alrededor de las plantas a base de materia orgánica descompuesta ayudara a disminuir la competencia que hacen las malezas (CONAFRUT, 2000).

#### **2.1.6. Composición fisicoquímica.**

Actualmente se vienen realizando numerosas investigaciones que reportan la caracterización fisicoquímica del “aguaymanto” (Tabla 1), los valores coinciden en el parámetro de solidos solubles que van  $13,5 \pm 0,75$ , el porcentaje de acidez expresado como el ácido predominante (% ácido cítrico) varía entre  $2,2 \pm 0,2$ . En los frutos que alcanzan el grado de madures el pH y los °Brix decrecen, lo que lleva a un aumento de la acidez de un  $2,0 \pm 0,1$  % (Puente et al., 2011).

Tabla 1. *Composición fisicoquímica del aguaymanto por 100 gramos de fruto*

<b>Investigador</b>	<b>(Mendoza Ch, ( Martín A, Cortes ( Márquez C, Trillos ( Restrepo A, Rodríguez S &amp; R &amp; Montoya C, G, Cartagena V &amp; Cortes R &amp; Millán 2012) 2010) Cotes t, 2009) Márquez C, 2009)</b>			
Actividad de agua	0.998	0.998	-	-
Acidez (%)	2	2.05	2.4	2.1
°Brix	13	14.3	12.5	13.8
Densidad (kg/m3)	1.1031	1.038	-	-
pH	3.72	3.39	3.56	3.39

Fuente: Ramírez, (2015).

La composición nutricional del aguaymanto está asociada con diversos beneficios del fruto, estas características nutricionales contienen componentes biológicamente activos que proporcionan beneficios para la salud y reducen el riesgo de ciertas enfermedades (Ramírez, 2015). Entre sus principales componentes están sus altas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas A, B, C y fitoesteroles, así como la presencia de minerales esenciales, vitaminas, tales como E y K1 y fisalinas, que en conjunto le daría propiedades medicinales ligadas a esta fruta (Tacanga, 2015).

### **2.1.7. Composición Nutricional**

El aguaymanto es una excelente fuente de vitamina A (1,1 mg/100 de g) y vitamina C (28 mg/100 de g), que contribuye y otorga beneficios a la salud de la piel. La fruta es muy rica en fósforo (39 mg/100 de g), ayuda a prevenir la osteoporosis, y en hierro (1,2 mg/100 de g), un mineral esencial para la formación y purificación de la sangre y que es deficiente en numerosas mujeres embarazada. Así mismo ayuda a eliminar albumina de los riñones. En la tabla 2 se reporta la composición nutricional por 100 g de pulpa (Flores, Fisher & Sora, 2000).

Tabla 2. *Composición nutricional del aguaymanto (100g de pulpa)*

<b>Factor Nutricional</b>	<b>Contenido (por 100g de pulpa)</b>
Calorías (kcal)	54.00
Agua (g)	79.60
Proteínas (g)	1.10
Grasa (g)	0.40
Carbohidratos (g)	13.10
Fibra (g)	4.80
Ceniza (g)	1.00
Calcio (mg)	7.00
Fósforo (mg)	38.00
Hierro (mg)	1.20
Vitamina A (mg)	1.48
Tiamina (mg)	0.18
Rivoflamina (mg)	0.03
Niacina (mg)	1.30
Ácido ascórbico (mg)	26.00

Fuente: Flores, Fisher & Sora, (2000).

### **2.1.8. Producción del aguaymanto**

En la sierra la estacionalidad se encuentra entre los meses de marzo a junio, mientras que en la costa la cosecha se concentra en meses de octubre a noviembre. La diferencia de los primeros cultivos es que los frutos son más grandes. Se puede tener rendimiento de 20-33 Tn/ha. La cosecha empieza después de siete a nueve meses desde la primera siembra (PROMPERÚ, 2010).

El enfoque comercial del aguaymanto en el Perú es recientemente de 6 años, la producción total en el 2008 fue de 8 toneladas por hectárea por año (Tn/h/año), aumentando a 16 Tn/h/año en el 2011; es decir en ese periodo la producción nacional se duplicó como consecuencia del incremento en el área de siembra, este progreso se debe a controladores biológicos y a la implementación de sistemas de monitoreo (Schreiber, 2012).

## 2.1.9. Distribución

### 2.1.9.1. Distribución nacional

Cajamarca es el lugar donde se inició el cultivo de aguaymanto con una visión comercial y asociativa, siendo el primer departamento con mayor producción de aguaymanto en el Perú siendo más del 60 % del total de hectáreas sembradas (Coronado & Rodríguez, 2014). En la actualidad solo en ocho departamentos andinos el aguaymanto ha sido registrado. La producción está asociado a zonas (frías) mésicas, siendo las principales regiones andinas de Ancash, Cajamarca, Cuzco, Huánuco y Junín (Figura 3) (Araujo, 2009).



Figura 3. Ubicación de la producción Nacional del aguaymanto (Araujo, 2009).

### 2.1.9.2. Distribución mundial

El aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) es originaria de los Andes del norte de Sudamérica y hoy en día es cultivada en todos los Andes sudamericanos. En el siglo XVIII comenzó el cultivo en Europa específicamente en Inglaterra. Las diversidades de ejemplares asilvestrados de aguaymanto están documentadas en diversos países como Ecuador, Chile, Venezuela, Hungría, India, Australia, China, Macronesia y Sudáfrica (Araujo, 2009). Los últimos cinco

años las exportaciones de aguaymanto pasaron de US\$ 160 MIL (2010) a US\$ 1 millón 600 mil (2014), enviándose más del 50 % de las exportaciones de este fruto peruano a los mercados de Estados Unidos y Alemania (Sierra y selva Exportadora, 2015). Según Sierra y selva exportadora (2016), menciona que la exportación de aguaymanto logró una cifra récord al crecer en 81,5 %, en comparación del 2015 y alcanzó ventas por más de US\$ 2 millones. Entre enero y septiembre, el aguaymanto peruano llegó a 35 países, siendo Estados Unidos el principal destino al concentrar el 29 % de los envíos al exterior. Le sigue los países bajos (22 %), Alemania (14 %), Japón (11 %), Canadá (6 %) y Corea (4 %), de acuerdo con las cifras reportadas por Aduana (PROMPERÚ, 2010).

## **2.2. EL COLOR**

La evaluación de color está considerada una propiedad electromagnética importante para determinar la aceptación de un alimento. Refleja los valores nutricionales de sabor o funcionalidad de un producto; la medición del color se puede utilizar si se presenta una correlación entre la presencia del componente coloreado y el producto químico en el alimento, lo cual es más sencilla y rápida que un análisis químico, en donde depende las cualidades del observador y en las condiciones que se observa en función de la luz, la valoración se da en términos de intensidad y longitud de onda (Sahin, Summu & Ibarz, 2009).

Para describir los colores se ha desarrollado una diversidad de sistemas, entre ellos existen cinco sistemas de orden de color utilizados para los alimentos: Munsell, CIE, CIEL\*a\*b\* (CIELAB), Hunter Lab y Lovibond (Retti & Hen, 2014).

### **2.2.1. Equipo de determinación de color**

Uno de los instrumentos de medición de color más utilizados es el **CIELAB**.



Tabla 3. Índice de color para frutos de aguaymanto

Intervalos	Coloración
$IC \leq -7$	Coloración verde
$-7 < IC < 0$	Coloración verde amarillosa
$IC \approx 0$	Coloración amarilla
$0 < IC < 7$	Coloración anaranjada
$IC > 7$	Coloración anaranjada intensa

Fuente: Márquez et al., (2009).

### **2.3. DESHIDRATADO OSMÓTICO**

#### **2.3.1. Generalidades del deshidratado osmótico**

La deshidratación osmótica consiste en someter un producto en una solución osmótica permitiendo la migración en el contenido de agua del producto con un aumento simultáneo de sólidos por efecto de la presión osmótica debido a la alta concentración de azúcares en el medio y/o sales. Esto provoca dos flujos principales, simultáneos: la transferencia de agua desde el alimento hacia la solución y al mismo tiempo la transferencia de soluto desde la solución hacia el alimento. Estos flujos se deben a los gradientes de concentración del agua y soluto, a un lado y otro de las membranas que forman el tejido parenquimático del alimento. Durante el proceso el contenido de humedad y de soluto de la solución osmótica cambian hasta lograr un equilibrio (Raoult & Wack, 1994; Corzo, Ramírez & Bracho, 2008).

La deshidratación osmótica en alimentos se aplica para aumentar el periodo de vida del producto mediante la eliminación parcial del agua reduciendo así la actividad de agua del alimento, actividad enzimática causante del deterioro e inhibir el desarrollo y crecimiento

microbiano (Gémina, 2002). Con este proceso se puede eliminar hasta el 50 % de peso referido al peso inicial de la cantidad de agua del alimento. La osmosis fue empleada por los egipcios hace más de 3000 años, para la conservación del material biológico, es el caso de las momias en las que usaron sales de carbonato de sodio y cloruro de sodio para preparar las soluciones empleadas como agente osmótico de deshidratado (Nguyen & William, 2007).

Entre las ventajas de la deshidratación osmótica en los alimentos esta la reducción de peso por eliminación parcial del solvente, mejorando los atributos sensoriales; color, textura y sabores. Zapata & Montoya (2012) menciona que para mejorar la deshidratación de frutas se emplean agentes adicionales como las mieles, azúcares o sales. La presencia de la azúcar durante la DO permite inhibir la migración de oxígeno hacia la fruta, reduciendo el pardeamiento enzimático (Alegre, Rosa & Linares, 2017). Así mismo, es posible adicionar solutos y especies tales como agentes conservantes, nutrientes, saborizantes o mejoradores de textura como componentes activos a través de la dilución osmótica y retardar la pérdida de sustancias volátiles durante el proceso de secado térmico (Espinoza, 2006).

Como la deshidratación osmótica no hace perder al producto suficiente porción de agua para que el mismo sea considerado como autoestable, es necesario complementar el tratamiento con otra operación posterior para disminuir la actividad de agua del producto, pudiendo ser el secado con aire caliente una de las alternativas para estabilizar al alimento (Arreola & Rosas, 2007).

Sin embargo, la deshidratación podría ocasionar efectos negativos como la producción de cambios indeseables como pérdidas de jugosidad, mala rehidratación del producto seco, destrucción o debilitación mecánica de la materia prima, pérdida de vitaminas termolábiles, cambios de sabores, aparición de olores extraños, cambio de color del producto final, los

cuales pueden ser mejorados con grandes ventajas con la deshidratación osmótica (Zapata & Montoya, 2012).

### **2.3.2. Factores que afectan el proceso de la deshidratación osmótica**

Durante la deshidratación osmótica ocurre la transferencia de masa a través de las membranas y paredes celulares. Las cualidades de las membranas celulares pueden variar de parcial o totalmente permeable. El proceso de osmosis permite la remoción de agua de los alimentos, el frente de la deshidratación se mueve desde la superficie de contacto con la solución osmótica hacia el centro (Rastogi et al., 2002).

El efecto más probable de daño celular se debe a la reducción de esta por causa de la pérdida de agua durante el proceso de deshidratación osmótica, el resultado origina que la membrana celular externa y la pared celular pierdan contacto (Rastogi et al., 2002). Entre las variables que afectan al proceso de deshidratación están: la concentración de la solución osmótica, el tipo de soluto, la temperatura, la presión, los tiempos de residencia, la geometría y el tipo de tejido (Rastogi & Raghavarao, 2004).

#### **a. Tipo de agente osmótico**

Comúnmente es usado la sacarosa para las frutas y el cloruro de sodio para los vegetales, pescados y carnes. También existen diversas mezclas de solutos que han sido probadas (Tabla 4). Existen otros agentes osmóticos que son: glucosa, fructosa, dextrosa, lactosa, maltosa, polisacáridos, maltodextrina, jarabes de almidón de maíz y sus mezclas (Rocca, 2010). La elección dependerá del costo del soluto, compatibilidades organolépticas y preservación adicional otorgadas por el soluto al producto final (Cerdán & López, 2014).

Soluciones de azúcar y sal han demostrado ser las mejores opciones, basados en su efectividad, comodidad y sabor (González, 1999). Las diversas combinaciones de los solutos pueden lograr la máxima pérdida de agua (PA), mejorar características sensoriales, la mayor ganancia de sólidos (GS) y el menor costo de la solución. Al incrementar la masa molar del soluto disminuye los valores de GS y aumenta PA, disminuyendo la masa molar del soluto (glucosa, fructosa y sorbitol) aumenta GS por efecto de mayor penetración de las moléculas (Montoya & Quintero, 1999).

Tabla 4. *Funcionalidad de algunos agentes osmóticos*

Nombre	Usos	Ventajas
Sacarosa	Principales en frutas	Alta capacidad de remoción de agua. Reduce el pardeamiento e incrementa la retención de volátiles
Lactosa	Principales en frutas	Sustitución parcial de la sacarosa, incrementar el dulzor
Maltodextrinas	Frutas y hortalizas	Sustitución parcial de sacarosa, incrementar el dulzor
Fructosa	Principales en frutas	Sustitución parcial de sacarosa, incrementar el dulzor
Glicerol	Frutas, hortalizas y pescado	Mejor textura
Sorbitol		Mejor textura
Citrato de sodio	hortalizas	Alta capacidad para reducir $a_w$
Cloruro de Sodio	Principales en carnes, pescados y hortalizas	Alta capacidad para reducir $a_w$
Sacarosa y Cloruro de Sodio	Frutas, hortalizas y carne	Combina los efectos de reducción de la $a_w$ de la sal con la remoción de agua del azúcar
Carbohidratos de alto peso molecular (almidón)	Pescado, carne, frutas	Capacidad de remoción de agua con baja penetración de soluto al producto

Fuente: Colina, (2010)

#### **b. Concentración de la solución osmótica**

Martínez (1998) menciona que la concentración de la solución osmótica utilizada influye en gran medida a la velocidad del proceso, ya que define la fuerza impulsadora para la

transferencia de masa. La reducción en 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 (Leyva & Ruiz, 2014).

Teniendo en cuenta que conforme se incrementa la concentración osmótica, se formara una barrera en la superficie del producto que sirve como barrera evitando la pérdida de nutrientes, un exceso de concentración osmótica puede afectar la pérdida de agua. Así mismo, la distinta viscosidad de la solución y de la fase líquida del alimento que va aumentando con el tiempo del proceso, tiene un efecto importante en la velocidad de transporte (Coronado & Rodríguez, 2014).

Raoult & Wack (1994) mencionan que el incremento en el tiempo de contacto en la solución con el alimento da como resultado una deshidratación más efectiva. Se ha observado que, en las primeras dos horas del proceso, las velocidades de pérdida de agua y ganancia de sólidos son altas; posterior a ello las velocidades sufren una dramática disminución.

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

La temperatura es el parámetro más importante que afecta la cinética de pérdida de agua y la ganancia de solutos, presentando dos efectos. El primer efecto con la temperatura favorece a la agitación molecular mejorando así la velocidad de difusión, el cual puede ser interpretado con la ecuación de Arrhenius (Cerdán & López, 2014). El segundo efecto se debe a medida que se incrementa la temperatura la membrana celular se dilata aumentando así el tamaño de poro, pero se debe evitar rondar el rango de 50 a 55 °C aproximadamente donde se estima un cambio en la permeabilidad de productos frutihortícolas (Rocca, 2010). La pérdida de agua es mayor en comparación con la ganancia de solutos por efecto de la temperatura, ya que altas

temperaturas el soluto no puede migrar tan fácilmente como el agua a través de la membrana celular de los tejidos del producto (Zapata & Montoya, 2012). Si bien la deshidratación aumenta con el incremento de la temperatura, no conviene sobrepasar los 49 °C ya que se generan problemas por pardeamiento enzimático y se deteriora el sabor (Tepper, 1996).

#### **d. pH de la solución**

Un factor adicional que puede modificar agua/sólidos es el pH del jarabe, debido que la transferencia de masa aumenta con la disminución de pH a causa de la acidificación. El descenso del pH mejora la tasa de pérdida de agua, por consecuencia de los cambios en las propiedades tisulares y cambios en la textura de las frutas y vegetales que facilitan la eliminación de agua (Camacho & Díaz, 1997; Moy, Lau & Dollar, 1978).

Si la reducción del pH es combinada con otro método que reduzca la actividad de agua, va a permitir generar un efecto antimicrobiano muy eficaz. La adición de un acidificante natural como el ácido cítrico otorga un medio uniforme, en donde si el pH está por debajo de 4.6 se convierte en un inhibidor microbiano (Salsamendi et al., 2013).

#### **e. Propiedades del soluto empleado**

Las propiedades fisicoquímicas de los solutos como: pesos moleculares, estado iónico y solubilidad del soluto en el agua afecta el proceso osmótico. Es muy importante conocer la capacidad de concentración del soluto a emplearse en solución. Debido a que un soluto con mayor peso molecular, la pérdida de agua se incrementa y la ganancia de solutos resulta despreciable respecto de cuando se usa un soluto de menor peso molecular. Por consiguiente, si se busca la mayor pérdida de agua es de emplearse solutos de mayor peso molecular y de

emplearse solutos de menor peso molecular dará mayor impregnación en la ganancia de solutos (Rocca, 2010; Cerdán, & López, 2014).

Diversos estudios determinan que en combinaciones de dos o más solutos hace más eficiente la deshidratación al proporcionar cada uno de ellos la ventaja que los caracteriza, basados en su efectividad, comodidad y sabor (Grabowski et al., 1994). Cuando se usan dos solutos como sacarosa y sal se forma una barrera de sacarosa en la superficie que evita la penetración de la sal, cuya presencia en la solución mantiene una baja actividad de agua y en consecuencia produce una continua pérdida de agua y ganancia de solutos baja. Esta combinación resulta ser más eficiente que si se usa la sal o la sacarosa solas; de esta manera la deshidratación es mayor y la penetración de solutos es menor (Baroni & Hubinger, 2000).

Montoya & Quintero (1999) enfatizan la combinación de sacarosa y sal, donde la sacarosa formará una barrera en la superficie del alimento evitando así el ingreso de la sal, cuya presencia en la solución permitirá mantener una baja actividad de agua y por consecuencia producirá una continua pérdida de agua y baja ganancia de solutos. Por lo tanto, la combinación resulta ser más eficiente en comparación con el empleo de un soluto a la vez, ya que de esta manera la deshidratación es mayor y la penetración de solutos es menor.

#### **f. Agitación de la solución osmótica**

La agitación permite reducir la resistencia a la transferencia de masa de la superficie del producto, además de mantener uniforme la temperatura y la concentración de solutos en la solución. Sin embargo, Rocca (2010) menciona que el efecto de la agitación con paletas puede originar daños al producto y debe evitarse. Tepper (1996) enfatiza que la deshidratación

aumenta en el inicio cuando se agita la solución, posteriormente la difusión controla la velocidad de salida del agua.

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

La geometría del producto es muy importante ya que variará la superficie por unidad de volumen expuesta a la difusión. Asimismo, el tamaño influye en la velocidad de deshidratación y en la absorción de solutos puesto que la superficie por unidad de volumen se modifica para los diferentes tamaños. Tepper (1996) & Lericci et al., (1985), mencionan que al reducir el tamaño del trozo a una DO aumenta la superficie específica y también la pérdida de agua. Sin embargo, existe un límite de tamaño bajo el cual lo que se favorece en gran medida es la ganancia de sólidos. En el caso si el producto es sometido en forma de cubos o esferas, al incrementar lado o el radio respectivamente, la superficie por unidad de volumen disminuye y entonces, la pérdida de agua resulta inferior para tamaños superiores.

Si la relación área a volumen es grande, la ganancia de los sólidos solubles por el sistema en estudio es grande y la pérdida de agua es baja, de allí que la ganancia de sólidos este limitado por la superficie de transferencia que presente el alimento a la solución osmótica. El volumen de la fruta disminuye en relación directa a la pérdida de humedad, mientras que el área de la fruta se puede considerar constante aun cuando varía poco durante la operación de deshidratado osmótico (Colina, 2010).

#### **h. Relación masa de la solución a masa del producto**

Cuando mayor sea la masa de la solución a masa de producto empleada en el experimento la transferencia de masa será mayor para la pérdida de agua y ganancia de solutos (Rocca, 2010). Uddin & Islam (1985) evaluaron la masa de solución a masa del producto durante la

deshidratación osmótica en bananas a 21 °C, determinando que la pérdida de peso aumento hasta alcanzar una relación de cuatro, posteriormente más allá del valor no se evidencio un aumento significativo.

A medida que transcurre la deshidratación osmótica y los solutos van penetrando al alimento, la solución va disminuyendo su concentración de solutos, lo cual reduce de modo gradual el gradiente osmótico y así la velocidad de transferencia de masa. Cuando se utilizan volúmenes grandes de solución en relación con la masa de producto, el gradiente de concentración no disminuye notablemente, por lo que la velocidad de transferencia del soluto no se ve afectada, sin embargo, esto puede incrementar los costos de proceso (Cerdán & López, 2014).

#### **i. Propiedades fisicoquímicas del alimento**

La naturaleza del alimento debido a su composición química (proteínas, carbohidratos, grasas, contenido de sal, etc.), estructura física (porosidad, arreglo de células, orientación de fibras y tipo de piel) y los pretratamientos como congelación y escaldado pueden originar efectos significativos en la cinética de deshidratación osmótica. Según Islam & Flink (1983) sometieron papas frescas a escaldado con vapor durante cuatro minutos previo a la deshidratación osmótica que tuvo como resultado una menor pérdida de agua, pero una mayor ganancia de solutos. Todo esto debido al daño que sufre la membrana durante el calentamiento que trajo consigo una insignificante deshidratación del producto.

Los diversos productos sometidos a la deshidratación osmótica otorgan una variabilidad en los resultados obtenidos en el proceso, ya que las características suelen ser distintas para cada una como la compacidad de los tejidos, contenido inicial de sólidos solubles e insolubles,

espacios intercelulares, presencia de gas en el interior de los tejidos, relación entre fracciones de diferentes pectinas (pectinas solubles en agua y protopectinas) y niveles de gelificación de pectinas. Cuando un producto es muy poroso generalmente se aplica la deshidratación osmótica al vacío con la finalidad de facilitar la salida del aire del interior del producto (Shi & Maupoey, 1993).

#### **j. Presión de operación**

La transferencia de agua total depende de dos mecanismos que se da durante deshidratación osmótica que son: la difusión y el flujo por capilaridad. La aplicación de vacío mejora la transferencia de agua, pero no influye sobre la ganancia de solutos (Fito, 1994). El flujo capilar de agua depende de la porosidad y de la fracción de espacios huecos del producto (Shi & Maupoey, 1994; Fito & Pastor, 1994; Rahman & Perera, 1996).

Cuando se emplea vacío se tiene un marcado efecto en la transferencia de masa. Los mecanismos involucrados en la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de tejido celular dependen del nivel estructural del tejido (Fito, 1994). Las células externas rotas pueden impregnarse fácilmente con la solución externa, y en los espacios intercelulares capilar en procesos llevados a cabo a presión atmosférica promueve flujo. Sin embargo, cuando se aplica vacío al sistema, el aire interno de los poros se extrae, se producen una deformación en el volumen del producto y se promueve una impregnación capilar. Los fenómenos de impregnación y deformación, ocurridos durante el pulso de vacío incrementan los valores del coeficiente de difusión (Fito & Pastor, 1994). La impregnación está sujeta al tipo de soluto y al gradiente de la concentración osmótica, es decir a mayor concentración mayor será la viscosidad de la solución (Cerdán & López, 2014).

### **k. Tiempo de inmersión del producto en la solución**

El producto se encuentra sometido dentro de la solución donde se da el proceso de difusión en estado no estacionario. El tiempo es una variable importante ya que permite evaluar la cantidad de agua removida y la ganancia de sólidos antes de alcanzar el equilibrio. Se ha evidenciado que la velocidad de remoción de agua es mayor que la de penetración del soluto, lo cual puede aprovecharse cuando se desea remover agua sin adicionar grandes cantidades de soluto al producto (Colina, 2010).

#### **2.3.3. Influencia del deshidratado osmótico**

Según Barbosa & Vega (2000) mencionan que la deshidratación osmótica mejora la calidad del sabor de algunas frutas, potencia el aroma y prolonga la vida útil del producto. Así mismo, García (2010) enfatiza sobre la textura, aroma, color y valor nutritivo por efecto de la deshidratación osmótica.

La textura: una de las características de un producto deshidratado es que se encuentran arrugados debido a las roturas celulares de tensiones y distorsiones en las células, en comparación con su estado natural que son relativamente rígidas. Si las temperaturas son altas conlleva a una evaporación del agua y en efecto origina que el soluto pase a la superficie del producto que conduce a la formación de una capa superficial dura e impenetrable, este fenómeno se llama acortezamiento y reduce la velocidad de deshidratación otorgando un producto seco en la superficie, pero húmedo en su interior.

Aromas: la temperatura no solo afecta al paso de agua a vapor durante la deshidratación, sino que también elimina algunos componentes volátiles del alimento. El efecto podrá ser

mayor o menor dependiendo de la temperatura, la concentración de sólidos y de la presión de vapor de las sustancias volátiles y su solubilidad en el vapor de agua.

El color: la deshidratación afecta también al color por los cambios químicos que se producen en las clorofilas, carotenoides y otros pigmentos como antocianinas,  $\beta$  alaminas, etc. La severidad del efecto es a consecuencia de someterlo a tiempos largos con una elevada temperatura durante el proceso de deshidratación. El color también suele ser afectado por la oxidación y la actividad enzimática para el desarrollo del pardeamiento en especial durante el almacenamiento.

Valor nutritivo: la pérdida de vitaminas viene en función de su solubilidad en agua. Un claro ejemplo es la riboflavina que a medida que el proceso de deshidratación avanza, estas alcanzan su sobresaturación y precipitan. Al igual que el ácido ascórbico que se mantiene disuelto hasta que el contenido de agua del alimento es muy bajo y reacciona con los solutos a mayor velocidad. La vitamina C es también sensible al calor y la oxidación. Los nutrientes liposolubles se encuentran en su mayor parte en la materia seca del alimento, por lo que durante la deshidratación no experimentan concentración alguna.

#### **2.3.4. Ventajas del Deshidratado Osmótico**

En la industria alimentaria el efecto positivo por la aplicación de la deshidratación osmótica en frutas ha permitido mejorar la calidad del producto básicamente en las características organolépticas. Para en el caso de productos dehidrocongelados la deshidratación osmótica reduce considerablemente los costos de empaque y distribución del producto (Biswal, & Bozorgmehr, 1991).

Los tratamientos químicos para reducir el pardeamiento enzimático pueden evitarse usando un agente osmótico. El azúcar tiene dos efectos: La inhibición efectiva de la polifenoloxidasa, enzima que cataliza el pardeamiento oxidativo de la mayoría de las frutas cuando se cortan y ve la prevención de la pérdida de sabores y aromas volátiles durante el posterior tratamiento del secado por aire o al vacío (Rocca, 2010). La estabilidad de los productos obtenidos por deshidratación osmótica es más estable durante el almacenamiento que los alimentos no tratados por este método. Esto se debe a que presentan a una menor actividad de agua, provocada por la ganancia del soluto y la pérdida del agua (García, 2010).

### **2.3.5. Aspectos termodinámicos**

Durante el secado osmótico, se presentan cuatro fenómenos físicos simultáneos. Los dos primeros son las ósmosis y la difusión, donde los componentes que se transfieren, sólidos solubles y agua, se estudian aplicando la primera y segunda ley de Fick. El tercero de los fenómenos es la tensión superficial y capilaridad, basándose en la ley de Young-Laplace. Estos tres fenómenos se presentan cuando la deshidratación osmótica se realiza a condiciones de presión atmosférica, pero si el sistema es sometido a presiones de vacío, además se presenta un cuarto mecanismo, que estudia el flujo de la solución osmótica dentro del proceso de la fruta y hortaliza, basándose en la ley de Hagen-Poiseuille (Rastogi et al., 2002)

El fenómeno de ósmosis que se produce por la transferencia de agua que se encuentra en el alimento hacia la solución osmótica se realiza a través de la membrana celular semipermeable propia del tejido vegetal que separa a ambas soluciones y que es la responsable de la transferencia del agua libre siendo selectivo el paso de los solutos. La fuerza impulsora del fenómeno osmótico del flujo de agua está dada por la diferencia de potencia química del

agua que se encuentra dentro del alimento, así como del agua de la solución osmótica que rodea al sistema (Schreiber, 2012).

Los fenómenos de ósmosis y difusión pueden ser tratados con la aplicación de la primera y segunda ley de Fick. Normalmente en la deshidratación se busca la mayor pérdida de agua y en menor grado la ganancia de solutos, esto ha sido comprobado por diversos autores siendo mayor la velocidad de salida de agua del fruto, que la entrada de sólidos del medio hacia el alimento. Existe una salida de sustancias hidrosolubles del fruto en pequeña cantidad, que con frecuencia se considera insignificante, y por lo general no se le toma en consideración (Camacho, 1997).

En una situación de ósmosis ideal, existe una membrana semipermeable en las células, selectiva a los solutos que se transportan. El ingreso del soluto en el alimento tratado por deshidratación osmótica se ha sido analizado ampliamente por Lenart y Flink, quienes encuentran que existe un gradiente de concentración de soluto desde la superficie del sistema hacia el centro de esta. El tamaño del soluto que enfrenta la entrada hacia las células es importante en el transporte. Las propiedades de semipermeabilidad de la membrana celular pueden modificarse por efecto separado o combinado de la presión y la temperatura, lo que facilitaría o dificultaría el ingreso del soluto por el mecanismo de difusión (Fito & Pastor, 1994).

En la penetración de la sacarosa, como soluto es mayor que la del cloruro de sodio, y la pérdida de agua en la superficie del tejido que está en contacto con la solución concentrada, es muy alta, lo que puede originar que la estructura del tejido y las células encoja y colapsa, pudiendo influir esto en las propiedades de transferencia de masas de esta región de la muestra del alimento (Babalís & Belessiotis, 2004).

### **2.3.5.1. Modelos de transferencia de masa**

Sustancia como el agua y los solutos, están contenidas en las estructuras celulares formando un sistema solido-liquido, para extraer el o los componentes deseados, el sólido se pone en contacto con una fase fluida. Un ejemplo de esto son las operaciones de secado o de extracción, que han sido muy estudiadas desde el punto de vista de transferencia de masa. La transferencia o transporte del soluto es casi siempre interpretada como un fenómeno difusional, mientras que la obtención de un flujo de agua considerablemente superior a la ganancia de soluto es considerada un fenómeno de ósmosis (Rastogi & Raghavarao, 2004).

La ósmosis se produce a través de las membranas celulares semi-permeables, permeables al agua, pero impermeables o selectivas a los solutos, dependiendo del tamaño y la forma de las moléculas en la parte espacial (Krokida et al., 2003). Todo esto ocurre en los espacios intracelulares de los tejidos, mientras que el soluto queda localizado en una capa superficial del producto difundándose a lo largo del alimento con valores de velocidades relativamente muy bajas (Suca, 2007; Raoult et al., 1991).

Los modelos existentes para la explicación de la transferencia de materia en la deshidratación osmótica están basados en la hipótesis de que el transporte macroscópico puede ser descrito por un modelo difusional en régimen no estacionario. Estos modelos se refieren a frutas y legumbres tratadas con soluciones de sacarosa. Con este tipo de aproximación, la modelización se reduce a la transferencia de materia a una simple transferencia binaria de agua y soluto, esto se puede justificar por el hecho de que la transferencia del soluto es cuantitativamente despreciable (Ochoa et al., 2005).

La densidad de flujo másico de cada componente se ha relacionado con los gradientes de dichos componentes por medio de un coeficiente de difusión que es función de las fracciones másicas de los diferentes componentes recogen una aproximación para describir los flujos difusivos de agua y sólidos solubles en un sistema ternario. En un caso tratan alubias verdes en salmuera, el modelo simula satisfactoriamente los flujos de transporte de agua y soluto (Nguyen et al., 2007).

### **2.3.5.2. Modelos empíricos**

Son los que utilizan las observaciones directas o los resultados de experimentos del fenómeno estudiado. Los modelos empíricos establecen una relación directa entre las variables cinéticas de pérdida de agua, ganancia de sólidos y el tiempo de procesamiento con el objetivo de obtener coeficientes o parámetros que sirven para la interpretación del proceso físico. Este modelo empírico tiene la ventaja de no requerir llegar al equilibrio para predecirlo y la desventaja de limitar su validez sólo al rango experimental para el que se obtuvieron los parámetros (Ramiro, 2013).

#### ***i. Modelo matemático Azuara***

A partir del balance de masa Azuara modeló la pérdida de agua y la ganancia de sólidos en la deshidratación osmótica, obteniendo dos parámetros ajustables (Azuara, *et al.*, 1992a, Azuara *et al.*, 1998; Azuara *et al.*, 2002; Walizsewski *et al.*, 2002; Parjoko *et al.*, 1996; KaymakErtekin y Sultanoglu, 2000). En general el modelo se centra en el balance de agua en el alimento. La ecuación consta de dos parámetros que permiten predecir la pérdida de agua y la ganancia de solutos en el tiempo, estos parámetros nacen a partir del balance de masa y son completamente ajustables. De igual forma se puede calcular los parámetros utilizando

datos obtenidos en tiempos relativamente cortos y el modelo de Azuara no requiere como dato el tamaño, la forma ni la estructura del alimento (Ramiro, 2013).

**ii. Modelo matemático Ley Fick para Osmodeshidratado**

La segunda ley de Fick es un modelo matemático para la predicción de la transferencia de masa de una sustancia que se transfiere de una fase a otra en un estado no estacionario en función al tiempo y al espacio, como se aprecia en la ecuación 1.

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_A \frac{\partial^2 C_A}{\partial X^2} \quad \text{Ec. (1)}$$

Por medio de la segunda Ley de Fick se puede obtener modelos matemáticos semiempíricos para diferentes operaciones como por ejemplo para deshidratación osmótica que sirve para la determinación del coeficiente de difusión efectivo en los alimentos con formar geométricas características tomando en consideración las condiciones del medio tanto para la pérdida de agua como para la ganancia de sólidos (Honorato, Oliveira & Magalhaes, 2005; Millán & Ostojich, 2005).

**iii. Modelo matemático Peleg**

Es un modelo no exponencial de dos parámetros y no deriva de leyes físicas, además de su simplicidad y fácil manejo (Paredes et al., 2012). La pérdida de agua o de humedad en el producto puede se puede modelar mediante la ecuación propuesta por Peleg 1988 (Della, 2010).

## **CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. Lugar de Ejecución**

La presente investigación se realizó en el Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos (CITAL) y el laboratorio de Centro de Investigación en Ciencias de Alimentos (CICAL) de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, Lima (Km 19.5 Carretera Central, Ñaña- Lima).

### **3.2. Materia prima**

El Aguaymanto fue adquirido del mercado de frutas ubicado en Av. Nicolás Arriola 4046 - Lima. El tamaño de lote fue de 30 kg, procedente de la provincia de Cajamarca.

### **3.3. Materiales, equipos y reactivos**

#### **3.3.1. Materiales de laboratorio**

- Papel aluminio con dimensión 4 cm x 3 cm.
- 03 Frascos de vidrio pírex 1kg
- 03 Acoples de alta presión 0.6 mm
- 03 Codos para acoples de alta presión 0.6 mm
- 03 Reguladores de caudal de alta presión 0.6 mm
- 6 Metros de manguera de alta presión de 0.5 mm
- 01 Bureta de 50 ml
- 03 Vasos precipitados de 2Litros
- 01 Bernier de 30 cm
- 12 Tubos de alambre de 10 cm de alto por un radio 2 cm
- Papel toalla

- 03 Morteros
- 03 Matraz Erlenmeyer
- 03 Lunillas de reloj
- 03 Placas petri

### **3.3.2. Reactivos**

- Azúcar rubia (Marca: Dulfina)
- Hidróxido de Sodio 0,1 N (Marca: Fermont)
- Hipoclorito de Sodio 0,05 % (Marca: Clorox)
- Fenolftaleína 1 % (Marca: Merck)
- Ácido Cítrico 0,05, 0,07 y 0,1 % (Marca: Ensign)
- Agua destilada

### **3.3.3. Equipos**

- Estufa (Mermmet, Modelo: UN200)
- Bomba de vacío (Tecnal, Modelo: TE-058)
- Termómetro (Hanna, Modelo: HI98501)
- Refractómetro Óptico (30 – 60°Brix)
- Cocina eléctrica (Finezza: Fz-204d4ch 2)
- Aqualab (Modelo: 3TE)
- Balanza analítica (OHAUS, Serie: 832936038)
- Potenciómetro (Hanna, Modelo: MI-2020)
- Colorímetro 3nh (Modelo: NR200, Serie: 2002260)

### **3.4. Metodología experimental**

#### **3.4.1. Determinación de Parámetros Físicoquímicos**

##### **3.4.1.1. Determinación humedad**

Se determinó humedad por el método gravimétrico (AOAC 931.04, 1990).

##### **3.4.1.2. Determinación sólidos solubles**

Se determinó los sólidos solubles (°Brix) empleando un refractómetro calibrado a 20 °C (AOAC 932.12, 1990).

##### **3.4.1.3. Determinación de pH**

Se analizó el pH por el método de potenciómetro (Hanna, modelo: MI-2020), previamente calibrado con buffer pH 7 buffer pH 4 (NTP, 206.014. 1981).

##### **3.4.1.4. Determinación de acidez titulable**

Se determinó el índice acidez, expresado por el ácido predominante ácido cítrico, por titulación con Hidróxido de sodio 0.1 N y agente indicador fenolftaleína (AOAC 942.15, 1990).

##### **3.4.1.5. Determinación de color**

La determinación del color se realizó con un colorímetro 3nh (Modelo: NR200, Serie: 2002260). Los análisis se realizaron por triplicado, los resultados se expresaron en los parámetros de L\*, a\* y b\* del sistema CIEL\*a\*b\*.

- L\* representa la diferencia entre la luz (L\* = 100) y la oscuridad (L\* = 0).
- a\* representa la diferencia entre el verde (-a\*) y el rojo (+a\*).
- b\* representa la diferencia entre azul (-b\*) y amarillo (+b\*).

El Índice de color describe la coloración de la epidermis de la fruta, permitiendo seguir la evolución de la maduración. El índice de color fue adaptado para los frutos de aguaymanto en grado de madurez, para lectura del IC se utilizó la ecuación 2 (Márquez et al., 2009). Donde:

$$\text{Índice de Color (IC)} = 1000 \times \left( \frac{a^*}{b^* \times L^*} \right) \quad \text{Ec. (2)}$$

### 3.4.2. Proceso de osmodeshidratación de aguaymanto

La descripción del esquema experimental se muestra en la figura 5. A continuación, se detalla cada una de las operaciones unitarias involucradas.

#### a) Recepción, selección y clasificación

La materia prima se verificó que reúna las siguientes características: fresca, sana y madura. La selección fue mediante una inspección visual y se clasificó por tamaño. Se eliminó aquellos aguaymantos que presentaron magulladuras y/o anomalías agronómicas.

#### b) Lavado y desinfectado

Se realizó un lavado con agua fría por inmersión en un 1 L agua + 0,05 % de Hipoclorito de sodio (H<sub>2</sub>O+NaClO), con la finalidad de desinfectar el fruto de aguaymanto.

**c) Pelado**

El aguaymanto es bastante delicado, por ende, el pelado fue manual con ayuda de unas pinzas, con la finalidad de evitar el mínimo daño hacia el fruto.

**d) Pesado**

Se determinó el peso (g) de cada unidad de aguaymanto, si bien se trabajó por triplicado se consideró evaluar las posibles desviaciones del experimento.

**e) Acondicionado de tubo de malla metálica**

Se acondicionó un tubo de malla metálica el cual permitió tener un control sobre cada unidad de aguaymanto. Así mismo, agilizó la extracción de las muestras, permitiendo el ordenamiento en las diferentes concentraciones osmóticas.

**f) Deshidratación osmótica**

Se trabajó nueve tratamientos propuestos por el arreglo Taguchi L<sub>9</sub> (3<sup>4</sup>), evaluando el efecto de la temperatura (°C), concentración osmótica (°Brix), acidez (%) de la solución y presión de vacío constante (mmHg) durante el proceso de 180 min. Las variables respuestas fueron: análisis fisicoquímicos, cálculos cinéticos y difusividad efectiva del aguaymanto, como se aprecia en la figura 5.

Operación	*Selección y clasificación	*Lavado y desinfectado	*Pelado	*Pesado	*Acondicionado tubo malla metálica	*Deshidratado osmótico a presión de vacío constante
Recepción de materia prima (aguaymanto), procedente del departamento de Cajamarca. Adquirido el 01 de mayo 2018	<p>Temperatura (°C)</p> <p>Concentración osmótica (°Brix)</p> <p>Ácido cítrico (%)</p> <p>Presión (mmHg)</p> <pre> 40 → 30 → 0.05 → 200      → 40 → 0.07 → 300      → 50 → 0.1  → 400 ----- 50 → 30 → 0.07 → 400      → 40 → 0.1  → 200      → 50 → 0.05 → 300 ----- 60 → 30 → 0.1  → 300      → 40 → 0.05 → 400      → 50 → 0.07 → 200 </pre>					
Condición	Tamaño	H <sub>2</sub> O+NaClO 1 L + 0.05 %	Manual (con pinzas)	Peso (g)	Numero de muestra y peso (g)	<p>Durante 180 minutos</p> <p>Temperatura: 40, 50 y 60 °C</p> <p>Concentración Osmótica: 30, 40 y 50 °Brix</p> <p>Acidez: 0.05, 0.075 y 0.1 %</p> <p>Presión: 200, 300 y 400 mmHg</p>
Controles	Radio:1.5 cm (Vernier)	Separar las magulladuras		-c/ unidad -Análisis físicoquímicos	Ejemplo: Muestra 1 = 2.05 g	<p>- Análisis Físicoquímicos</p> <p>- Cálculos cinéticos: PA, PP, GS, ST (%) - Difusividad efectiva</p>

Figura 5. Esquema experimental de la evaluación del efecto de la temperatura, presión de vacío, solidos solubles y acidez durante la deshidratación osmótica de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*)

### 3.5. Diseño Estadístico

Se utilizó el arreglo de Taguchi L<sub>9</sub> (3<sup>4</sup>), el cual presenta cuatro variables independientes, codificadas como: X1 (Temperatura °C), X2 (Concentración osmótica °Brix), X3 (concentración ácido cítrico) y X4 (Presión mmHg), ver tabla 5. Las variables respuestas son: análisis fisicoquímicos, cálculos cinéticos y difusividad efectiva del fruto.

Tabla 5. Variables independientes y los niveles para cada una

Variables independientes	Niveles		
	N1	N2	N3
X1: Temperatura (°C)	40	50	60
X2: Concentración osmótica (°Brix)	30	40	50
X3: Concentración ácido cítrico (%)	0.05	0.07	0.1
X4: Presión (mmHg)	200	300	400

Tabla 6. Valores reales y codificados por diseño de arreglo de Taguchi L<sub>9</sub> (3<sup>4</sup>)

Tratamientos	Temperatura (T°)	Concentración osmótica (°Brix)	Concentración ácido cítrico (%)	Presión (mmHg)
T1	1 (40)	1 (30)	1 (0.05)	1 (200)
T2	1 (40)	2 (40)	2 (0.075)	2 (300)
T3	1 (40)	3 (50)	3 (0.1)	3 (400)
T4	2 (50)	1 (30)	2 (0.075)	3 (400)
T5	2 (50)	2 (40)	3 (0.1)	1 (200)
T6	2 (50)	3 (50)	1 (0.05)	2 (300)
T7	3 (60)	1 (30)	3 (0.1)	2 (300)
T8	3 (60)	2 (40)	1 (0.05)	3 (400)
T9	3 (60)	3 (50)	2 (0.075)	1 (200)

### 3.5.1. Medición de Transferencia de masa

La variación en el contenido de humedad y sólidos solubles durante la osmodeshidratación de aguaymanto se ajustó a los modelos cinéticos de Azuara, Peleg y Fick. Para la evaluación de la cinética de cada uno de los tratamientos se midió a través de la pérdida de peso (PP); el contenido de sólidos totales (ST); la pérdida de agua (PA) y la ganancia de sólidos (GS), presentados en las ecuaciones 3, 4, 6 y 7, respectivamente. (Rocca & Mascheroni, 2010). Las lecturas se realizaron cada 15 minutos hasta completar los 180 minutos de proceso de deshidratado osmótico.

$$PP (\%) = \left( \frac{m_0 - m_f}{m_0} \right) \times 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde:

$M_0$ : masa inicial de muestra fresca.

$M_f$ : masa de muestra deshidratada osmóticamente a tiempo  $t$

$$ST (\%) = \left( \frac{m_s}{m_0} \right) \times 100 \quad \text{Ec. (4)}$$

$$H (\%) = 100 - ST (\%) \quad \text{Ec. (5)}$$

$M_s$ : masa de muestra seca para determinado tiempo,  $t$

$H (\%)$  = porcentaje de humedad para determinado tiempo,  $t$

$$PA (\%) = \left[ \left( 1 - \frac{ST^0}{100} \right) - \left( 1 - \frac{ST}{100} \right) \left( 1 - \frac{PP}{100} \right) \right] \times 100 \quad \text{Ec. (6)}$$

$ST^0$ = contenido de sólidos totales iniciales

$ST$ = contenido de sólidos totales para determinado tiempo,  $t$

$$GS (\%) = \left[ \left( 1 - \frac{PP}{100} \right) \frac{ST}{100} - \frac{ST^0}{100} \right] \times 100 \quad \text{Ec. (7)}$$

$ST^0$ = contenido de sólidos totales iniciales

$ST$ = contenido de sólidos totales para determinado tiempo,  $t$

### 3.5.2. Modelo de Azuara

Se basa en el balance de masa para predecir la cinética de la deshidratación durante el proceso de osmótico y además determinar el punto de equilibrio final según indican las ecuaciones 9 y 11 que presentan la forma lineal de las ecuaciones 8 y 10.

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

$$\frac{t}{PA_t} = \frac{1}{PA_\infty} (t) + \frac{1}{S_1 PA_\infty} \quad \text{Ec. (9)}$$

$$GS_t = \frac{S_2 t (GS_\infty)}{1 + S_2 t} \quad \text{Ec. (10)}$$

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

Donde  $PA_t$  es la pérdida de humedad en el tiempo  $t$ ,  $PA_\infty$  es la humedad al tiempo infinito (equilibrio) y  $S_1$  es la constante relacionada con la velocidad de difusión de agua hacia fuera del aguaymanto ( $\text{min}^{-1}$ ).  $GS_t$  es la ganancia de sólidos en el tiempo  $t$ ,  $GS_\infty$  es la cantidad correspondiente al tiempo infinito (equilibrio) y  $S_2$  es la constante relacionada con la velocidad de difusión de los solutos hacia afuera del mango ( $\text{min}^{-1}$ ) (Arias, Perea, & Zapata, 2017).

### 3.5.3. Modelo de Fick

La segunda ley de Fick es un modelo matemático para la predicción de la transferencia de masa de una sustancia que se transfiere de una fase a otra en un estado no estacionario en función al tiempo y al espacio, ecuación 12, 13 y 14 para el caso de una esfera (Cerdán & López, 2014).

$$\frac{M_c - M_{ceq}}{M_{c0} - M_{ceq}} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\alpha} \frac{1}{i^2} \exp \left[ -i^2 \cdot \pi^2 \cdot \text{Def} \cdot \frac{t}{r^2} \right] \quad \text{Ec. (12)}$$

$$M_{c(t)} \rightarrow M_{ceq} = A \cdot (M_{c0} - M_{ceq}) \quad \text{Ec. (13)}$$

$$M_{c(t)} = M_{ceq} + (M_{c0} - M_{ceq}) \cdot A \quad \text{Ec. (14)}$$

Dónde:  $M_{c0}$ , Humedad inicial;  $M_{ceq}$ , Humedad de equilibrio;  $M_{c(t)}$ , Humedad a cualquier tiempo;  $r$ , radio (m);  $t$ , tiempo (s);  $\text{Def}$ , Difusividad efectiva ( $m^2/s$ )

#### 3.5.4. Modelo de Peleg

El modelo empírico de Peleg (1988) consta de una ecuación para describir las curvas de sorción que se acercan al equilibrio asintóticamente, ver ecuación 15 (Paredes et al., 2012).

$$M_{C_t} = M_{C_0} \pm \frac{t}{k_1 + k_2} \quad \text{Ec. (15)}$$

Dónde:  $M_{C(t)}$  es la cantidad de agua o sólidos en un tiempo  $t$ , g;  $M_{C_0}$  es la cantidad inicial de agua o sólidos, g;  $t$  es el tiempo, h;  $k_1$  y  $k_2$  son las constantes de Peleg (Arias, Perea, & Zapata, 2017).

#### 3.5.5. Medición del Ajuste

Para evaluar la calidad del ajuste de los diferentes modelos a los resultados experimentales, se determinó el coeficiente de determinación de la regresión lineal ( $R^2$ ) y se calculó el error relativo medio porcentual, expresado en la ecuación 16 (Zapata, Quintero, & Porras, 2014).

$$\text{ERM} (\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{X_{ei} - X_{ci}}{X_{ei}} \quad \text{Ec. (16)}$$

Dónde:  $X_{ei}$ : es el valor experimental;  $X_{ci}$  es el valor estimado para cada modelo; n es el número de observaciones.

### 3.6. Análisis estadístico de proceso de osmodeshidratación de aguaymanto

Se utilizó el software de Statistic versión 13.1 para la evaluación de los tratamientos propuestos por el arreglo de Taguchi  $L_9 (3^4)$ , los parámetros cinéticos del modelo con mejor ajuste se analizaron mediante el análisis de varianza y gráficos de promedio y Razón SeñalRuido para analizar el cambio de los parámetros cinéticos en los tres niveles de cada factor de estudio. Para los gráficos de Razón Señal-Ruido se utilizó el criterio mayor es mejor para el modelo de Azuara y menor es mejor para el modelo de Peleg. Los niveles que tengan mejor transferencia de masa serán los que tienen mayor promedio y mayor Razón Señal-Ruido en los parámetros cinéticos.

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis fisicoquímicos

Se determinó los análisis fisicoquímicos de humedad (%), sólidos solubles (°Brix), pH, índice de acidez (% ácido cítrico) y color (CIEL\*a\*b\*) a los 180 min de proceso, para cada uno de los experimentos propuesto por el arreglo de Taguchi  $L_9 (3^4)$  evaluando el efecto de la temperatura, presión de vacío, sólidos solubles y acidez durante la deshidratación osmótica de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*), ver tabla 7, además se adiciono los resultados del aguaymanto fresco (T0).

Tabla 7. Análisis fisicoquímico del aguaymanto en 180 minutos de proceso de DO

Tratamiento	Humedad (%)	Sólidos Solubles (°Brix)	pH	Índice Acidez (%)
T0	74,41 ± 0,61	13 ± 0.58	4.43 ± 0.01	1.97
T1	57,07 ± 2.09 <sup>a</sup>	19 ± 1.00 <sup>f</sup>	3.81 ± 0.01 <sup>cd</sup>	1.494 <sup>abc</sup>
T2	35,18 ± 0,67 <sup>bc</sup>	30 ± 0.58 <sup>d</sup>	3.91 ± 0.02 <sup>c</sup>	1.344 <sup>bc</sup>
T3	27.82 ± 1.22 <sup>d</sup>	37 ± 1.73 <sup>b</sup>	3.72 ± 0.01 <sup>de</sup>	1.259 <sup>bc</sup>
T4	58.02 ± 0.39 <sup>a</sup>	23 ± 0.58 <sup>ef</sup>	4.09 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.360 <sup>bc</sup>
T5	39.65 ± 0.37 <sup>b</sup>	33 ± 1.15 <sup>cd</sup>	4.19 ± 0.02 <sup>ab</sup>	1.344 <sup>bc</sup>
T6	17.17 ± 3.91 <sup>e</sup>	36 ± 1.00 <sup>bc</sup>	4.22 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.408 <sup>abc</sup>
T7	55.43 ± 1.17 <sup>a</sup>	24 ± 0.00 <sup>e</sup>	3.82 ± 0.04 <sup>cd</sup>	1.536 <sup>ab</sup>
T8	32.55 ± 1.56 <sup>c</sup>	30 ± 0.58 <sup>d</sup>	3.73 ± 0.03 <sup>de</sup>	1.643 <sup>a</sup>
T9	17.97 ± 2.23 <sup>e</sup>	42 ± 3.06 <sup>a</sup>	3.63 ± 0.04 <sup>e</sup>	1.643 <sup>a</sup>
Temperatura	<0.05 <sup>3</sup>	<0.05 <sup>2</sup>	<0.05 <sup>1</sup>	<0.05 <sup>1</sup>
C/ osmótica	<0.05 <sup>1</sup>	<0.05 <sup>1</sup>	<0.05 <sup>3</sup>	>0.05
Acidez	<0.05 <sup>2</sup>	<0.05 <sup>3</sup>	>0.05	<0.05 <sup>2</sup>
Presión	<0.05 <sup>4</sup>	>0.05	<0.05 <sup>2</sup>	>0.05
R <sup>2</sup>	0.9904	0.9761	0.9777	0.7805

\*Superíndices distintos indican la diferencia significativa (p<0.05), según el método Tukey.

\*Superíndices numéricos indican el grado de significancia de cada variable independiente.

Los aumentos de temperatura promueven la mayor transferencia de masa, debido a la difusión dentro del alimento del agua causadas por el hinchamiento y plastificación de la membrana celular y mejores características de transferencia de masa en la superficie del producto debido a la menor viscosidad del medio osmótico (Le Maguer, 1988).

Zhao & Xie (2004) mencionan que el uso de azúcar como solución osmótica permite la retención de sustancias volátiles del fruto fresco y que el cambio en la concentración osmótica es eficaz en la prevención de decoloración de la fruta desde la enzima y pardeamiento oxidativo sin utilizar antioxidantes debido a la eliminación de oxígeno de los poros con el efecto de vacío.

Maestelli (1997) ha demostrado que los intercambios de masa aumentan al aumentar la temperatura y al modificar el pH del jarabe. Así mismo, el efecto de vacío reduce el tiempo de proceso e incrementa la ganancia de sólidos, debido al diferencial de presiones entre el interior y el exterior de la célula del fruto (Castro et al., 1997; Panadés et al., 1996).

Montoya & Quintero (1999) enfatiza que el pH óptimo del agente osmótico radica en el tipo de fruto, por ejemplo en manzana la acidificación del jarabe produce un ablandamiento que es negativo para el proceso de osmodeshidratado.

“El proceso de vacío contribuye a la apertura de la estructura del fruto, disminuyendo considerablemente el tiempo de proceso. Cuando se aplica una presión de vacío se favorece el proceso de transferencia de masa ya que permite retirar los gases ocluidos en espacios intracelulares y ser ocupados por la solución osmótica, incrementando el área disponible para a transferencia de masa (Rastogi et al., 2002)”.

#### **4.1.1. Humedad**

La humedad del aguaymanto fresco tuvo un valor de  $74.41 \pm 0.61$  % (T0). La variación del contenido de humedad de cada tratamiento durante el proceso de deshidratación osmótica de aguaymanto en 180 min, se observa en la figura 6.

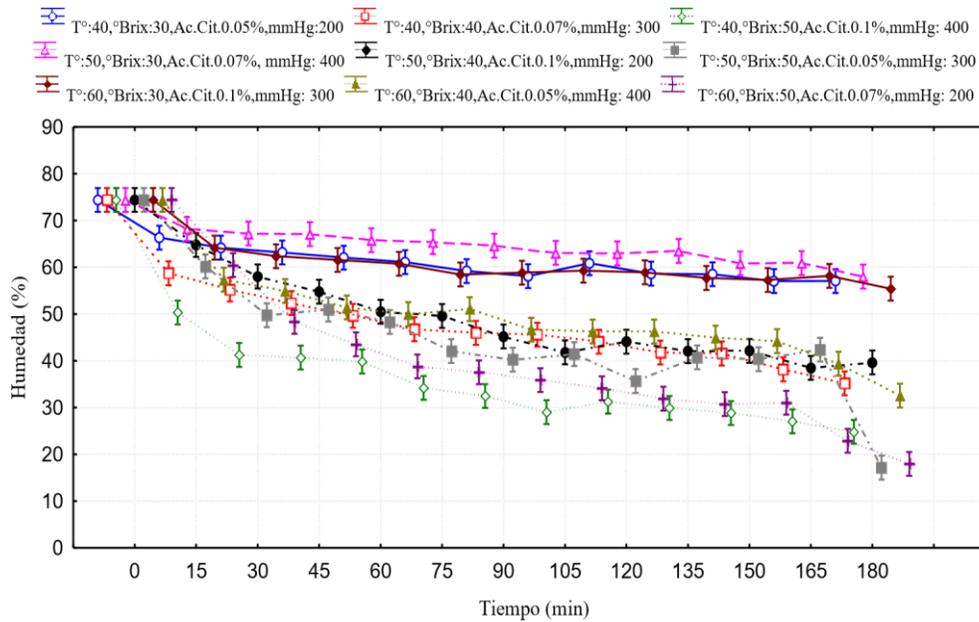


Figura 6. Variación del % humedad en el tiempo de 180 minutos de DO

Las humedades finales más altas son del orden de 55 a 60 % aproximadamente, al igual que Muñoz (2015) reduciendo hasta 58 % en aguaymanto con efecto de vacío. La figura 7, muestra que mayor retención de humedad son en los tratamientos 1,4 y 7, los cuales guardan relación al encontrarse a la menor concentración osmótica de 30 °Brix. Mientras que los tres principales tratamientos que reportan la mayor pérdida de humedad son:  $17,17 \pm 3,91$  (tratamiento 6)  $> 17,97 \pm 2,23$  (tratamiento 9)  $> 24,82 \pm 1,22$  (tratamiento 3), los cuales fueron sometidos a la mayor concentración osmótica 50 °Brix. Por lo tanto, la pérdida de humedad es a consecuencia del incremento en la solución. Así mismo, Garzón (2014) define cuando mayor sea la concentración de la solución osmótica mayor será la diferencia de presión osmótica entre ésta y el producto.

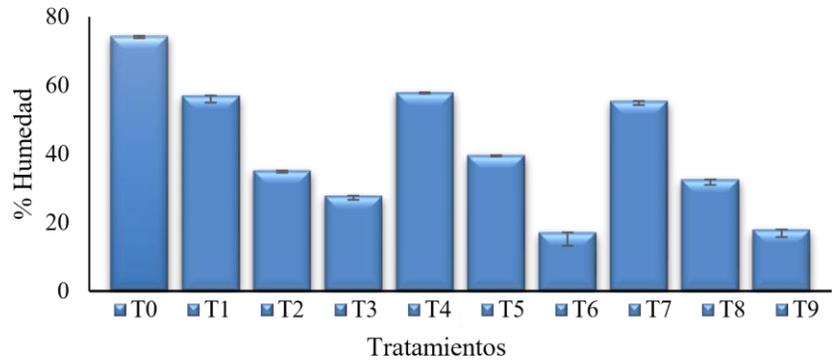


Figura 7. Humedad final de cada tratamiento a los 180 minutos de DO

Estos resultados son congruentes con Cerdán & López (2014), que reporta valores trabajados a una concentración osmótica de 30 °Brix donde su valor máximo en pérdida de humedad es de 61.86 %, que mantiene relación con la investigación para el tratamiento 1 y 4 al encontrarse a la misma concentración osmótica 30 °Brix la máxima pérdida fue de  $57,07 \pm 2,09$  y  $58,02 \pm 0,39$ , respectivamente.

La figura 8 por medio de la gráfica de promedios para la humedad los promedios mas altos se alcanzaron en los niveles; temperatura 40 °C, concentración osmótica 30 °Brix, acidez 0.01 % y presión 200 mmHg. Del gráfico de Razón Señal/Ruido indica que para la mayor pérdida de humedad las mejores condiciones son los niveles; temperatura 60 °C, concentración osmótica 50 °Brix, acidez 0,1 % y presión 300 mmHg.

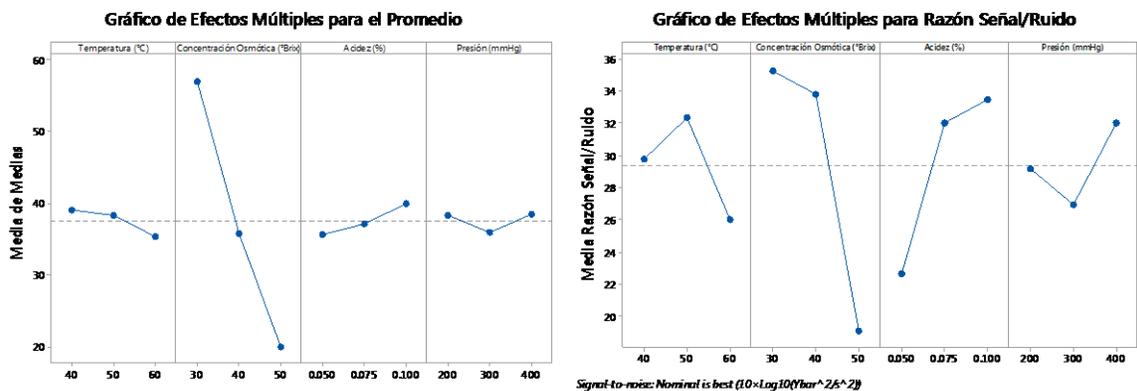


Figura 8. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para el porcentaje de humedad

La velocidad de deshidratación depende de las características de materia prima, la composición y concentración del agente osmótico, temperatura, agitación, los tiempos de tratamiento y la presión (Panadés et al., 1996).

#### **4.1.2. Sólidos Solubles (°Brix)**

El contenido de SST está constituido por 80 a 95 % de azúcares y su valor se encuentra asociada con los azúcares disueltos en el jugo celular (Tacanga, 2015; Agronet, 2010). El aguaymanto fresco (T0) procedente de Cajamarca tuvo 13 °Brix en promedio, acorde con los reportados por Aparcana & Villareal (2014) para las variedades de Huánuco: 13.5; Junín: 14; Ancash: 14.2 y Cajamarca 14.3 °Brix (Velázquez & Velázquez, 2017).

En la figura 8 se presenta el cambio de sólidos solubles (°Brix) durante el proceso de 180 minutos de deshidratación osmótica, se observa que los sólidos solubles (°Brix) aumentan con el tiempo, hasta alcanzar un máximo de 42 °Brix para el tratamiento T9 (temperatura 60 °C, concentración osmótica 50 °Brix, acidez 0.075 % y presión 200 mmHg), al igual que Muñoz (2015) logrando una ganancia de sólidos hasta 42 °Brix en aguaymanto por efecto de la deshidratación osmótica e impregnación al vacío.

Por otro lado, la figura 9 muestra la tendencia creciente en los sólidos solubles (°Brix), que conforman tres grupos asociados por la misma concentración osmótica, es decir el primero grupo a 30 °Brix, seguido de 40 °Brix y 50 °Brix respectivamente. Donde el incremento de la concentración osmótica da paso a una mayor ganancia de sólidos solubles (Yupanqui, 2010; Giraldo et al., 2003).

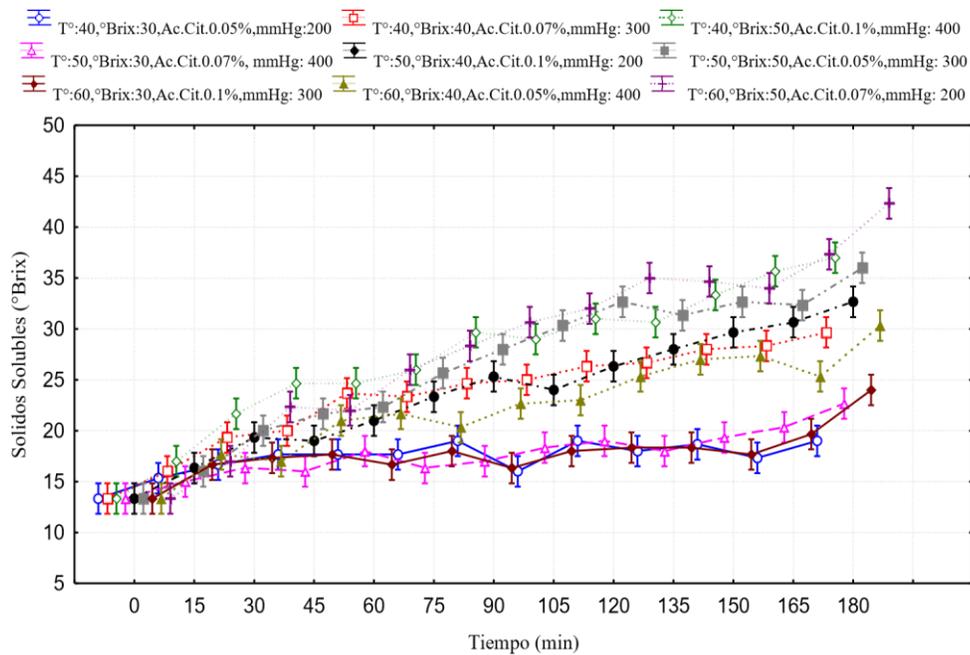


Figura 9. Variación de sólidos solubles en el tiempo de 180 minutos de DO

Cerdán & López (2014), reportan un máximo de ganancia de sólidos de 38,14 °Brix a una concentración osmótica de 30 °Brix. Esto tiene similitud a la investigación con los valores calculados a la misma concentración osmótica 30 °Brix, variando desde  $35 \pm 0.00$ ,  $33 \pm 1.15$  y  $31 \pm 1.00$  °Brix. En la figura 10, se presenta el cambio en los sólidos solubles (°Brix) finales de cada tratamiento durante 180 minutos de proceso de osmodeshidratación de aguaymanto. Donde los tratamientos que sufrieron mayor ganancia de sólidos son:  $37 \pm 1.73$  (tratamiento 3),  $36 \pm 1.00$  (tratamiento 6) y  $42 \pm 3.06$  (tratamiento 9), los cuales comparten la única característica similar al encontrarse a la mayor concentración osmótica de la investigación de 50 °Brix. El incremento en la concentración del jarabe afecta la ganancia de sólidos debido al efecto que la concentración tiene sobre la velocidad transferencia de masa (Zapata, Suárez & Arias, 2016)

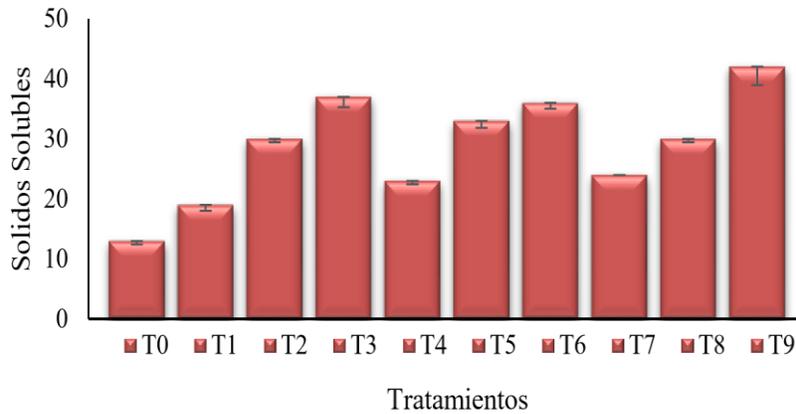


Figura 10. Sólidos solubles finales de cada tratamiento a los 180 minutos de DO

La figura 11 corresponde a la gráfica de promedios de los sólidos solubles donde los mayores promedios se alcanzaron en los niveles; temperatura 60 °C, concentración osmotica 50 °Brix, acidez 0.01 % y presión 200 mmHg. Del gráfico de Razón Señal/Ruido indica que para la mayor ganancia de sólidos (°Brix) las mejores condiciones son los niveles; tempertura 50 °C, concentración osmótica 40 °Brix y acidez 0,05 %.

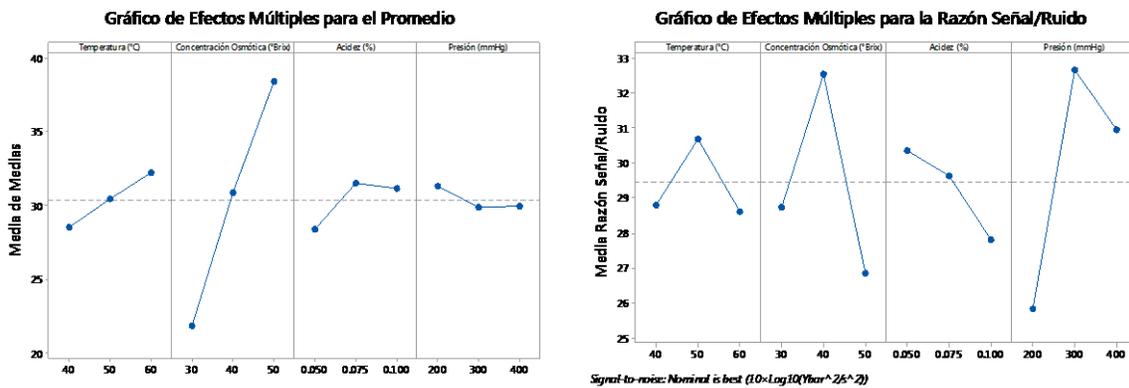


Figura 11. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para los sólidos solubles (°Brix)

#### 4.1.3. pH

El aguaymanto tuvo un pH inicial 4.43 (T0), similar a las variedades de Huánuco, Junín, Ancash y Cajamarca con un pH de 4.0 (Aparcana & Villareal, 2014) y de 3,5 con 13,5 °Brix

(Velásquez & Velásquez, 2017). El cambio del pH durante la deshidratación osmótica en el tiempo se evidencia la figura 12. La figura 13 muestra al final del proceso de 180 minutos que el pH se reduce en todos los tratamientos, donde los tratamientos que sufrieron menor descenso del pH fueron: 4.09 (tratamiento 4), 4.19 (tratamiento 5) y 4.22 (tratamiento 6) respectivamente, teniendo la única característica similar que se encontraron a una temperatura 50 °C.

“Mientras que la mayor reducción del pH fue para el tratamiento 9 con un valor final de 3,63. Gavidia et al., (2013) enuncia que el descenso de pH está relacionado con la adición de ácido cítrico que a su vez cumple la función de evitar el pardeamiento enzimático. Zhao & Xie (2004) informaron que el valor de pH de la fruta antes y después del procesamiento no cambia significativamente”.

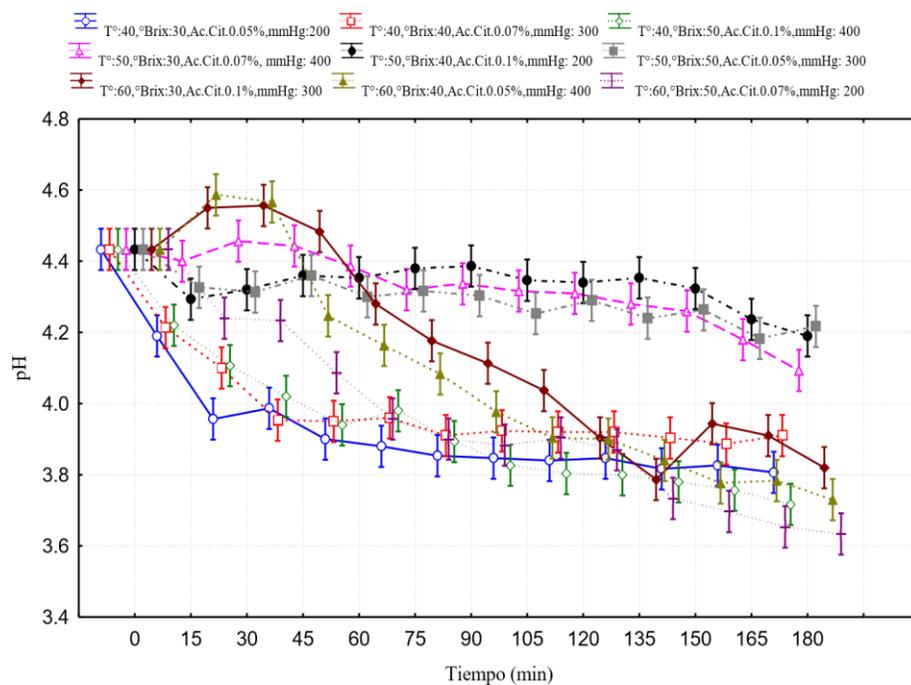


Figura 12. Variación del pH en el tiempo de 180 minutos de DO

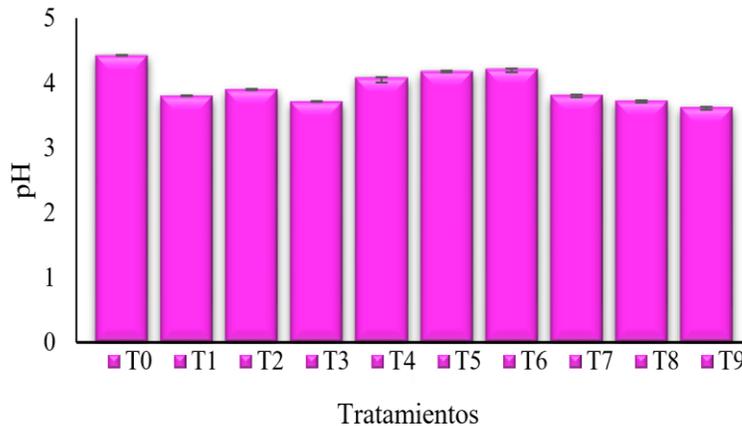


Figura 13. pH al final de cada tratamiento a los 180 minutos de DO

“La disminución del pH tiene efecto antimicrobiano, en especial si se reduce por debajo de 4,6 (García, 2010), su efecto es atribuido a la reducción del pH intercelular microbiano por la ionización de la molécula de ácido no disociada o a la interrupción del transporte de sustratos por la alteración de la membrana celular (Salsamendi et al., 2013)”.

“La transferencia de masa aumenta con la disminución del pH a causa de la acidificación. Maestrelli (1997) ha demostrado un aumento en la pérdida de agua en la piña deshidratada en jarabe de sacarosa acidificado. Así mismo, Salsamendi et al., (2013) encontraron la mayor eliminación de agua a pH 3 para anillos de manzana utilizando jarabe de maíz. El pH óptimo del agente osmótico depende también del tipo de fruta (Montoya & Quintero, 1999)”.

En La figura 14 por medio de la gráfica de promedios del pH los mayores promedios se alcanzaron en los niveles; temperatura 50 °C, concentración osmótica 40 °Brix y presión 300 mmHg. Del gráfico de Razón Señal/Ruido sobre el pH indica que las mejores condiciones son los niveles; tempertura 40 °C, concentración osmótica 40 °Brix y presión 200 mmHg, es decir a que a esos niveles se tendra mejor estabilidad y menor desviación estandar.

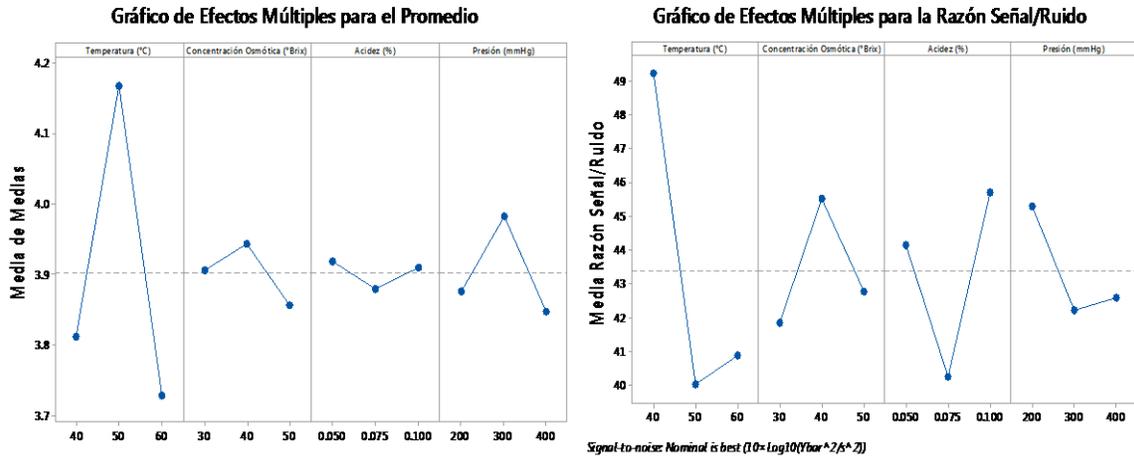


Figura 14. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para el pH

#### 4.1.4. Índice de acidez (%)

Se calculó el índice de acidez considerando el ácido cítrico como ácido predominante. El índice de acidez del aguaymanto fresco (T0) de Cajamarca fue de 1.97 (%) en promedio, lo cual se evidencia ligera variación en comparación por los reportados por Aparcana & Villareal (2014) para las variedades de Huánuco: 2.4; Junín: 2.59; Ancash: 2.64 y Cajamarca 2.80 (%) y Veliz & Espinoza (2010) que reportan valores de 12 °Brix, 3.1 pH y 2.4 de acidez para aguaymanto verde y 13.5 °Brix, 3.5 pH y 1.4 de acidez, para aguaymanto maduro.

En la figura 15 se aprecia la reducción en el índice de acidez a lo largo del tiempo para cada tratamiento durante la deshidratación osmótica de aguaymanto. Así mismo, Muñoz (2015) confirma la reducción del ácido cítrico evaluado durante la deshidratación osmótica al vacío en aguaymanto.

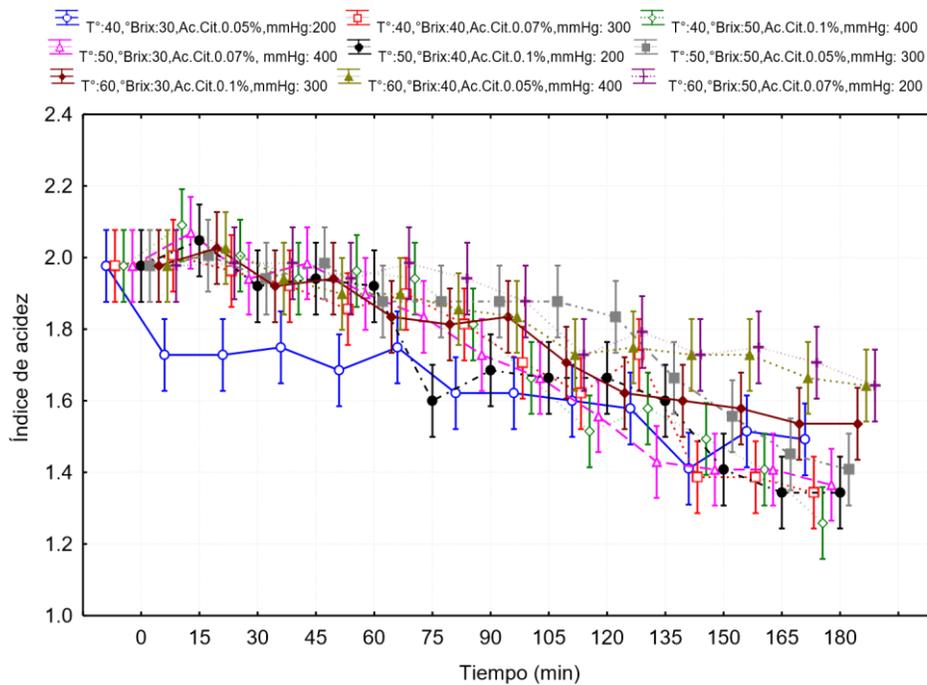


Figura 15. Variación del índice de acidez en el tiempo de 180 minutos de DO

La figura 16 presenta los valores finales en 180 minutos de proceso de cada tratamiento, donde se evidencia un descenso llegando hasta valores de 1.25 (% ácido cítrico) para los tratamientos 2, 3 y 5. Los que retuvieron mayor acidez son los tratamientos 8 y 9 con un valor de 1.6 (% ácido cítrico), al igual que menciona Mendoza, Rodríguez & Millán (2012) del mismo valor de la fruta con 15.1°Brix que cumple con los parámetros de calidad exigidos por la normas nacionales e internacionales. Mendoza et al., (2017) encuentran un descenso en el índice de acidez hasta un mínimo de 1,128 % ácido cítrico, este descenso obedece a la degradación de la vitamina C durante el proceso, ya que existe una relación entre el contenido de la vitamina y el contenido de acidez. La reducción de este se ve afectado por el proceso de osmodeshidratación debido al proceso térmico (Molina & Orjuela, 2013).

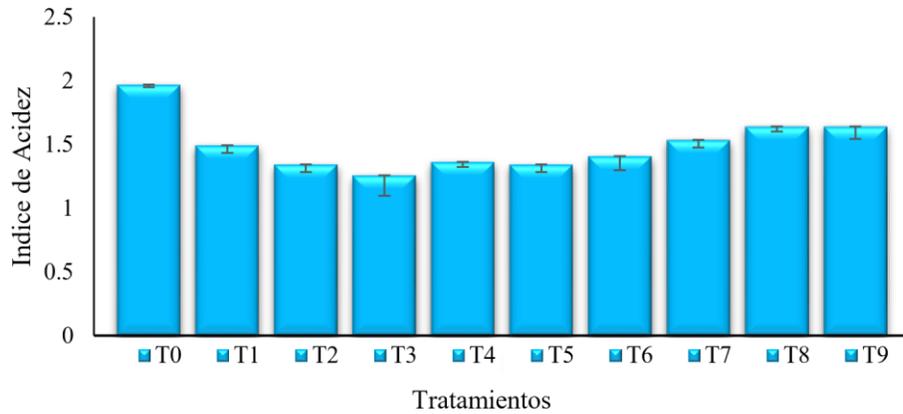


Figura 16. Índice de acidez final de cada tratamiento a los 180 minutos de DO

Los niveles de acidez utilizados de 0.05, 0.075 y 0.1% fueron elegidos de acuerdo con Salsamendi et al., (2013) quien evaluó el efecto de ácido en concentraciones de 0.1, 0.25 y 0.5 (%). La figura 17 por medio de la gráfica de promedios del índice de adicez los mayores promedios se alcanzaron en los niveles; temperatura 60 °C y acidez 0.05 %. Del gráfico de Razón Señal/Ruido sobre el índice de acidez indica que las mejores condiciones son los niveles; tempetura 60 °C y acidez 0.05 %.

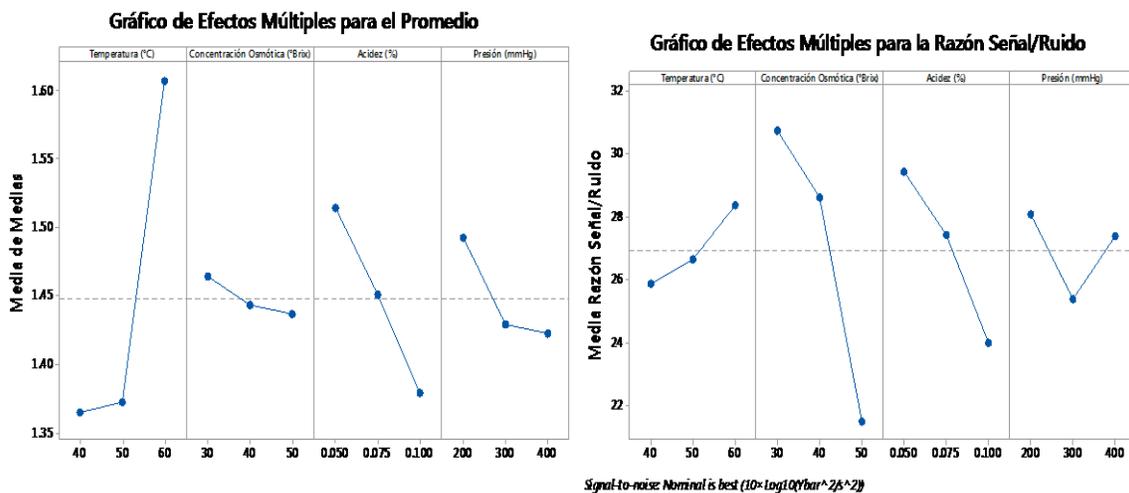


Figura 17. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para el índice de acidez

#### 4.1.5. Color escala CIEL\*a\*b\*

Se evaluó el color mediante lecturas en escala CIEL\*a\*b\* sobre los parámetros L\*a\*b\*, en la tabla 8 se muestran los resultados del aguaymanto antes de ser sometido al deshidratado osmótico en comparación con otros autores, y en la misma se presenta el índice de color (IC).

Tabla 8. *Caracterización colorimétrica del aguaymanto fresco en escala CIEL\*a\*b\**

Autores	L*	a*	b*	IC	Coloración
Chuquipoma (2018)	53.12 ± 1.43	17.87 ± 1.18	53.87 ± 1.55	6.24	Anaranjada
Guevara (2013)	57.82 ± 2.92	15.82 ± 1.18	53.11 ± 2.53	5.15	Anaranjada
Mendoza et al., (2017)	56.87 ± 3.61	13.81 ± 2.00	37.12 ± 1.00	6.54	Anaranjada
Puente et al., (2011)	70.31 ± 0.07	14.31 ± 0.89	60.84 ± 0.92	3.34	Anaranjada
Duque, Giraldo & Mejía (2007)	46.10 ± 3.39	6.95 ± 0.49	17.90 ± 0.84	8.42	A. Intenso
Velázquez & Velázquez (2017) <sup>1</sup>	48.83 ± 0.25	15.57 ± 1.14	52.60 ± 1.01	6.06	Anaranjada
Velázquez & Velázquez (2017) <sup>2</sup>	51.43 ± 4.79	19.23 ± 0.59	55.83 ± 1.53	6.69	Anaranjada
Velázquez & Velázquez (2017) <sup>3</sup>	56.70 ± 4.72	24.37 ± 1.27	58.06 ± 2.40	7.40	A. Intenso

Nota: <sup>1</sup>Cajamarquino, <sup>2</sup>Huaribamba, <sup>3</sup>Acomayo (Mendoza et al., 2017).

“La percepción humana es compleja sobre el color, debido a la sensibilidad del brillo, luminosidad, intensidad y entre otros factores que modifican los colores primarios (rojo, azul y amarillo) y sus combinaciones (naranja, verde, etc.). Según Giese (2000) menciona que la Commission Internationale del'Eclairage (CIE) hace posible expresar el color en términos cuantitativos y numéricos”.

El aguaymanto fresco (T0) procedente del departamento de Cajamarca tuvo parámetros de L\* = 53.12 ± 1.43, a\* = 17.87 ± 1.18 y b\* = 53.87 ± 1.5, e IC de 6.24; estos valores son cercanos a los encontrados en la literatura. Las coordenadas L\*, a\* y b\* del espacio de color CIEL\*a\*b\*, aumentan según va madurando el fruto y es una de las características externas más importantes para evaluar la calidad de alimentos frescos y procesados (Duque, Giraldo

& Mejía, 2007; Pinzón, Villa & Nieto, 2011). En el Anexo 6 y 7 se muestra el cambio en los parámetros L\*, a\*, b\* y el cálculo del índice de color en el tiempo de 180 minutos durante el proceso de deshidratación osmótica de aguaymanto.

En la tabla 9 se presenta los parámetros finales en 180 minutos del color (L\*a\*b\*) y el índice de color (IC) de aguaymanto en la deshidratación osmótica, donde el T0 es el blanco y T1 a T9 son los tratamientos de la investigación respectivamente. Los mejores tratamientos que preservaron sus atributos de color (L\*a\*b\*) fueron: T1, T8 y T9 mientras que el mayor efecto sufrió fue el T2 y T6. Así mismo, se presenta el cálculo del índice de color adaptado para aguaymanto maduro, donde se aprecia que el T1 preservó las características iniciales en comparación con la mayor variación de este para el T2, se otorga la coloración de acuerdo a los intervalos propuesto por Márquez et al, (2009).

Tabla 9. Resultados finales del color L\*a\*b\* y IC del aguaymanto en la DO

Tratamiento	Color			Índice de color*	Coloración*
	L*	a*	b*		
T0	53.12 ± 1.43	17.87 ± 1.18	51.87 ± 1.55	6.484	Anaranjado
T1	51.66 ± 2.62 <sup>abc</sup>	17.15 ± 1.27 <sup>a</sup>	51.76 ± 3.20 <sup>a</sup>	6.419	Anaranjado
T2	49.79 ± 9.51 <sup>c</sup>	18.24 ± 2.84 <sup>a</sup>	46.02 ± 8.93 <sup>bc</sup>	8.559	Anaranjado intenso
T3	50.90 ± 2.57 <sup>abc</sup>	19.79 ± 1.15 <sup>a</sup>	54.20 ± 3.56 <sup>a</sup>	7.199	Anaranjado intenso
T4	48.59 ± 1.35 <sup>bc</sup>	16.02 ± 0.54 <sup>a</sup>	40.85 ± 1.00 <sup>c</sup>	8.073	Anaranjado intenso
T5	48.65 ± 1.67 <sup>bc</sup>	17.12 ± 0.76 <sup>a</sup>	48.87 ± 1.51 <sup>ab</sup>	7.211	Anaranjado intenso
T6	47.78 ± 1.12 <sup>c</sup>	18.53 ± 1.54 <sup>a</sup>	48.86 ± 2.03 <sup>ab</sup>	7.927	Anaranjado intenso
T7	53.92 ± 3.56 <sup>a</sup>	17.36 ± 1.60 <sup>a</sup>	53.08 ± 1.70 <sup>a</sup>	6.127	Anaranjado
T8	51.78 ± 2.23 <sup>abc</sup>	15.92 ± 1.41 <sup>a</sup>	50.36 ± 3.19 <sup>ab</sup>	6.115	Anaranjado
T9	52.82 ± 1.17 <sup>ab</sup>	19.79 ± 2.05 <sup>a</sup>	52.66 ± 2.69 <sup>a</sup>	7.130	Anaranjado intenso

\*Índice de color para aguaymanto maduro (Márquez et al., 2009).

#### 4.1.5.1. Análisis de varianza del color en el espacio CIEL\*a\*b\*

En la tabla 10 se presenta los resultados del análisis de varianza sobre el color en el espacio de CIEL\*a\*b\* con una significancia de  $p < 0.05$  durante la deshidratación osmótica de aguaymanto. En los parámetros L\* (luminosidad) influyeron de forma significativa fueron la temperatura y concentración osmótica; para parámetro a\* (- verde + rojo) solo presento significancia la concentración osmótica; mientras que en el parámetro b\* (- azul + amarillo) influyeron la temperatura, concentración osmótica, acidez y presión.

Tabla 10. Análisis de varianza del color CIEL\*a\*b\* durante la D.O de aguaymanto

Factor	GL	L*			a*			b*		
		SS	F obs	p-valor	SS	F obs	p-valor	SS	F obs	p-valor
Temperatura (°C)	2	94,82	15,414	0,0001	6,182	1,255	0,308	167,8	22,88	0,000
C/Osmótica(°Brix)	2	24,62	4,0027	0,0364	34,8	7,083	0,005	70,23	9,580	0,001
Acidez (%)	2	14,02	2,2806	0,1309	4,387	0,891	0,427	144,7	19,74	0,000
Presión (mmHg)	2	10,92	1,7753	0,1978	3,740	0,759	0,482	32,22	4,395	0,027
Residual	18	55,36			44,31			65,98		
R2	0,722				0,526			0,862		

A partir de la suma de cuadrados las variables que influyen en los parámetros del color de mayor a menor efecto son; para L\*(luminosidad) la temperatura > concentración osmótica; para a\* (- verde + rojo) concentración osmótica, mientras que para el parámetro b\* (- azul + amarillo) influyeron de mayor a menor efecto la temperatura > acidez > concentración osmótica > presión.

Estudios realizados por Duque, Giraldo & Mejía, (2007) muestran que el color no se ve afectado en tratamientos de deshidratación osmótica con pulso de vacío ni presión atmosférica en frutas que no presentan espacios intercelulares en su estructura, pero en frutas que presentan una estructura porosa y/o parcialmente porosa como el aguaymanto los tratamientos de deshidratación afectan significativamente el color. El aguaymanto sometido a la

deshidratación osmótica mejora significativamente el color en soluciones de baja concentración (25 y 35 °Brix), mientras que las soluciones de alta concentración impactan poco en la conservación del color (Duque, Giraldo & Mejía, 2007).

“Pinzón, Villa & Nieto (2011) explica que durante la deshidratación osmótica el color respecto a valores  $a^*$ ,  $b^*$  presentan un descenso, pero que sensorialmente no fueron apreciados. Solo la luminosidad  $L^*$  es lo suficientemente drástico para ser perceptible. Los cambios en el color no afectan de manera drástica durante el osmodeshidratado, sin embargo, es necesario estudiar estos comportamientos utilizando un panel sensorial entrenado”.

“Duque, Giraldo & Mejía, (2007) mencionan que el aguaymanto sufre una variación en el color por efecto de la deshidratación con efecto de vacío y que este efecto ocurre temprano en los primeros 90 minutos y posteriormente se estabiliza. Para nuestro experimento la variación del color fue a todo lo largo del experimento lo cual tuvo duración de 180 minutos, es decir que las variaciones están relativamente afectadas por la temperatura, concentración osmótica, acidez y presión en efecto del tiempo”.

En la figura 18 por medio de la gráfica de promedios para los parámetros del color  $L^*a^*b^*$  los mayores promedios se alcanzaron en los niveles para  $L^*$ ; temperatura 60 °C y concentración osmótica 30 °Brix. La figura 19 para  $a^*$  concentración osmótica 50 °Brix y la figura 20 para  $b^*$  temperatura 60 °C, concentración osmótica 50 °Brix, acidez 0.1 % y presión 200 mmHg. Del gráfico de Razón Señal/Ruido indica que las mejores condiciones son los niveles para  $L^*$ ; temperatura 50 °C y concentración osmótica 30 °Brix; para  $a^*$  concentración osmótica 30 °Brix; para  $b^*$  temperatura 60 °C, concentración osmótica 30 °Brix, acidez 0.05 % y presión 400 mmHg.

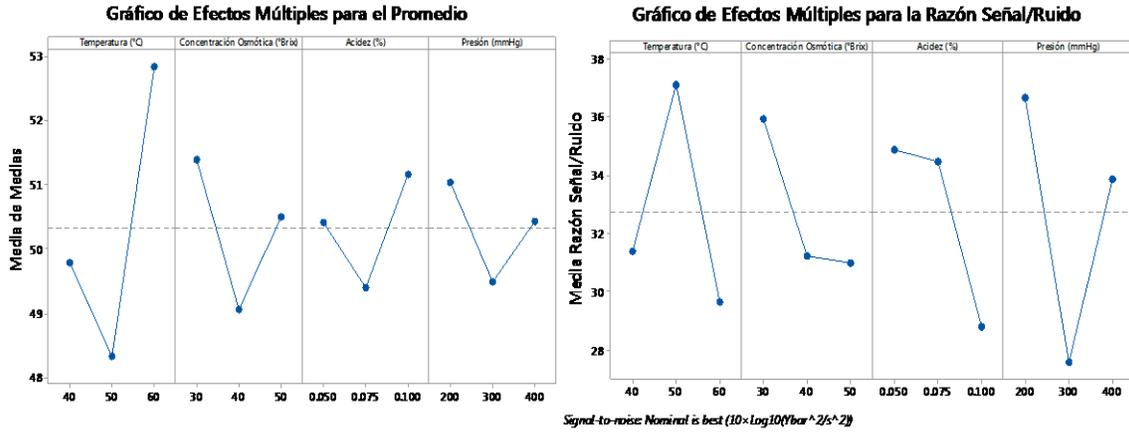


Figura 18. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para L\* (- oscuro + blanco)

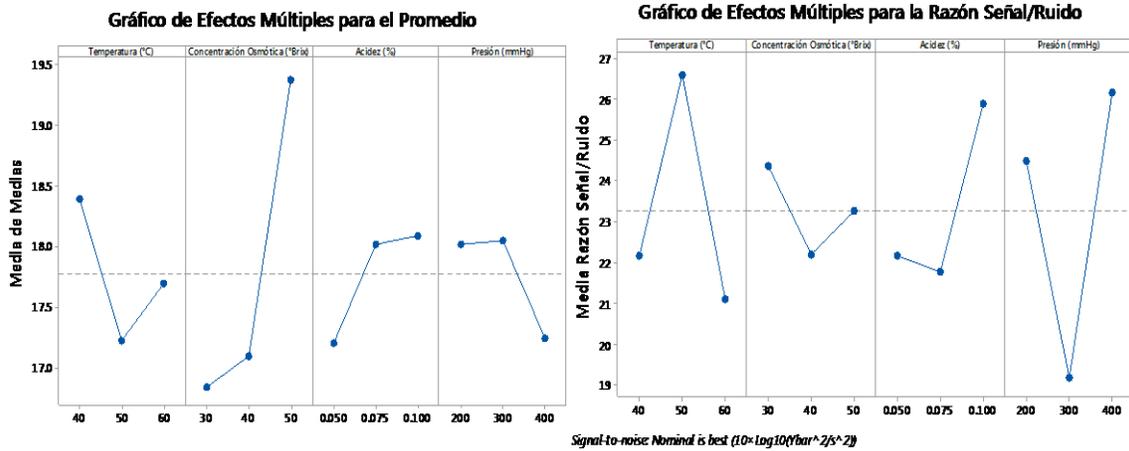


Figura 19. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para a\* (- verde + rojo)

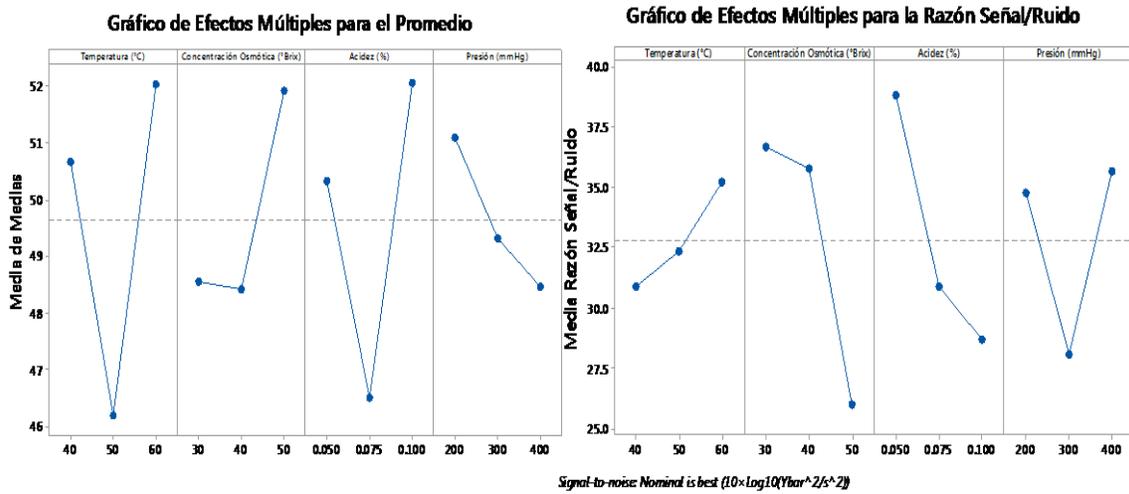


Figura 20. Gráfico de promedio y Razón Señal/Ruido para b\* (- azul + amarillo)

## **4.2. Cálculos cinéticos en la deshidratación osmótica al vacío de aguaymanto**

### **4.2.1. Ajuste de la humedad a los modelos cinéticos**

La tabla 11 presenta los parámetros calculados para la pérdida de agua a partir de los modelos cinéticos de Azuara, Fick y Peleg durante la deshidratación osmótica de aguaymanto en 180 minutos de proceso. El modelo con mejor ajuste fue el modelo de Peleg, que presentó un error relativo medio porcentual (ERM) de 3,44 a 11,6 %, seguido del de Azuara con ERM de 4,79 a 16,22 %. El modelo de Fick presentó ERM mayores. Esto se confirma en la figura 21 donde la línea más cercana a los puntos experimentales es el del modelo de Peleg seguido de Azuara. Zapata, Suárez & Arias (2016) indican que un modelo con valores de ERM % por debajo del 10 % se considera aceptable.

Tabla 11. Valores cinéticos en la pérdida de agua de los modelos de Azuara, Fick y Peleg durante la deshidratación osmótica de aguaymanto en 180 minutos de proceso

Variables Independientes		Tratamientos propuestos por arreglo de Taguchi L <sub>9</sub> (3 <sup>4</sup> )								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
MODELOS CINETICOS	Temperatura (°C)	40	50	60	60	40	50	50	60	40
	Concentración Osmótica (°Brix)	30	40	50	30	40	50	30	40	50
	Acido. Cítrico (%)	0.05	0.1	0.07	0.1	0.07	0.05	0.07	0.05	0.1
	Presión (mmHg)	200	200	200	300	300	300	400	400	400
	PA <sub>eq</sub>	21.724 ± 2.70	51.449 ± 0.494	61.691 ± 2.944	25.271 ± 2.502	58.094 ± 1.297	62.017 ± 4.917	23.912 ± 0.613	49.687 ± 2.309	73.979 ± 2.926
AZUARA	S <sub>1</sub>	0.045 ± 0.022	0.022 ± 0.000	0.034 ± 0.005	0.014 ± 0.003	0.014 ± 0.000	0.0193 ± 0.005	0.034 ± 0.002	0.020 ± 0.00	0.017 ± 0.001
	R <sup>2</sup>	0.967 ± 0.008	0.951 ± 0.027	0.979 ± 0.004	0.754 ± 0.175	0.965 ± 0.009	0.848 ± 0.064	0.873 ± 0.040	0.868 ± 0.042	0.965 ± 0.007
	ERM (%)	7.297 ± 0.241	12.826 ± 0.274	16.226 ± 0.184	4.793 ± 0.211	11.810 ± 0.174	12.763 ± 0.830	7.379 ± 0.165	12.299 ± 0.769	14.520 ± 0.847
	Dif. Efectiva	0.014 ± 0.000	0.131 ± 0.180	0.037 ± 0.001	0.0190 ± 0.002	0.0279 ± 0.000	0.0378 ± 0.001	0.019 ± 0.000	0.026 ± 0.000	0.041 ± 0.003
FICK	R <sup>2</sup>	0.617 ± 0.080	0.914 ± 0.012	0.921 ± 0.041	0.82485 ± 0.054	0.951 ± 0.002	0.829 ± 0.0329	0.582 ± 0.067	0.836 ± 0.082	0.916 ± 0.009
	ERM (%)	12.890 ± 5.585	27.143 ± 29.310	74.468 ± 55.234	20.227 ± 6.611	54.340 ± 30.367	77.745 ± 51.640	18.880 ± 8.110	45.105 ± 24.941	97.396 ± 63.370
	k <sub>1</sub>	-16.226 ± 4.215	-15.131 ± 3.520	-9.689 ± 0.611	-24.206 ± 2.732	-17.990 ± 2.913	-17.319 ± 4.471	-7.809 ± 3.308	-10.790 ± 2.597	-14.347 ± 2.789
PELEG	k <sub>2</sub>	-0.9840 ± 0.106	-0.454 ± 0.041	-0.393 ± 0.006	-0.969 ± 0.108	-0.431 ± 0.038	-0.360 ± 0.060	-1.046 ± 0.067	-0.561 ± 0.034	-0.331 ± 0.029
	R <sup>2</sup>	0.877 ± 0.038	0.958 ± 0.015	0.960 ± 0.017	0.728 ± 0.248	0.944 ± 0.055	0.943 ± 0.039	0.627 ± 0.055	0.817 ± 0.027	0.966 ± 0.025
	ERM (%)	3.443 ± 0.794	5.049 ± 2.154	7.849 ± 1.041	5.380 ± 2.170	6.482 ± 3.005	10.483 ± 4.372	6.010 ± 1.371	11.602 ± 1.034	9.315 ± 0.937

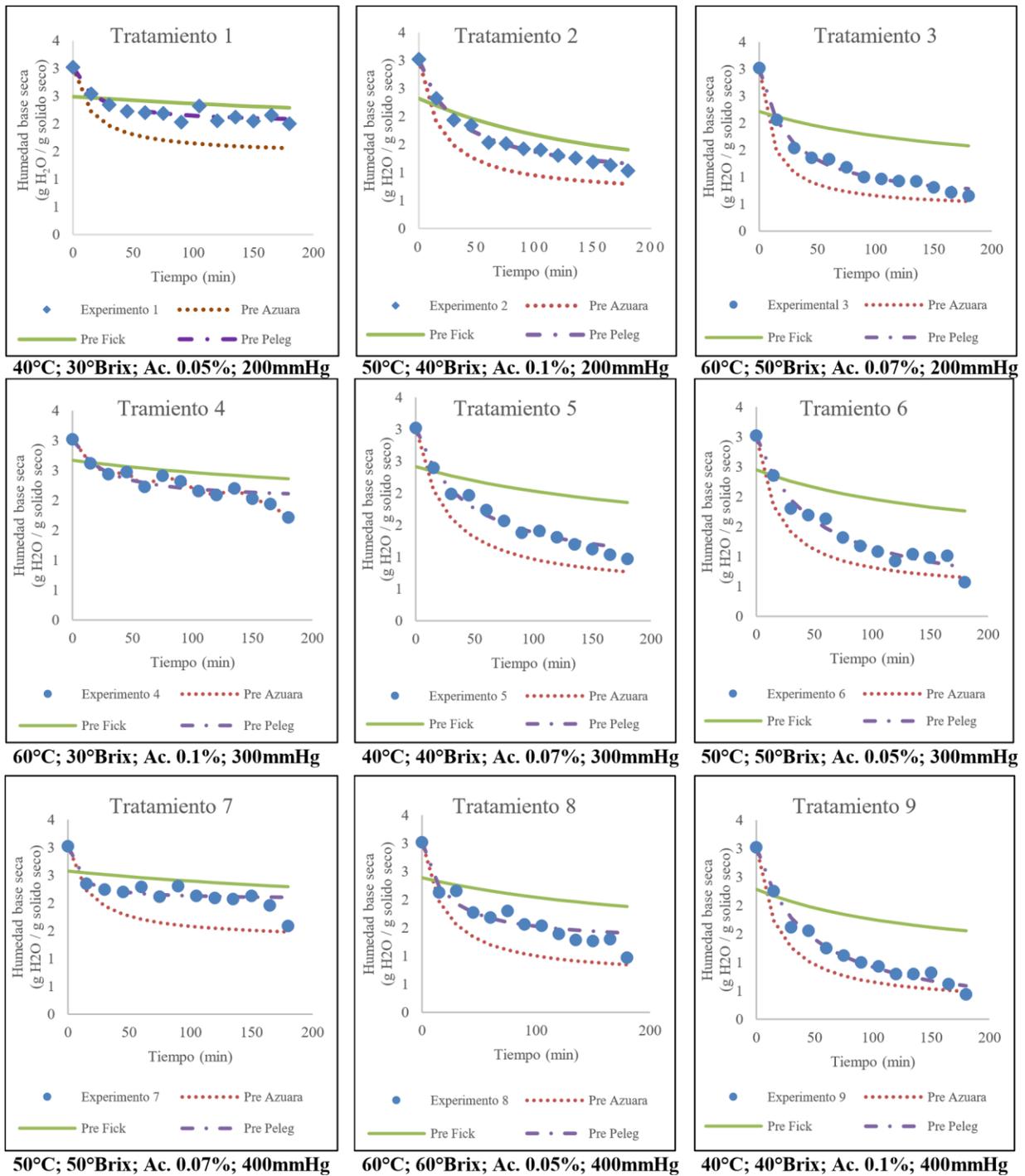


Figura 21. Se expone los nueve tratamientos propuestos por Taguchi L<sub>9</sub> (3<sup>4</sup>) evaluando la cinética de pérdida de agua en comparación con los modelos empíricos de Azuara, Fick y Peleg durante la deshidratación osmótica al vacío de aguaymanto en 180 minutos.

En la figura 21 se observa que la pérdida de agua presenta mayor velocidad en los primeros 100 minutos, que es un comportamiento típico de la deshidratación osmótica donde la mayor pérdida de agua ocurre en las dos primeras horas y luego se reduce la velocidad con el tiempo (Arias, Perea & Zapata, 2017; Sierra, 2010).

“Esto se puede explicar si se tiene en cuenta que en los primeros momentos de la deshidratación osmótica existen diferencias en el potencial químico de las especies que participan en el sistema entre el interior y exterior de la fruta. El interior de la fruta posee un mayor potencial químico del agua y menor potencial químico de solutos, que la solución en el exterior. Estas diferencias impulsan el movimiento de solutos hacia adentro y de agua hacia afuera de la fruta. A medida que transcurre el tiempo del proceso, la entrada y salida de sustancias hace que las diferencias en potenciales químicos se reduzcan, haciendo que el sistema se aproxime cada vez más al equilibrio, con lo que la entrada y salida de materia disminuye paulatinamente hasta acercarse a cero (Ozdemir et al., 2008; Moy, Lau & Dollar, 1978)”.

En el modelo de Azuara ( $PA_{eq}$ ) significa la pérdida de agua en el equilibrio y la constante cinética  $S_1$  es relacionada con la velocidad de difusión de agua hacia fuera del aguaymanto. Se evidencia que, a mayor temperatura, concentración osmótica e incremento de la presión, aumenta el valor de pérdida de agua donde los tratamientos con mayor valor de este parámetro son para el T3, T6 y T9, cuando la concentración de la solución aumentó produjo un efecto positivo en la tasa de pérdida de agua debido al gradiente osmótico. Esto ha sido informado constantemente para frutas y verduras, por ejemplo en arándanos infundidos con diferentes concentraciones de azúcar (Shi & Xue, 2009; Rafiq, 2012).

Para el modelo de Peleg  $k_1$  es una constante que se relaciona con la tasa de transferencia de masa, por lo tanto, a menor valor de  $k_1$  mayor tasa inicial de absorción de agua, y la disminución de  $k_1$  con el incremento de la temperatura sugiere un correspondiente incremento en la tasa inicial de absorción de agua,  $k_2$  es una constante relacionada con la máxima capacidad de absorción de agua, entre más bajo  $k_2$  más alta la capacidad de absorción de agua (Alegre, Rosa & Linares, 2017).

“Sacchetti, Gianotti & Dalla (2001), mencionan valores de  $k_1$  entre 10 y 200 y valores de  $k_2$  entre 0,015 y 3 para la pérdida de agua; mientras que para la ganancia de sólidos indican valores de  $k_1$  entre 14 y 317 y de  $k_2$  entre 0,016 y 00 valores similares a los obtenidos en la presente investigación. Moreira & Murr (2004) describen que la ecuación de Peleg proporciona un modelado más adecuado para todo el proceso de deshidratación osmótica debido a que se obtuvieron mejores resultados del coeficiente de determinación  $R^2$ ”.

Por lo tanto, el mejor modelo debe seguir el más alto coeficiente de determinación  $R^2$  y los mínimos valores de ERM % como criterios. Zapata, Suárez & Arias (2016) indican que un modelo con valor de ERM % por debajo del 10 % se considera aceptable. La ecuación de Peleg proporciona un modelado más adecuado para todo el proceso de deshidratación osmótica debido a que se obtuvieron mejores resultados de  $R^2$  y ERM % bajos al igual que Moreira & Murr (2004) en deshidratado osmótico de tomate cherry.

“Otros estudios indican también la bondad del ajuste del modelo de Peleg en el proceso de deshidratación osmótica, como en aguacate (Zapata, Suárez & Arias 2016), mango (Arias, Perea & Zapata, 2017), yacón (Maldonado et al., 2008), kiwiberry (Bialik et al., 2018) y guayaba (Ganjlo et al., 2011), en este último el modelo de Peleg valores de  $R^2$  de 0.95 y un

ERM % <5.20 %. Otros estudios mencionan un mejor ajuste en el modelo de Azuara en el caso de zanahoria (Rocca, Roche & Mascheroni, 2013) y en secado de papa (Rocca & Mascheroni, 2011). La mayoría de estos estudios indican además que el modelo de Fick es el que presenta el menor ajuste”.

Rocca & Mascheroni (2011) menciona que, a mayor concentración de solutos en la solución, se logra una mayor deshidratación del producto debido a que la actividad de agua de la solución disminuye y la fuerza impulsora para la deshidratación es mayor.

El proceso de deshidratación osmótica al vacío de aguaymanto puede ser modelado adecuadamente por medio de modelos empíricos, semi-empíricos y fenomenológicos. Se utilizó Azuara y Peleg como modelos empíricos, ya que presentan mayor facilidad de uso, aunque no permiten extrapolar más allá del rango experimental (Ochoa et al., 2005). Mientras que el modelo fenomenológico de Fick es más robusto, pero su aplicación involucra normalmente el uso de procedimientos matemáticos más sofisticados (Della, 2010).

#### **4.2.2. Ajuste de los sólidos solubles a los modelos cinéticos**

La tabla 12 presenta los parámetros calculados para ganancia de los sólidos solubles a partir de los modelos cinéticos de Azuara, Fick y Peleg en los nueve tratamientos del diseño de Taguchi  $L_9$  ( $3^4$ ). El modelo con mejor ajuste fue el modelo de Peleg, que presentó ERM de 4,11 a 8,38 %, seguido de Azuara con ERM % de 13,56 a 21,0 %. El modelo de Fick presentó ERM muy altos. Esto se confirma en la figura 22 donde la línea más cercana a los puntos experimentales es del modelo de Peleg seguido de Azuara.

Tabla 12. Valores cinéticos de los sólidos solubles de los modelos de Azuara, Fick y Peleg durante la deshidratación osmótica de aguaymanto en 180 minutos de proceso

Variables Independientes		Tratamientos propuestos por arreglo de Taguchi L <sub>9</sub> (3 <sup>4</sup> )								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
MODELOS CINETICOS	Temperatura (°C)	40	50	60	60	40	50	50	60	40
	Concentración Osmótica (°Brix)	30	40	50	30	40	50	30	40	50
	Acido. Cítrico (%)	0.05	0.1	0.07	0.1	0.07	0.05	0.07	0.05	0.1
	Presión (mmHg)	200	200	200	300	300	300	400	400	400
	GS <sub>eq</sub>	2.817 ± 0.379	5.975 ± 0.379	6.533 ± 1.905	7.167 ± 0.896	10.740 ± 0.889	21.266 ± 6.923	3.277 ± 1.762	6.515 ± 0.693	7.115 ± 0.977
AZUARA	S <sub>2</sub>	0.075 ± 0.041	0.043 ± 0.019	0.029 ± 0.027	0.012 ± 0.001	0.008 ± 0.001	0.004 ± 0.001	0.013 ± 0.071	0.184 ± 0.002	0.036 ± 0.015
	R <sup>2</sup>	0.680 ± 0.220	0.955 ± 0.010	0.863 ± 0.064	0.894 ± 0.033	0.582 ± 0.425	0.794 ± 0.036	0.764 ± 0.211	0.800 ± 0.058	0.838 ± 0.029
	ERM (%)	14.804 ± 1.414	13.953 ± 4.083	17.125 ± 1.495	20.570 ± 1.950	15.653 ± 0.636	18.675 ± 2.322	18.567 ± 0.933	13.563 ± 2.624	21.004 ± 1.900
	Dif. Efectiva	0.010 ± 0.001	0.558 ± 0.828	0.165 ± 0.053	0.0016 ± 0.001	0.070 ± 0.021	0.093 ± 0.049	0.018 ± 0.000	0.059 ± 0.015	0.158 ± 0.026
FICK	R <sup>2</sup>	0.695 ± 0.128	0.887 ± 0.044	0.796 ± 0.108	0.765 ± 0.085	0.771 ± 0.089	0.827 ± 0.064	0.447 ± 0.060	0.677 ± 0.027	0.808 ± 0.034
	ERM (%)	20.989 ± 1.286	37.093 ± 0.257	44.973 ± 0.251	20.300 ± 1.270	37.317 ± 0.427	41.031 ± 2.244	22.539 ± 0.102	35.147 ± 0.728	45.999 ± 0.575
	k <sub>1</sub>	3.654 ± 1.736	4.718 ± 1.956	3.227 ± 0.111	5.549 ± 0.630	4.037 ± 0.794	5.013 ± 1.792	1.328 ± 1.335	3.083 ± 1.215	3.559 ± 0.936
PELEG	k <sub>2</sub>	0.179 ± 0.040	0.033 ± 0.023	0.027 ± 0.009	0.146 ± 0.027	0.042 ± 0.011	0.014 ± 0.023	0.205 ± 0.045	0.071 ± 0.010	0.018 ± 0.010
	R <sup>2</sup>	0.867 ± 0.044	0.948 ± 0.009	0.966 ± 0.019	0.718 ± 0.265	0.906 ± 0.099	0.931 ± 0.056	0.510 ± 0.259	0.72.1 ± 0.010	0.943 ± 0.022
	ERM (%)	4.387 ± 1.281	5.368 ± 3.777	4.246 ± 1.136	5.598 ± 2.534	4.118 ± 0.715	4.946 ± 4.058	4.921 ± 0.751	8.381 ± 1.273	6.090 ± 2.331

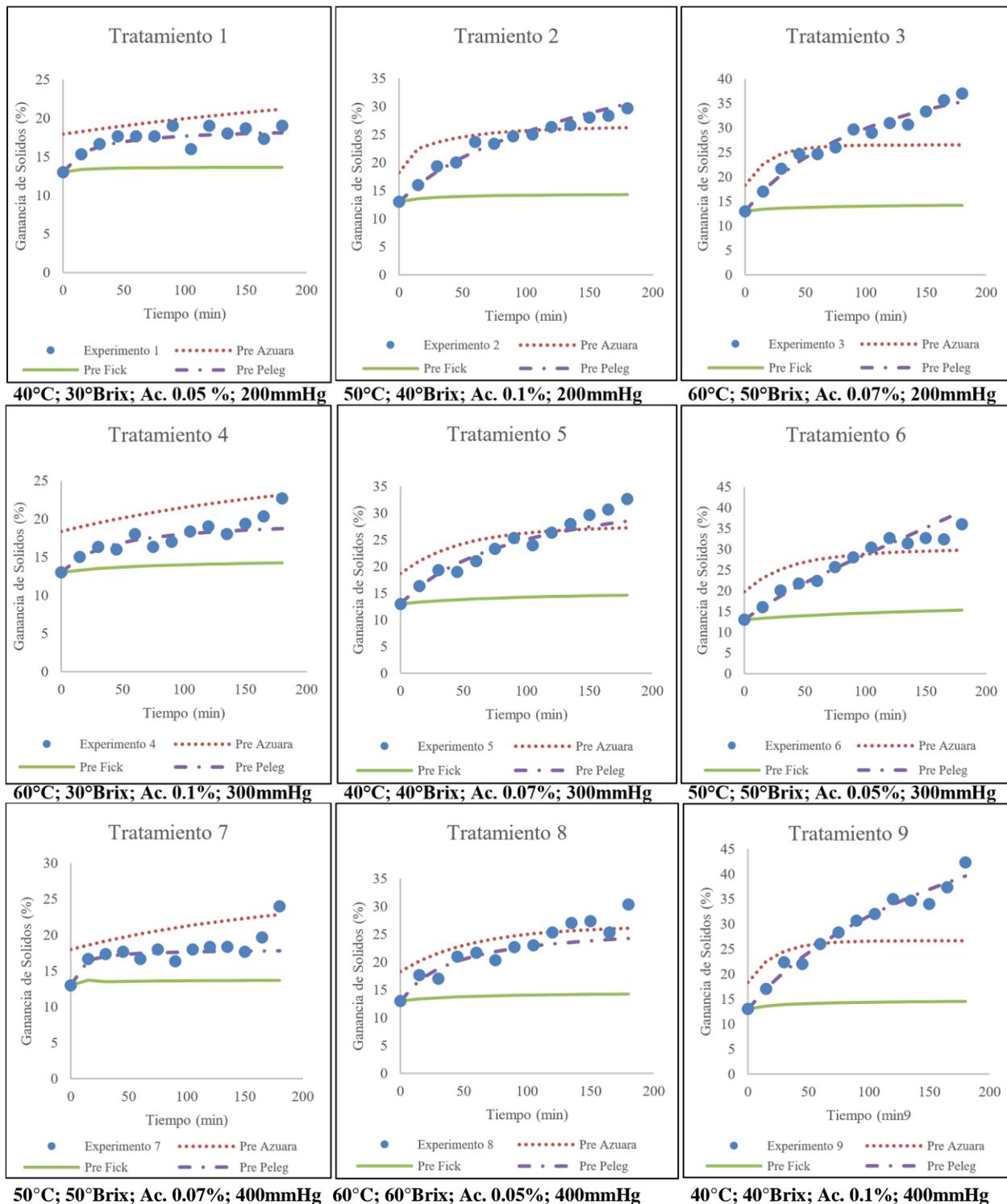


Figura 22. Se expone los nueve tratamientos propuestos por Taguchi L<sub>9</sub> (3<sup>4</sup>) evaluando la cinética de sólidos solubles en comparación con los modelos empíricos de Azuara, Fick y Peleg durante la deshidratación osmótica al vacío de aguaymanto en 180 minutos.

En la figura 22 se observa la ganancia de sólidos en el tiempo de 180 minutos de proceso de deshidratado osmótico. Al igual que menciona Ibarz & Barbosa (2005) donde el contenido de solutos es favorecido a lo largo del tiempo. Moy, Lau, & Dollar (1978) explican que la salida de fluidos desde la matriz del fruto se lleva a cabo en las primeras etapas iniciales del proceso, para luego dar paso a una segunda etapa o etapa de impregnación en la cual la ganancia de sólidos es mayor que la pérdida de agua. Por otro lado, el modelo de Peleg presentó mayor ajuste, seguido de Azuara. Della (2010) menciona que el modelo de Fick tiene menor grado de ajuste en el cálculo de la cinética de osmodeshidratación para la ganancia de sólidos.

“La ganancia de sólidos es un parámetro importante en la deshidratación osmótica, porque en algunos casos su incremento es un fenómeno indeseable, puesto que puede estar asociado a modificaciones de las propiedades organolépticas y el contenido calórico del producto (Phisut, 2012). A demás que puede favorecer la formación de una barrera en la superficie del producto, afectando negativamente la transferencia de masa en el sistema (Arias, Perea & Zapata, 2017)”.

Lo cual no sucede en nuestro experimento debido a que la presión facilita la remoción de agua. Fito (1994) refiere que tratamientos de vacío intensifican el flujo capilar mejorando la absorción de solutos. Por otro lado, si se busca reducir las pérdidas de peso en el producto para no afectar significativamente su costo, puede ser deseable un elevado (GS), como es el caso de los productos confitados (Giraldo et al., 2003).

### 4.3. Efecto de los parámetros cinéticos de osmodeshidratación en las constantes cinéticas de los modelos de Azuara y Peleg

#### 4.3.1. Parámetros cinéticos de la humedad

Dado que los modelos de Azuara y Peleg presentaron mayor ajuste durante la deshidratación osmótica, se determinó el análisis de varianza para evaluar el efecto de las variables de estudio sobre los parámetros cinéticos durante de la deshidratación osmótica de aguaymanto, ver la tabla 13. En los parámetros de Peleg  $k_1$  la temperatura y concentración osmótica no son significativos guardando relación por lo reportado por Ganjloo et al., (2011), en deshidratado osmótico de guayaba sin semillas.

Así mismo las que influyeron de forma significativa son la acidez y presión, siendo mayor el efecto de la presión que la acidez (mayor SS en la presión); mientras que sobre el parámetro  $k_2$  influyeron la temperatura y concentración osmótica, teniendo la concentración osmótica mayor efecto que la temperatura. En tanto para el modelo de Azuara  $PA_{eq}$  y  $S_1$  las variables significativas para ambas son; concentración osmótica, acidez y presión.

Tabla 13. *Análisis de varianza para el análisis cinético del modelo de Peleg y Azuara*

Factor	Modelo empírico de Peleg						Modelo empírico de Azuara					
	$k_1$			$k_2$			$PA_{eq}$			$S_1$		
	SS	F	P	SS	F	P	SS	F	P	SS	F	P
Temperatura (°C)	23.39	2.568	0.104	6.718	4.497	0.026	1.85	2.761	0.090	5.291	0.761	0.481
C/Osmótica (°Brix)	1.78	0.196	0.824	376	251.685	0.000	397.33	591.995	0.000	45.34	6.525	0.007
Acidez (%)	74.14	8.137	0.003	3.64	2.437	0.116	5.34	7.952	0.003	60.46	8.700	0.002
Presión (mmHg)	137.64	15.106	0.000	2.74	1.834	0.188	3.52	5.246	0.016	158.6	22.819	0.000
Residual	82.00			13.45			6.04			62.54		
$R^2$	0.7429			0.9665			0.9854			0.8117		

A partir de la suma de cuadrados el modelo de Azuara  $PA_{eq}$  influyeron de mayor a menor efecto: concentración osmótica > acidez > presión, mientras que en  $S_1$  el orden es invertido teniendo presión > acidez > concentración osmótica respectivamente. En la figura 23 y 24 se muestra la variación de los parámetros  $k_1$  y  $k_2$  con los niveles de los factores.

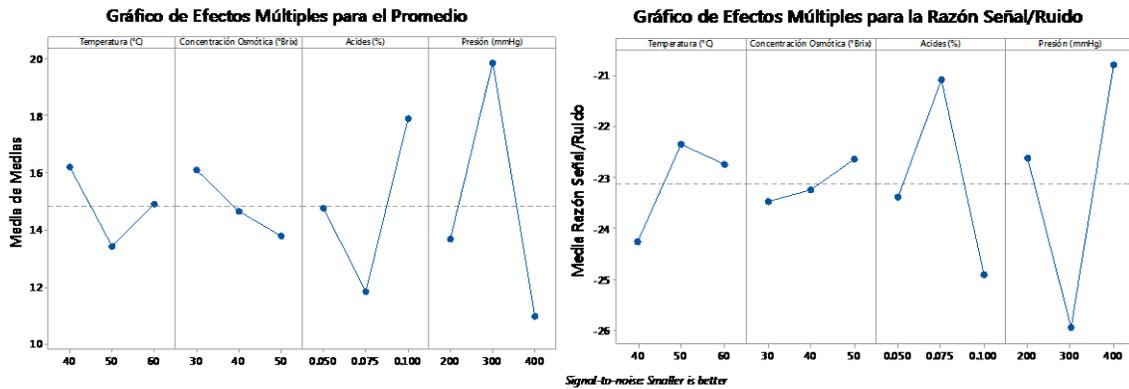


Figura 23. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante cinética  $k_1$  de Peleg

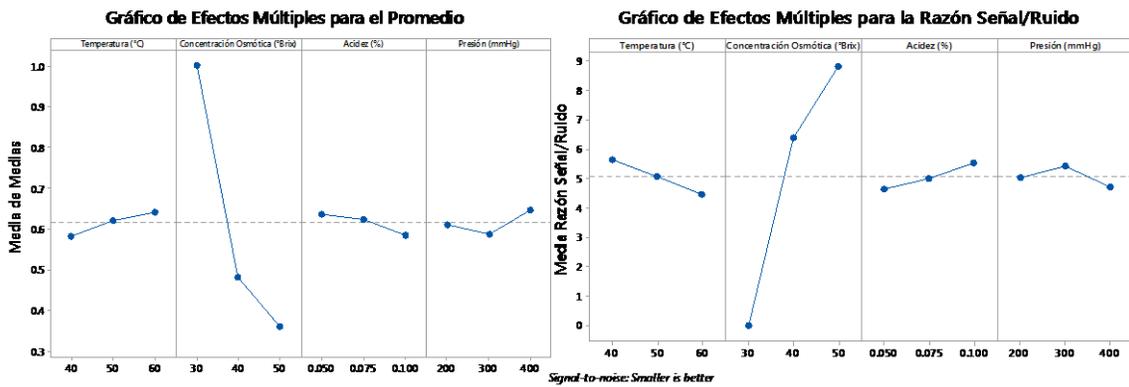


Figura 24. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante cinética  $k_2$  de Peleg

La constante  $k_1$  está relacionada con la velocidad de difusión. Los promedios más altos para  $k_1$  corresponde a los niveles de temperatura 40 °C, concentración osmótica 30 °Brix, acidez 0.1 % y presión 300 mmHg, por lo que a estos niveles se tendrá una cinética más rápida. A partir de la gráfica de Razón Señal/Ruido, indican que a niveles de temperatura 50 °C, concentración osmótica 50 °Brix, acidez 0.075 % y presión 400 mmHg los valores de  $k_1$  serán más estables o con menos desviación estándar.

Los promedios de  $k_2$  (capacidad máxima) son afectados por la temperatura y concentración osmótica debido a su p-valor  $<0.05$ . En  $k_2$  se busca los menores valores, dado que indicaría una menor retención de humedad, un mayor valor de  $k_2$  indica mayor retención de humedad en el proceso. Se encontró que los menores promedios se alcanzaron en los niveles de temperatura  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , concentración osmótica  $30\text{ }^\circ\text{Brix}$ , acidez  $0.05\%$  y presión  $400\text{ mmHg}$ . Del gráfico de Razón Señal/Ruido los niveles de temperatura  $40\text{ }^\circ\text{C}$ , concentración osmótica  $50\text{ }^\circ\text{Brix}$ , acidez  $0.1\%$  y presión  $300\text{ mmHg}$ , son los mejores parámetros que retienen menor humedad en el fruto.

En otros estudios la constante  $k_1$  disminuye con el aumento de la temperatura y la concentración de la solución, mientras que  $k_2$  no presenta efecto (Bialik et al., 2018; Rahman et al., 2011) lo que sugiere que la tasa inicial de la transferencia de masa aumentada.

Los cambios en los niveles en los factores para las constantes del modelo de Azuara se muestran en las figuras 25 y 26. En la constante  $PA_{eq}$  los mayores promedios se dan a niveles de temperatura  $40\text{ }^\circ\text{C}$ , concentración osmótica  $50\text{ }^\circ\text{Brix}$ , acidez  $0.1$  y presión  $300\text{ mmHg}$ , los cuales son los mismos niveles para el gráfico Razón Señal/Ruido con menor desviación estándar. Mientras que la constante  $S_1$  presenta mayores promedios a niveles de temperatura  $40\text{ }^\circ\text{C}$ , concentración osmótica  $30\text{ }^\circ\text{Brix}$ , acidez  $0.05\%$  y presión  $200\text{ mmHg}$ . De la gráfica Razón Señal/Ruido indica las mejores condiciones son a niveles de temperatura  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , concentración osmótica  $30\text{ }^\circ\text{Brix}$ , acidez  $0.075\%$  y presión  $200\text{ mmHg}$ , siendo los más estables o con menos desviación estándar.

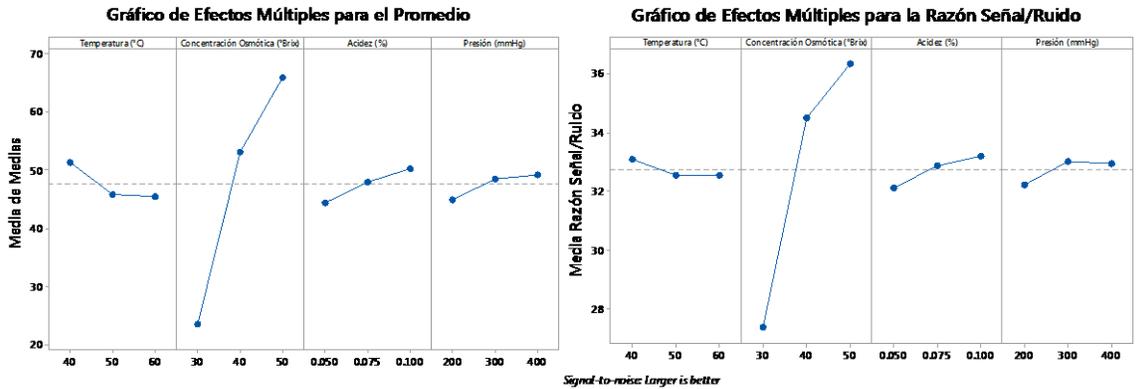


Figura 25. Gráficas de promedio y efectos múltiples en pérdida de agua  $PA_{eq}$  de Azuara

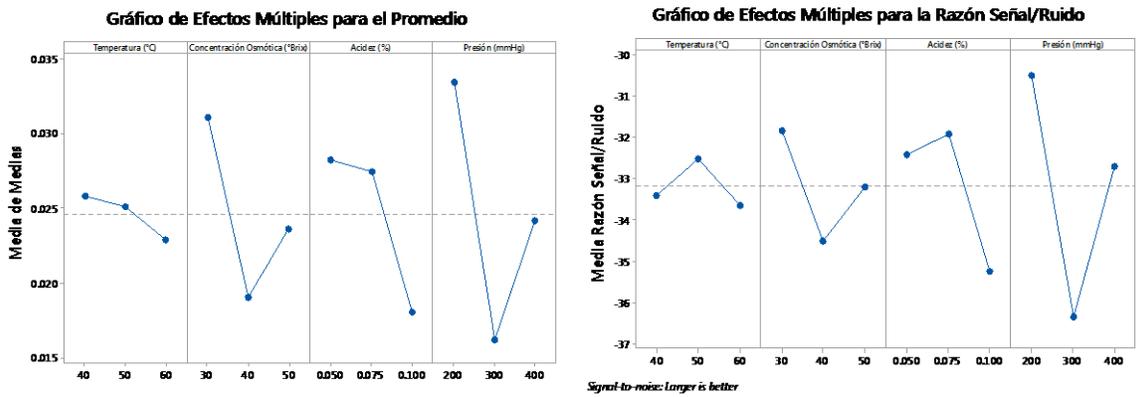


Figura 26. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante  $S_1$  de Azuara

En otras investigaciones la constante cinética  $S_1$  se incrementa con el aumento de temperatura y solución osmótica, la gradiente de ambas influye sobre la transferencia de masa en estos procesos (Arias, Perea & Zapata, 2017). Al aumentar temperatura intensifica la eliminación de agua, la penetración de la solución osmótica en el tejido debido al hinchamiento y plastificación de la membrana celular, y reducción de la viscosidad del líquido de deshidratación (Ibarz & Barbosa, 2005; Fito & Pastor, 1994).

Los valores máximos de  $S_1$  alcanzados a 300 mmHg son corroborados por Chaparro et al., (2010) & Fito et al., (2004) donde el vacío facilita el desalojo del aire de los poros incrementando el potencial de transferencia de masa entre el medio externo y el fruto, mientras que presiones más altas podrían ocasionar la deformación de las células

parenquimáticas del fruto, evitando el intercambio de fluidos entre el fruto y medio (Fito et al., 2004). Los altos valores de los parámetros cinéticos son convenientes para la conservación de la fruta, porque ambos están asociados con la reducción del agua disponible para el desarrollo de microorganismos y reacciones enzimáticas que puedan deteriorar el producto (Arias, Perea & Zapata, 2017). En la pérdida de agua el tiempo de proceso, la concentración osmótica y la presión de vacío son factores individuales significativos (Chaparro et al., 2010), un desnivel en la presión interrumpe la transferencia de masa por la membrana (Yupanqui, 2010).

Castro et al., (1997) menciona que, la presión permite el empleo de temperaturas de operación más bajas y la obtención de productos de mejor calidad. Siendo el principal efecto de vacío es el incremento en la pérdida de peso en las primeras etapas del proceso de y a medida que transcurre el tiempo la ganancia de sólidos se empieza a hacer también significativa. Los altos valores de los parámetros cinéticos son convenientes para la conservación de la fruta, porque ambos están asociados con la reducción del agua disponible para el desarrollo de microorganismos y reacciones enzimáticas que puedan deteriorar el producto. La temperatura estimula el movimiento molecular y aumenta la permeabilidad celular incrementando la transferencia de masa (Shi & Xue, 2009). Akbarí, Ghasemkhani & Moayedi (2014) recomiendan que la temperatura para la mayor tasa de pérdida de agua en frutas es de 50 °C, realizando un estudio en frutas de la industria de alimentos.

#### **4.3.2. Parámetros cinéticos de los sólidos solubles**

La tabla 14 presenta el análisis de varianza para las constantes cinéticas en los modelos de Azuara y Peleg que tuvieron mayor ajuste sobre la ganancia de sólidos. En la constante

cinética  $k_1$  se encontró que sólo la presión genera diferencias significativas, mientras que en  $k_2$  influyó la concentración osmótica. El efecto de la presión está relacionado con la velocidad de ganancia de sólidos, mientras que la constante  $k_2$  la concentración osmótica influye en la capacidad máxima de ganancia de sólidos solubles, debido a la difusión del medio hacia el producto por efecto de la osmosis.

En tanto para el modelo de Azuara en la  $GS_{eq}$  y  $S_2$  la concentración osmótica y presión son significativos inferior  $p < 0.05$ . A partir de la suma de cuadrados para  $GS_{eq}$  y  $S_2$  la presión ejerce mayor influencia que la concentración osmótica. Mientras que Castro et al., (1997) define que la ganancia de sólidos depende básicamente de la concentración osmótica. A lo cual aporta Ganjloo et al., (2011) el efecto de la temperatura y concentración disminuyen la ganancia de sólidos.

Tabla 14. *Análisis de varianza del análisis cinético del modelo empírico de Peleg y Azuara*

Factor	Modelo empírico de Peleg Ganancia de Sólidos						Modelo empírico de Azuara Ganancia de Sólidos					
	$k_1$			$k_2$			$GS_{eq}$			$S_2$		
	SS	F	P	SS	F	P	SS	F	P	SS	F	P
Temperatura (°C)	57.66	0.9727	0.397	40.35	1.216	0.319	11.48	1.322	0.291	78.14	1.700	0.211
C/Osmótica (°Brix)	83.62	1.4106	0.269	1560	47.04	0.000	299.69	34.504	0.000	207.55	4.516	0.026
Acidez (%)	182.04	3.0710	0.071	107.5	3.241	0.062	14.37	1.654	0.219	50.67	1.102	0.353
Presión (mmHg)	262.86	4.4344	0.027	20.92	0.630	0.543	334.02	38.456	0.000	952.36	20.721	0.000
Residual	533.50			298.6			78.17			413.66		
R <sup>2</sup>	0.5235			0.8527			0.8940			0.7570		

En la figura 27 por medio de la gráfica de promedios para la constante cinética  $k_1$  sobre la ganancia de sólidos con mayor promedio se alcanzaron en los niveles de temperatura 60

°C, concentración osmótica 40 °Brix, acidez 0.1 % y presión 300 mmHg. Al igual que Chaparro et al., (2010) donde encuentra los máximos niveles de ganancia de solutos al aplicar una presión de vacío de 300 mmHg en solución osmótica de 40 °Brix.

Esto significa que a estas condiciones se obtiene mayor velocidad de difusión de solutos al medio, del gráfico de Razón Señal/Ruido indica que las mejores condiciones son los niveles temperatura 50 °C, concentración osmótica 30 °Brix, acidez 0.075 % y presión 400 mmHg. En la figura 28 la constante  $k_2$  con mayor promedio son a niveles temperatura 50 °C, concentración osmótica 30 °Brix, acidez 0.1 % y presión 400 mmHg. Esto significa que a estas condiciones se obtiene mayor velocidad de difusión de solutos al medio, del gráfico de Razón Señal/Ruido indica que las mejores condiciones son los niveles temperatura 40 °C, concentración osmótica 50 °Brix, acidez 0.1 % y presión 300 mmHg.

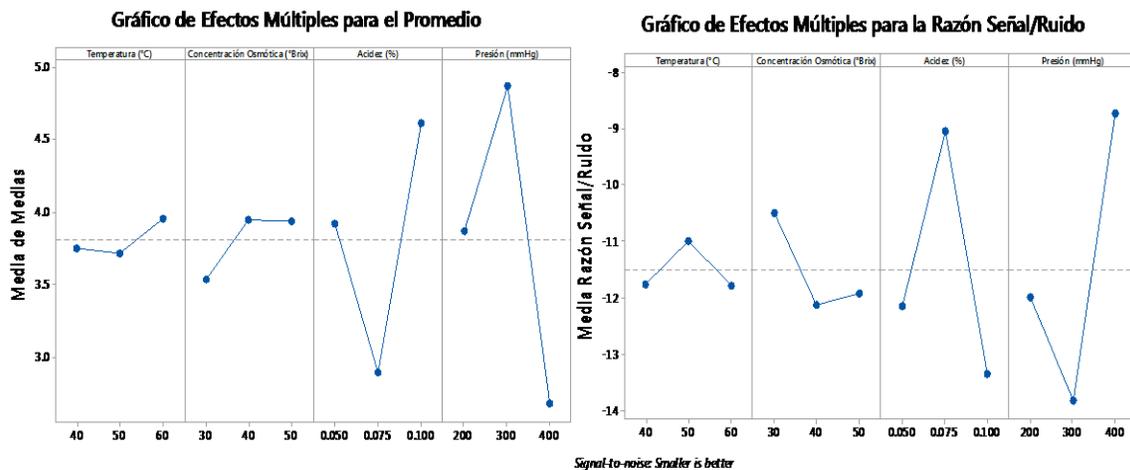


Figura 27. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante cinética  $k_1$  de Peleg

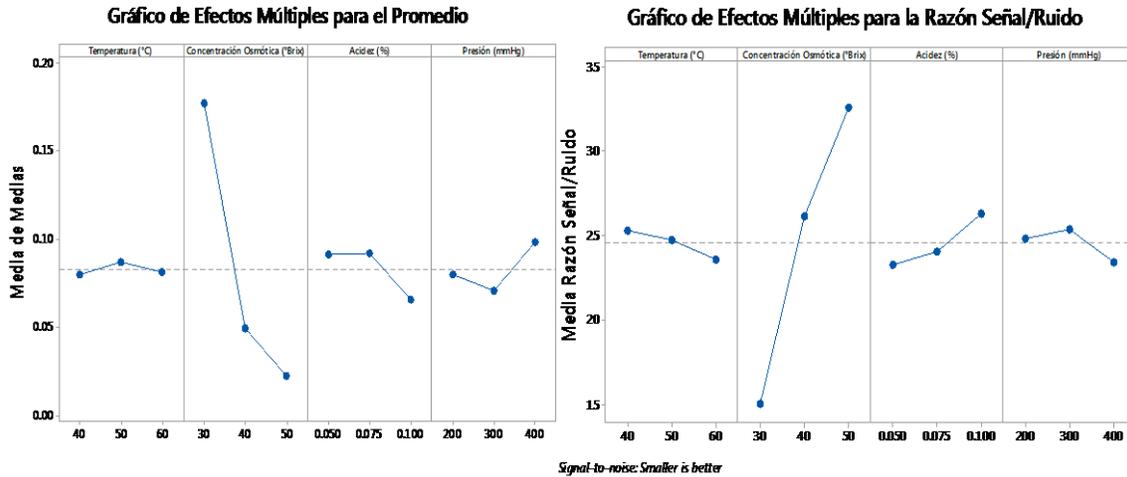


Figura 28. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante cinética  $k_2$  de Peleg

En la figura 29 del modelo de Azuara la constante cinética  $GS_{eq}$  muestra los efectos múltiples de los mejores promedios son para los niveles temperatura 50 °C, concentración osmótica 50 °Brix, acidez 0.05 % y presión 300 mmHg. La cantidad de sólidos que ingresan al producto se ve favorecido debido al efecto tanto de la temperatura como el gradiente de concentración sobre la transferencia de masa de sólidos en solución (Arias, Perea & Zapata, 2017). Una elevada concentración osmótica puede originar una mayor viscosidad pudiendo así evitar la transferencia de solutos, a pesar de la aplicación de vacío que contribuye a la abertura de los espacios intracelulares, puede llegarse a una concentración tal que presente una saturación de está bajando la velocidad de transferencia de masa (Arreola, Rosas & Linares, 2017). El efecto del vacío es relativamente importante no solo porque reduce el tiempo de proceso, sino que también otorga coeficientes de difusión mayores en comparación con otros productos deshidratados (Arreola, Rosas & Linares, 2017; Rastogi & Raghavarao, 2004; Babalis & Belessiotis, 2004). A partir del grafico de Razón Señal/Ruido las mejores condiciones son los niveles temperatura 50 °C, concentración osmótica 50 °Brix, acidez 0.05 % y presión 300 mmHg.

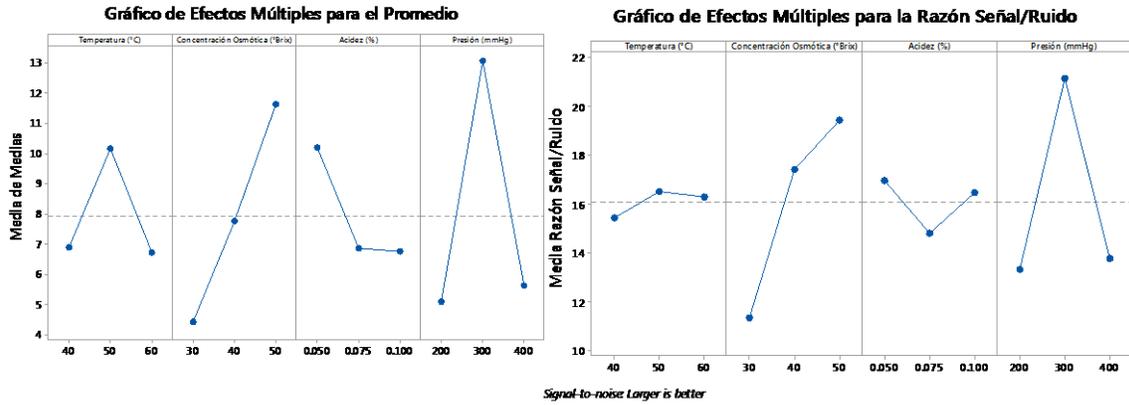


Figura 29. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante  $G_{Seq}$  de Azuara

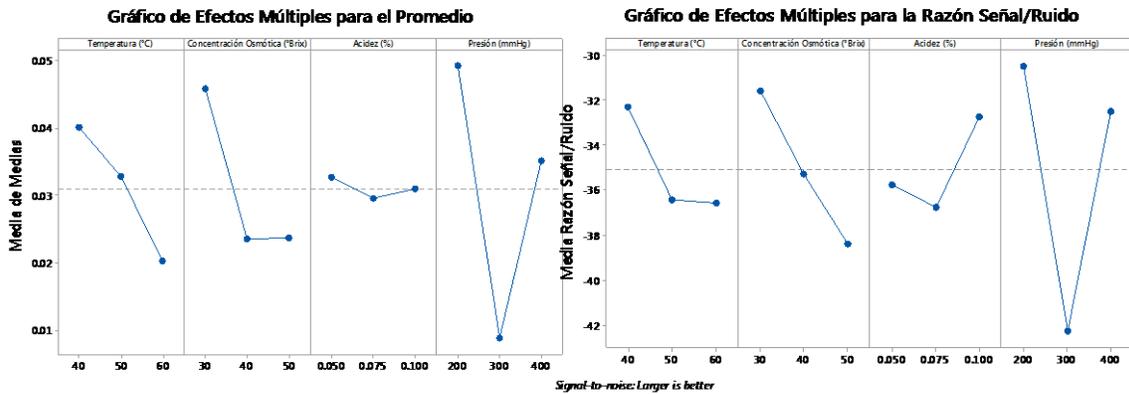


Figura 30. Gráficas de promedio y efectos múltiples para la constante  $S_2$  de Azuara

La figura 30 la constante cinética  $S_2$  los mayores promedios son a niveles temperatura 40 °C, concentración osmótica 30 °Brix, acidez 0.05 % y presión 200 mmHg. El grafico Razón Señal/Ruido los niveles son temperatura 40 °C, concentración osmótica 30 °Brix, acidez 0.1 % y presión 200 mmHg. Por lo tanto, a estos niveles se generarán valores más estables o con menos desviación estándar. Este comportamiento se debe que la solución más diluida puede penetrar mejor al interior de los tejidos, en contraste con las soluciones concentradas que son más viscosas y pueden llegar a formar una capa de sacarosa superficial, obstaculizando la entrada de los solutos y la salida de agua, lo cual ha sido observado por otros autores (Giraldo et al., 2003).

## CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Los diferentes tratamientos de osmodeshidratación al vacío generaron cambios significativos ( $p$ -valor  $< 0.05$ ) sobre los análisis fisicoquímicos (humedad, sólidos solubles, pH, índice de acidez y color [ $L^*a^*b^*$ ]) al final del proceso.

Los modelos con mejor ajuste a los cambios en el contenido de humedad y sólidos solubles (de mayor a menor grado) fueron: El modelo de Peleg  $>$  el modelo de Azuara  $>$  el modelo fenomenológico derivado de la ley de Fick. Basados en la bondad de ajuste del error relativo medio porcentual (ERM %) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Para el modelo de Peleg en la pérdida de agua la constante  $k_1$  es influenciada por la acidez (0,075 %) y presión (400 mmHg), en tanto para  $k_2$  influenciada por la por la temperatura (40 °C) y concentración osmótica (50 °Brix). Para el modelo de Azuara en la  $PA_{eq}$  la concentración osmótica (50 °Brix), acidez (0.1 %) y presión (300 mmHg) y en  $S_1$  la concentración osmótica (30 °Brix), acidez (0.075 %) y presión (200 mmHg).

En tanto para los sólidos solubles el modelo de Peleg la constante  $k_1$  es influenciada por la presión (400 mmHg), en tanto para  $k_2$  por la concentración osmótica (50 °Brix). Para el modelo de Azuara en la  $GS_{eq}$  influyeron de forma significativa la concentración osmótica (50 °Brix) y presión (300 mmHg) y en  $S_2$  la concentración osmótica (30 °Brix) y presión (200 mmHg).

Por lo tanto, en términos generales el contenido de humedad y sólidos solubles, bajo los parámetros mencionados se obtendrá los valores más estables y más altos durante la deshidratación osmótica a vacío de aguaymanto.

## **5.2. Recomendaciones**

- Evaluar las pérdidas en el contenido de compuestos bioactivos durante el proceso de osmodeshidratación a vacío frente a procesos convencionales.
- Aplicar un análisis sensorial a los tratamientos con mayor efecto en el cambio de humedad y sólidos.
- Determinar el costo mínimo de elaboración de aguaymanto osmodeshidratado.

## CAPITULO VI. REFERENCIAS

- Agronet (2010). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. *Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario*. Colombia.
- Akbarí, M., Ghasemkhani, N. & Moayedi, F. (2014). Deshidratación osmótica de frutas en la industria de alimentos: *Una revisión*. *International Journal of Biosciences*. Universidad de Islámica Azad de Shahrekord, Irán. 4(1), 42-57. doi: <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/>
- Alegre, M., Rosa, C., & Linares, G. (2017). Efecto de la temperatura y concentración de miel de abeja sobre la cinética de deshidratación osmótica y aceptabilidad general en la elaboración de snacks de mamey (*Mammea americana*). Trujillo, Perú. 1-15.
- Aparcana, A. & Villareal, L. (2014). Evaluación de la capacidad antioxidante de los extractos etanolicos del fruto de *Physalis peruviana* de diferentes lugares geográficos del Perú. 6-8.
- Araujo, E. (2009). El cultivo de aguaymanto o tomatillo (*Physalis peruviana L.*): manejo técnico en los Andes del Perú. *Cultivos andinos*.
- Arias, L., Perea, Y., & Zapata, E. (2017). Cinética de la transferencia de masa de la deshidratación osmótica de mango (*Mangifera indica L.*) var. Tommy Atkins en función de la temperatura. *Revista Información Tecnológica*. 28 (3), 47-58.
- Arreola, S. & Rosas, M. (2007). Aplicación de vacío en la deshidratación Osmótica de higos (*Ficus carica*). *Revista Información Tecnológica*. 18(2), 43-48.
- Babalís, S. & Belessiotis, V. (2004). Influence of the drying conditions of the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*: 65(3), 449-458.
- Barbosa, C & Vega, G. (2000). Deshidratación de alimentos. Editorial Acribia, Madrid, España.

- Baroni, A. & Hubinger, M. (2000). Osmotic dehydration of tomatoes in binary and ternary Solutions, Dehydration Processes. 1274-1278.
- Bialik, M., Wiktor, A., Latocha, P., & Gondek, E. (2018). Transferencia de masa en deshidratación osmótica de kiwiberry: Estudios de modelos experimentales y matemáticos. *Revista Moléculas*. Universidad de Varsovia, Polonia. 23(5), 1-14. Recuperado en <https://doi.org/10.3390/molecules23051236>
- Biswal, R. & Bozorgmehr, K. (1991). Equilibrium data for osmotic concentration of potato in NaCl-water solution. *Journal of food Process Engineering*. 14(1), 237-245”.
- Camacho, G. & Díaz, A. (1997). Evaluación de calidad a productos deshidratados por osmosis directa. *Deshidratación Osmótica Directa de Vegetales*. Santafé, Bogotá. 1-16.
- Castro et al., (1997). Deshidratación Osmótica a Vacío Pulsante. *Estudio de las Variables del Proceso*. 1-14.
- Cerdán, K. & López, C. (2014). *Efecto de la contracción del soluto en la deshidratación osmótica del aguaymanto (Physalis peruviana L.)*. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero industrial). Universidad Señor de Sipán. Pimentel, Perú. 1125”.
- Chaparro, L., Soto, N., García, T., Gutiérrez, J., Palmero, J. (2010). Efecto de la presión de vacío, solidos solubles totales y tiempo de procesamiento sobre la deshidratación osmótica de rebanadas de melón. *Revista Biagro*. 22(3), 223-228”.
- Colina, M. L. (2010). Deshidratación de Alimentos. Editorial Trillas, México.
- CONAFRUT (2000). El cultivo de capulí. Aspectos de la producción y manejo en post cosecha, industrialización y comercialización. Lima, Perú. Recuperado de [http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/libros/ciencia\\_produccion/cultivo/cultivo\\_capuli.pdf](http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/libros/ciencia_produccion/cultivo/cultivo_capuli.pdf)

- Coronado, N., & Rodríguez, C. (2014). *Diseño de producto, proceso y planta para la producción industrial sostenible de néctar de aguaymanto*. (Tesis de pregrado no publicado en Ingeniería Industrial y de Sistemas). Universidad de Piura, Perú.
- Corzo, O., Ramírez, O., & Bracho, N. (2008). Aplicación del modelo de Peleg en el estudio de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de láminas de mamey (*Mammea americana L.*). Universidad del oriente. Cumaná, Venezuela. 20(1), 8795.
- Dávila, L., & López, L. (2005). Transferencia de masa en la deshidratación osmótica a vacío de rodajas de Ananas comosumos *Ananacomosus l.merr* "Piña". *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. 8(1), 7-12.
- Della, P. (2010). *Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente*. (Tesis de Maestría en Tecnología de Alimentos). Universidad Tecnología Nacional, Buenos Aires, Argentina.
- Dostert et al., (2011). Hoja botánica: Aguaymanto. Proyecto Perú biodiverso. *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*. Lima, Perú. 1-4".
- Duque, A., Giraldo, G. & Mejía, C. (2007). Variación del color en Mango, Mora y Uchuva en diferentes tratamientos osmóticos. *Revista de Investigaciones*. Universidad del Quindío. 17(1), 19- 26.
- Espinoza, A., Landaeta, G., Núñez, A. (2006). Efecto del cloruro de calcio sobre la deshidratación osmótica a vacío en mitades de duraznos (*Prunus persica*) en soluciones de sacarosa. *Revista UDO Agrícola*. 6 (1), 121-127.
- Fischer, G. & Melgarejo, L. (2013). Ecofisiología de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) fruta andina para el mundo: cultivo, recurso genético, agroindustria, normativa y mercado. *Revista brasileira de Fruticultura*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-441/13>

- Fito, P. & Pastor, R. (1994). Non diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*. 21(1), 513-517
- Fito, P. (1994). Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering*. 22(1), 313-328.
- Flores, P. (1997). Cultivo de frutales amazónicos: manual para el extensionista. Lima, Perú. Recuperado de <http://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=PE1997101737>
- Floréz, R., Fisher, G. & Sora, A. (2000). Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana*). Bogotá, Colombia. 1-165.
- Ganjlo, A., Rahman, R., Osman, A. & Bimakr, M. (2011). Modelo matemático de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de guayaba sin semillas (*Guajaba pisidium L.*). *Tecnología de alimentos*. 18(3), 1105–1110.
- García, 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* (Tesis para optar el título de ingeniero químico). Universidad de San Carlos, Guatemala. 1-142.
- Garzón, M. (2014). *Bombones rellenos de mashua (Tropaeolum tuberosum) deshidratadas por ósmosis*. (Tesis para la obtención del título de ingeniero de alimentos). Universidad Tecnología Equinoccial, Ecuador.
- Gavidia, A., Carbajal, R., Reyna, L., Hidalgo, C., Guevara, C., Cabellos, J. & Rojas, J. (2013). Efecto de la temperatura y concentración del jarabe de inmersión en la difusión efectiva y aceptación sensorial en cubos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) osmodeshidratado. *Revista Agroindustrial Science*. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- Genina, P. (2002). Deshidratación osmótica: alternativa para conservación de frutas tropicales. *Revista de biotecnología Cinvestav*. México. 21(1), 1-4.

- Giraldo, G., Talens, P., Fito, P. & Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*. 58(1), 33-43. doi:10.1016/S0260-8774(02)00331-x
- Gonzalez, G. (1999). Viabilidad de la piña colombiana variedad cayena lisa para su industrialización combinando las operaciones de deshidratación osmótica, impregnación a vacío y secado por aire caliente. Universidad Politécnica de Valencia, departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia, España
- Grabowski, S., Mujundar, S., Ramaswamy, S. & Strumillo, C. (1994). Osmoconvective drying of grapes. *Drying Technology*, 12(5), 1211-1299.
- Herrera, A. (2000). Manejo poscosecha de la uchuva en producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana L.*). Universidad Nacional de Colombia.
- Honorato, G., Oliveira, E. & Magalhaes, M. (2005). Study of the kinetic drying process for shrimp cephalothorax. Universidade Fed do Rio Grande do Norte. *Centro de Tecnología*. Brasil. 3-10.
- Ibarz, A. & Barbosa, C. (2005). Operaciones unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Editorial Mundi Prensa. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=daoSAQAAQBAJ&dq=Ibarz,+A.+%26+Barbosa,+C.+\(2005\).+Operaciones+unitarias+en+la+Ingenier%C3%ADa+de+Alimentos.&lr=&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.pe/books?id=daoSAQAAQBAJ&dq=Ibarz,+A.+%26+Barbosa,+C.+(2005).+Operaciones+unitarias+en+la+Ingenier%C3%ADa+de+Alimentos.&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s)
- Islam, M. & Flink, J. (1983). Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. *Journal of Food Technology*, 17(1), 387-403.
- Jongen, W. (2002). Fruit and vegetable processing: Improving quality. *Woodhead Publishing in Food Science and Technology*. England. 1-405.
- Krokida, M., Karathanos, V., Maroulis, Z. & Marinos, D. (2003). Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*. 59(1), 391-403.

- Le Maguer, M. (1988). Osmotic dehydration: review and future directions. In Proceeding of International Symposium Progress in Food Preservation Processes. Ceria, Brussels, Belgium. (1), 283- 309.
- Lerici, C., Pinnavaia, G., Rosa, M. & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agent on drying behaviour and product quality. *Journal of Food Science*. 50(1), 1217-1219.
- Leyva, J. & Ruiz, M. (2014). *Determinación de los coeficientes de difusividad másica en la deshidratación osmóticas del pepino dulce (Solanum muricatum aiton)*. (Tesis para optar el título profesional de ingeniería agroindustrial). Huancayo, Perú.
- Ligarreto, G., Lobo, M. & Correa, A. (2005). Recursos genéticos del género *Physalis*. Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) en Colombia, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 9-28.
- Maestrelli, A. (1997) Fundamentos de la técnica de deshidratación osmótica de frutas. Deshidratación Osmótica Directa de vegetales. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fé de Bogotá. 1-19.
- Maldonado, S., Santapaola, J., Torres, J. & Garay, A. (2008). Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 28(1), 251-256.
- Márquez, C., Trillo, O., Cartagena, J. & Cotes, J. 2009. Evaluación fisicoquímica y sensorial de frutos de uchuva (*Physalis peruviana L.*). *Revista de la facultad de química farmacéutica*. 16(1), 42-48.
- Martin, L., Cortés, M. & Montoya, D. (2009). Fisiología de frutas y hortalizas post recolección. Editorial: Acribia. Zaragoza, España.
- Martínez, J. (1998). “Cambios fisicoquímicos en manzana Granny Smith asociados a la impregnación a vacío” en Aplicación en congelación. (Tesis de grado doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. España.

- Mendoza et al., (2017). Efecto de los métodos escaldado y congelación previos a la liofilización sobre la retención de vitamina C en aguaymanto (*Physalis peruviana L.*). *Revista agroindustria science*. Universidad Nacional de Trujillo, Perú. 7(1), 33-40.
- Mendoza, J., Rodríguez, A. & Millán, P. (2012). Caracterización fisicoquímica de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) en la región de silvia cauca. Universidad del valle. Cali, Colombia. 10(2), 188-196.
- Millán, F. & Ostojich, Z. (2005). Aplicación de un diseño rotatable en un modelado empírico de la deshidratación osmótica en frutas. Universidad Simón Bolívar. Departamento de tecnología de proceso biológico y bioquímico, Venezuela.
- Molina, C. & Orjuela, O. (2013). Cambios en el contenido nutricional de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) frente a osmodeshidratación como método de conservación. *Perspect Nutrition Humana*. Universidad santos Bogotá, Colombia. 15, 149-156.
- Montoya, J. & Quintero, G. (1999). Deshidratación osmótica de frutas y vegetales. Medellín, Colombia. 52(1), 451 – 466.
- Moreira, A., & Murr, E. (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*. 61(3), 291-295.
- Moy, J. Lau, N. & Dollar, A. (1978). Effect of sucrose and acids on osmotic-dehydration of tropical fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2(2), 135-135.
- Muñoz, S. (2015). Efecto de la deshidratación osmótica e impregnación al vacío en las características fisicoquímicas y organolépticas de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Amazonas. *Revista: Ciencias naturales e Ingeniería*. 1(1), 15-20.
- Nguyen, P. & William, E. (2007). Air-drying of banana: Influence of experimental parameters slab thickness, banana maturity and harvesting season. *Journal of Food Engineering*. 79(1), 200-207.

- Ochoa, A., Martínez, I., Ayala, P. & Aponte, A. (2005). Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *Ciencia y Tecnología Alimentaria. Revista de la Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de alimentos*. 4(5), 330-342.
- Ortiz, E. & Jiménez, M. (2012). Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano. *Ingeniería de Alimentos*. Puebla, México. 6(1), 98-110.
- Ozdemir, B. Ozen, L. Dock, A. & Floros, J. (2008). Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *Food Science and Technology*. 41(10), 2044-2050. doi: 10.1016/j.lwt.2008.01.010
- Panadés et al., (1996). Pulse Vacuum Osmotic Dehidratation of Guava. *Revista Food Science And Tecnology International*. 2(1), 301–306.
- Paredes et al., (2012). Aplicación del modelo de Peleg para estudiar el efecto de la temperatura y dureza del agua durante la rehidratación de frijol caballero (*Phaseolus vulgaris*). Universidad Nacional de Trujillo, Perú. *Agroindustrial science*.1, 14-22.
- Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Food Research Journal*. 19(1), 7-18.
- Pinzón, M., Villa, C. & Nieto, J. (2011). Cambios de color y perfil aromático en soluciones osmóticas usadas en deshidratación osmótica de tomate de árbol. Universidad del Quindío, Colombia. 9(2), 121–129.
- Popova, A., Panayotov, N. & Kouzmov, K. (2010). Evaluation of the development of cape gooseberry (*Physalis peruviana L.*) plants under the environmental conditions of South Bulgaria. [http://balwois.com/balwois/administration/full\\_paper/ffp-1336.pdf](http://balwois.com/balwois/administration/full_paper/ffp-1336.pdf)
- PROMPERÚ, (2010). Perú: Productos naturales. *Revista productos naturales*. 1-9.
- Puente, L., Pinto, C., Castro, E. & Cortes, M. (2011). Aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*. 44(7), 1733 – 1740.

- Rafiq, K. (2012). La deshidratación osmótica técnica de preservación de frutas. Una revisión. *Ciencias de la alimentación*. 22(2), 71-85.
- Rahman, G., Bakar, J., Osman, A. & Brimark, M. (2011). Modelos matemáticos de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de guayaba sin semillas (*Guajava Pisidium L.*). *Departamento de tecnología de los alimentos*. 18(3), 11051110.
- Rahman, M. (2009). Food stability beyond water activity and glass transition: macro-micro region concept in the state diagram. *International Journal of Food Properties*. 12, 726740.
- Rahman, S. & Perera, C. (1996). Osmotic dehydration: a pretreatment for fruit and vegetables to improve quality and process efficiency. *The Food Technologist*, 25, 144-147.
- Ramírez, W. (2015). *Características y propiedades funcionales de aguaymanto (Physalis peruviana L.)* (Tesis para optar el título de ingeniero agroindustrial). Universidad Nacional de Trujillo, Perú. 1-43.
- Ramiro, A. (2013). *Modelado de la simulación de la deshidratación combinada osmótica microonda de frutihortícolas*. (Tesis previa a la obtención de doctor en ingeniería). Universidad Nacional de la Plata, Argentina.
- Raoult & Wack, (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends Food Science Technology*. 5(1), 255-260.
- Raoult, A. Bozt, O. Guilbert, S. Ríos, G. (1991). Simultaneous water and solute transport in shrinking media. Part I. Application to dewatering and impregnation soaking process analysis (Osmotic dehydration). *Drying Technology*. 9(1), 589-612.
- Rastogi et al., (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science and Technology*. 13, 48-59.
- Rastogi, N. & Raghavarao, K. (2004). Mass Transfer during osmotic dehydration of pineapple: Considering Fickian diffusion in cubical configuration. *Lebensmittel Wissenschaft und-Technologie*. 37(1), 43-47.

- Respetro, A., Cortés, R., & Márquez, C. (2009). Uchuvas (*Physalis peruviana L.*) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E. *Vitae*, 16(1), 19-30.
- Retti, M. & Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 42(2). doi: 10.4206, 39-48.
- Rocca, P. & Mascheroni, R. (2010). Modelos empíricos en la deshidratación osmótica de papas. Universidad tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. La plata, Argentina. 2(1), 57-66.
- Rocca, P. & Mascheroni, R. (2011). Deshidratación de papas por métodos combinados de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convención con aire caliente. Universidad tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. La plata, Argentina. 9(1), 1-16.
- Rocca, P. (2010). Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Universidad tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. La plata, Argentina. 2(1), 1-6.
- Rocca, P., Roche, L. & Mascheroni, R. (2013). Estudio de la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de zanahoria. Universidad tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. La plata, Argentina. 11(2), 1-11.
- Rodríguez, N. & Bueno, M. (2006). Estudio de la diversidad citogenética de (*Physalis peruviana L.*). *Biológica colombiana*, Bogotá, 11(2), 75-85.
- Sacchetti, G., Gianotti, A. & Dalla, R. (2001). Sucrose salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability study on apple osmotic treatments. *Journal of Food Engineering*. 49(3), 163-173.
- Sahin, S., Sumnu, S., & Ibarz, A. (2009). Propiedades físicas de los alimentos. Departamento de Tecnología. *Physical properties of foods* Recuperado de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=LIBROSNL.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=003568>
- Salsamendi et al., (2013). Efecto de distintas concentraciones de sacarosa, miel y ácido ascórbico en la calidad sensorial y microbiológica de una mezcla de frutas cortadas.

- Schreiber, F. (2012). Estudio de prefactibilidad para la producción y comercialización de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*). En condiciones de valles andinos. Recuperado de <http://www.sierraexportadora.gob.pe/berries/factibilidad/aguaymanto.pdf>
- Schreiber, F. (2015). Sierra exportadora: Proyecto de factibilidad aguaymanto Recuperado de <http://www.sierraexportadora.gob.pe/berries/factibilidad/aguaymanto.pdf>.
- Shi, J. & Xue, J. (2009). La aplicación y desarrollo de la tecnología de deshidratado osmótico en la elaboración de alimentos. *Food Science and Technology*. 3(1), 9-18.
- Shi, X. & Maupoey, P. (1993), Mass transfer in vacuum osmotic dehydration of fruits: a mathematical model approach. *Food Science and Technology*. 27(1), 67-72.
- Sierra y Selva Exportadora, (2015). Aguaymanto se envían a Estados Unidos y Alemania. Recuperado de <https://www.sierraexportadora.gob.pe/2015/03/16/mas-del-50-delas-exportaciones-de-aguaymanto-se-envian-estados-unidos-y-alemania/>
- 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.* (Tesis para optar el grado de Ingeniero Químico). Guatemala.
- Sullivan, J., Shah, V. & Chissoe, W. (2005). Palynology and systematics of *Physalis (Solanaceae)* the legacy of a taxonomist. *Missouri Botanical Garden*. 287-300.
- Tacanga, A. (2015). *Características y propiedades funcionales del aguaymanto (Physalis peruviana L.)*. (Tesis para obtener el título de ingeniero agroindustrial). Trujillo, Perú.
- Tepper, P. (1996). *Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de palta fuerte.* (Tesis para otorgar el título de agrónomo). Santiago, Chile.
- Terán, S. (2012). Manual técnico para el manejo agronómico del aguaymanto orgánico. Centro Ecuménico de Promoción y Acción Social Norte, Cajamarca. 1-24.

- Uddin, M. & Islam, N. (1985). Development of shelf-stable pineapple products by different methods of drying. *Journal of Institutions Engineering*. 13(1), 5-13.
- Velázquez, J. & Velázquez, K. (2017). *Evaluación de las características fisicoquímicas del aguaymanto (Physalis peruviana L.) de la zona andina y selva en diferentes estados de madurez*. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero de industrias alimentarias). Huancayo, Perú.
- Westland, S. (2001). Qué es el espacio de color CIE L\*a\*b\*. Recuperado de [http://www.gusgsm.com/espacio\\_color\\_cie\\_lab](http://www.gusgsm.com/espacio_color_cie_lab)
- Yupanqui, A. (2010) *Influencia de la sacarosa y glucosa en la deshidratación osmótica del mango criollo (Manguijera indica L.) de Satipo*. (Tesis presentando para optar el título profesional de ingeniera de ciencias agrarias especialidad de industrias alimentarias). Satipo, Perú.
- Zapata & Montoya (2012). Deshidratación osmótica de láminas de mango cv. tommy atkins aplicando metodología de superficie de respuesta. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 65(1), 6507-6518.
- Zapata, J., Quintero, O., & Porras, L. (2014). Sorption isotherms for oat flakes (*Avena sativa* L.). 32(1), 52-58. doi: 10.15446/agron.colomb.v32n1.40652,
- Zapata, J., Saldarriaga, A., Londoño, M. & Días, C. (2002). Manejo del cultivo de la uchuva en Colombia. Editorial: Tiraje boletín técnico. 40-42.
- Zapata, J., Suárez, A. & Arias, L. (2016). Cinética de la deshidratación osmótica del aguacate (*Perseaamericana*), y optimización del color por medio de superficies de respuesta. *Tecnología de alimentos*. Universidad de Antioquia. 27(4), 17-32.
- Zhao, Y. & Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Food Science & Technology* 15(1), 434-451. doi:10.1016/j.tifs.2004.01.008