

UNIVERSIDAD NACIONAL  
**FEDERICO VILLARREAL**

Vicerrectorado de  
**INVESTIGACION**

---

## ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

“Efecto del ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo en la obtención de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) osmodeshidratado en la mejora de la calidad”.

Tesis para optar el grado académico de:

**Doctor en Ciencia de los Alimentos**

Autor:

Ponce Ramírez, Juan Carlos

Asesor:

Dra. Luz Eufemia, López Ráez

Jurados:

Dra. Vicenta Irene Tafur Anzualdo  
Dr. Zambrano Cabanillas, Abel Walter  
Dr. Zamora Talaverano, Noé Sabino

**Lima - Perú**

**2019**

## Dedicatoria

*A DIOS. Por la vida que me ha dado, por las cosas buenas que me brinda y por darme la fortaleza de seguir adelante.*

*Con especial cariño a mi esposa Siomara a mis hijos Siomara Alessandra y Carlos Alejandro quienes nunca dejaron de apoyarme y alentarme en el logro de mis objetivos, sacrificando valiosos momentos en que debería estar con ellos.*

*Con eterna gratitud a la memoria de mis Padres Leoncio y Basilia, ejemplo de superación y verdad, a mi hermana Magaly que supo guiarme por el camino de la superación.*

*A nuestros profesores y compañeros de estudio con quienes compartimos inquietudes y esperanzas.*

## **Agradecimiento**

A los docentes de la Escuela Universitaria de Post Grado, Doctorado en Ciencia de los Alimentos de la Universidad Nacional Federico Villarreal, por sus importantes enseñanzas y acogernos en sus aulas.

A la Dra. Luz Eufemia López Ruez por el apoyo incondicional, en el asesoramiento del presente trabajo.

A la Dirección Regional Agraria de Ayacucho, conjuntamente a las asociaciones de productores de aguaymanto APARU por brindarnos su apoyo.

A nuestros amigos y todas aquellas personas que con su apoyo y esfuerzo han hecho posible la culminación del presente trabajo.

## Índice de contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenido .....	iv
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.....	viii
Resumen .....	x
Abstract.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción del problema (A nivel global y local) .....	3
1.2. Formulación del problema .....	8
1.2.1. Problema general.....	8
1.2.2. Problemas específicos .....	8
1.3. Justificación e importancia de la investigación.....	8
1.4. Limitaciones de la investigación.....	10
1.5. Objetivos .....	11
1.5.1. Objetivo general .....	11
1.5.2. Objetivos específicos .....	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	12
2.1. Antecedentes .....	12
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	12
2.2. Antecedentes nacionales .....	14
2.3. Marco conceptual.....	16
2.3.1. Origen y taxonomía del aguaymanto .....	16
2.3.2. Generalidades del aguaymanto .....	16
2.3.3. Valor nutricional y propiedades funcionales.....	18
2.3.4. Osmodeshidratación.....	21
2.3.5. Mecanismos de transferencia de masa en la osmodeshidratación.....	22
2.3.6. Factores que influyen en la osmodeshidratación.....	26
2.3.7. Ventajas y desventajas de la osmodeshidratación.....	34
2.3.8. Ultrasonido.....	36

2.3.9. Teoría general del ultrasonido- energía acústica.....	37
2.3.10. Pulsos de vacío (PV) .....	41
2.3.11. Tiempo .....	42
2.3.12. Tecnologías emergentes en la deshidratación osmótica.....	42
2.3.13. Calidad en productos osmodeshidratados .....	48
2.3.14. Análisis sensorial .....	57
2.3.15. Método de superficie de respuesta .....	59
2.4. Aspectos de responsabilidad social y medio ambiental .....	61
<b>CAPÍTULO III: METODO .....</b>	<b>63</b>
3.1. Tipo de investigación .....	63
3.2. Población y muestra .....	63
3.2.1. Población.....	63
3.2.2. Muestra.....	63
3.3. Hipótesis.....	63
3.3.1. Hipótesis general.....	63
3.3.2. Hipótesis específicas .....	64
3.4. Operacionalización de variables .....	64
3.5. Instrumentos.....	65
3.5.1. Guía de observación.....	65
3.5.2. Test.....	66
3.5.3. Aparatos de medición.....	66
3.6. Procedimientos.....	67
3.6.1. Caracterización de los frutos de aguaymanto.....	67
3.6.2. Acondicionamiento del proceso .....	69
3.6.3. Optimización de las variables respuestas por metodología de superficie de respuesta.....	71
3.6.4. Análisis de la cinética de la deshidratación osmótica .....	73
3.6.5. Análisis físico químico.....	75
3.6.6. Evaluación sensorial.....	75
3.7. Análisis de datos .....	76
3.7.1. Diseño de la investigación .....	76
3.7.2. Análisis estadístico.....	80
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....</b>	<b>82</b>

4.1.	Contrastación de hipótesis.....	82
4.1.1.	Análisis de variancia (ANOVA) de la variación del color.....	82
4.1.2.	Análisis de variancia (ANOVA) del % de retención de ácido ascórbico.....	83
4.1.3.	Análisis de variancia (ANOVA) del % de retención de carotenos .....	85
4.1.4.	Análisis de variancia (ANOVA) de la respuesta global optimizada.....	86
4.1.5.	Análisis de variancia (ANOVA) de la evaluación sensorial .....	88
4.2.	Análisis e interpretación.....	89
4.2.1.	Caracterización de los frutos de aguaymanto.....	89
4.2.2.	Optimización de la variable respuesta por MSR.....	93
4.2.3.	Análisis de la cinética de la deshidratación osmótica .....	115
4.2.4.	Análisis físico químico del aguaymanto osmodeshidratado .....	118
4.2.5.	Evaluación sensorial.....	120
CAPÍTULO V: DISCUSION DERESULTADOS .....		122
5.1.	Discusión.....	122
5.1.1.	Caracterización de los frutos de aguaymanto.....	122
5.1.2.	Optimización de variable respuesta por metodología de superficie de respuesta.....	124
5.1.3.	Discusión sobre la cinética de la osmodeshidratación del aguaymanto .....	130
5.1.4.	Discusión del análisis físico químico del aguaymanto osmodeshidratado....	132
5.1.5.	Discusión de la evaluación sensorial.....	132
5.2.	Conclusiones .....	135
5.3.	Recomendaciones.....	137
VI.	Referencias.....	138
ANEXOS .....		150

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Composición nutricional de <i>Physalis peruviana</i> L. por 100 g de producto.	19
<b>Tabla 2</b> Usos y ventajas de algunos solutos osmóticos	30
<b>Tabla 3</b> Operacionalización de las variables en estudio	65
<b>Tabla 4</b> Niveles de las variables del proceso codificada y sin codificar	78
<b>Tabla 5</b> Diseño experimental codificado de las variables del proceso.	79
<b>Tabla 6.</b> ANOVA para la variación del color ( $\Delta C$ ) según el DCCR	82
<b>Tabla 7</b> ANOVA del porcentaje de retención de ácido ascórbico según el DCCR	84
<b>Tabla 8</b> ANOVA del porcentaje de la retención de carotenos totales según el DCCR	86
<b>Tabla 9</b> ANOVA para la respuesta global optimizada (RGO)	87
<b>Tabla 10</b> ANOVA del atributo “Aceptabilidad” del aguaymanto osmodeshidratado optimizado	88
<b>Tabla 11</b> Prueba de Tuckey para el atributo aceptabilidad	89
<b>Tabla 12</b> Composición químico proximal del aguaymanto fresco (g/ 100 g muestra)	90
<b>Tabla 13</b> Análisis físico del aguaymanto fresco	91
<b>Tabla 14</b> Composición físico químico del aguaymanto	92
<b>Tabla 15</b> Variación del color para las combinaciones de Potencia de ultrasonido (PU), Presión de Vacío pulsante (PV) y Tiempo de ultrasonido (TU) según el DCCR	94
<b>Tabla 16</b> Coeficiente de regresión para la $\Delta C$	97
<b>Tabla 17</b> Valores óptimos que maximizan la variación del color ( $\Delta C$ )	98
<b>Tabla 18</b> % de retención del ácido ascórbico para las combinaciones de Potencia de ultrasonido (PU), Presión de Vacío (PV) y Tiempo de ultrasonido (TU) según el DCCR	99
<b>Tabla 19</b> Coeficiente de regresión para el %RAC	103
<b>Tabla 20</b> Valores óptimos para la maximización del % de retención de ácido ascórbico (%RAC) en el aguaymanto osmodeshidratado	104
<b>Tabla 21</b> % de Retención de carotenos totales para las combinaciones de Potencia de ultrasonido (PU), Presión de vacío pulsante (PV) y Tiempo de ultrasonido (TU) según el DCCR	105
<b>Tabla 22</b> Coeficiente de regresión para el %RCA	108
<b>Tabla 23</b> Valores óptimos para la maximización del % de retención de carotenos totales en el aguaymanto osmodeshidratado	109
<b>Tabla 24</b> Coeficiente de regresión para la RGO	113
<b>Tabla 25</b> Valores óptimos para la maximización de la respuesta global optimizada (RGO), en el aguaymanto osmodeshidratado	114
<b>Tabla 26</b> Análisis físico químico en el aguaymanto osmodeshidratado optimizado	118

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Planta con baya de aguaymanto	17
<b>Figura 2.</b> El proceso de deshidratación osmótica.	22
<b>Figura 3.</b> Representación esquemática del material celular y patrón de transferencia de masa.	24
<b>Figura 4.</b> Espectro sonoro de la audición humana.	38
<b>Figura 5.</b> Generación del ultrasonido.	38
<b>Figura 6.</b> Comportamiento de las burbujas durante la cavitación.	40
<b>Figura 7.</b> Representación del sistema CIE L*a*b* o CIELAB	51
<b>Figura 8.</b> Estructura química de ácido ascórbico.	55
<b>Figura 9.</b> Estructura química de $\beta$ -caroteno	56
<b>Figura 10.</b> Acondicionamiento de los frutos de aguaymanto	69
<b>Figura 11.</b> Preparación de la solución osmótica.	70
<b>Figura 12.</b> Proceso de osmodeshidratado del aguaymanto.	71
<b>Figura 13.</b> Diseño experimental del osmodeshidratado de aguaymanto.	80
<b>Figura 14.</b> Superficie de respuesta, de la variación del color ( $\Delta C$ ) en la osmodeshidratación de aguaymanto.	95
<b>Figura 15.</b> Efecto de los factores sobre la variación del color ( $\Delta C$ ) en el aguaymanto osmodeshidratado.	96
<b>Figura 16.</b> Gráfico de Pareto estandarizado para la variación del color ( $\Delta C$ ) en el aguaymanto osmodeshidratado.	97
<b>Figura 17.</b> Gráfico de superficie de respuesta para la retención de ácido ascórbico (%RAC) en aguaymanto osmodeshidratado.	100
<b>Figura 18.</b> Efecto de los factores sobre el % de retención de ácido ascórbico (%RAC) en el aguaymanto osmodeshidratado.	101
<b>Figura 19.</b> Gráfico de Pareto estandarizado para el % de retención de ácido ascórbico (%RAC) en el aguaymanto osmodeshidratado.	102
<b>Figura 20.</b> Gráfico de superficie de respuesta para la retención de carotenos totales (%RCA) en aguaymanto osmodeshidratado.	106
<b>Figura 21.</b> Efecto de los factores sobre el % de retención de carotenos totales (%RCA) en el aguaymanto osmodeshidratado.	107
<b>Figura 22.</b> Gráfico de Pareto estandarizado para el % de retención de carotenos totales.	108
<b>Figura 23.</b> Gráfico de superficie de respuesta para la respuesta global optimizada (RGO) en aguaymanto osmodeshidratado.	111

<b>Figura 24.</b> Efecto de los factores sobre la respuesta global optimizada (RGO) en el aguaymanto osmodeshidratado.	112
<b>Figura 25.</b> Gráfico de Pareto estandarizado para la respuesta global optimizada (RGO).	112
<b>Figura 26.</b> Pérdida de peso (WR) del aguaymanto osmodeshidratado en solución de sacarosa 60% p/p.	116
<b>Figura 27.</b> Pérdida de agua (WL) del aguaymanto osmodeshidratado en solución de sacarosa 60% p/p.	117
<b>Figura 28.</b> Ganancia de sólidos (GS) del aguaymanto osmodeshidratado en solución de sacarosa 60% p/p.	118
<b>Figura 29.</b> Variación del contenido de ácido ascórbico del aguaymanto osmodeshidratado optimizado.	119
<b>Figura 30.</b> Variación del contenido de $\beta$ carotenos del aguaymanto osmodeshidratado optimizado.	120
<b>Figura 31.</b> Resultados del test de aceptabilidad para el aguaymanto osmodeshidratado.	120

Título: “Efecto del ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo en la obtención de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) osmodeshidratado en la mejora de la calidad”.

### Resumen

El aguaymanto, es una fruta muy apreciada, desafortunadamente durante la osmodeshidratación disminuye la disponibilidad de nutrientes como el ácido ascórbico y  $\beta$ -caroteno necesarios en la dieta alimenticia.

El objetivo general fue: determinar la incidencia del ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo en la calidad del aguaymanto osmodeshidratado, y los objetivos específicos fueron: Determinar la incidencia del ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo con el color del aguaymanto osmodeshidratado; Evaluar la incidencia el ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo con el contenido de ácido ascórbico y carotenos en el aguaymanto osmodeshidratado y Determinar la incidencia el ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo en la aceptabilidad del aguaymanto osmodeshidratado.

Como método se aplicó un modelo central rotacional compuesto de superficie de respuesta como diseño experimental, con seis puntos centrales y 20 tratamientos, utilizando como factores: potencia de ultrasonido (30-50 watts), presión de vacío (50-450 mmHg) y tiempo (10-30 minutos) en una matriz de respuesta la calidad nutricional ( $\Delta C$ , %RAA, %RCA).

En los resultados se caracterizó el fruto determinando un peso promedio de 6,41 g y valores de 37,64 mg ácido ascórbico/100 g) y 2,64 mg  $\beta$  carotenos/100 g. Estos valores difieren, debido a los eco tipos que existen en el Perú (Encina, 2006).

El sinergismo entre la solución osmótica (60°Brix) y el tratamiento óptimo de ultrasonido (30 w), presión de vacío (149,83 mmHg) y tiempo (10 minutos), permitió obtener una menor variación del color ( $\Delta C=3,69$ ), mayor retención de ácido ascórbico (%RAC=65,22%) y carotenoides totales (%RCA=99,05%); mejorando la aceptabilidad (P2=6,00 puntos), superior a la muestra testigo (P1= 4,78 puntos). Los variables tienen un valores ( $p<0,005$ ), indicando que influyen en la menor variación del color, y mayor retención de ácido ascórbico y carotenos totales.

Conclusión: Se determino la incidencia del ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo, al mejorar la calidad del aguaymanto osmodeshidratado en comparación con otras investigaciones (Borda & Caicedo, 2013; Ordoñez-Santos, et al., 2017).

Se recomienda evaluar el contenido de antioxidantes principalmente los withanólidos.

*Palabras claves:* osmodeshidratación, ultrasonido, pulsos de vacío

*Title: "Effect of ultrasound, vacuum pulses and time in obtaining aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) osmodehidratado in the improvement of quality".*

### **Abstract**

The aguaymanto, is a very appreciated fruit, unfortunately, during osmodehydration, the availability of nutrients such as ascorbic acid and  $\beta$ -carotene in the diet decreases.

The general objective was: to determine the incidence of ultrasound, vacuum pulses and time in the quality of water and osmodehydrate, and the specific objectives were: To determine the incidence of ultrasound, vacuum pulses and time with the color of the hydrous osmodehydrate; Evaluate the incidence of ultrasound, vacuum pulses and time with the content of ascorbic acid and carotenes in the osmotic hydrate and osmodehydrate and determine the incidence of ultrasound, vacuum pulses and time on the acceptability of osmodehydrated aguaymanto.

As a method, a central rotational model composed of a response surface was applied as an experimental design, with six central points and 20 treatments, using as factors: ultrasound power (30-50 watts), vacuum pressure (50-450 mmHg) and time (10-30 minutes) in a response matrix nutritional quality ( $\Delta C$ , % RAA, % RCA).

In the results the fruit was characterized determining an average weight of 6.41 g and values of 37.64 mg ascorbic acid / 100 g) and 2.64 mg carotene / 100 g. These values differ, due to the eco types that exist in Peru (Encina, 2006).

The synergism between the osmotic solution (60 ° Brix) and the optimal treatment of ultrasound (30 w), vacuum pressure (149,83 mmHg) and time (10 minutes) allowed to obtain a lower color variation ( $\Delta C = 3, 69$ ), higher retention of ascorbic acid (% RAC = 65.22%) and total carotenoids (% RCA = 99.05%); improving acceptability (P2 = 6.00 points), higher than the control sample (P1 = 4.78 points). The variables have values ( $p < 0,005$ ), indicating that they influence the minor color variation, and greater retention of ascorbic acid and total carotenes.

Conclusion: The incidence of ultrasound, vacuum pulses and time was determined by improving the quality of osmodehydrated aguaymanto compared to other investigations (Borda & Caicedo, 2013; Ordoñez-Santos, et al., 2017).

It is recommended to evaluate the content of antioxidants, mainly withanolides.

*Keywords:* osmodehydration, ultrasound, vacuum pulses.

## INTRODUCCIÓN

En el Perú existen muchas frutas nativas poco conocidas y olvidadas con un alto contenido vitamínico, azúcares naturales, aromas y sabores especiales que son reconocidas a nivel mundial, pero desaprovechadas por nosotros, pudiendo estas ser explotadas por diferentes industrias para la elaboración de nuevos productos muy competitivos y de calidad. El aguaymanto es uno de ellos (CYTED, 2014).

La fruta del aguaymanto o capulí posee propiedades diuréticas, sedativas y antirreumáticas, es extremadamente rica en pro vitamina A y vitamina C, no obstante, el 60 por ciento de la producción no es aprovechada o comercializada, por lo que no se le da la adecuada importancia para su aprovechamiento alimentario.

En el Perú, este fruto se comercializa de forma deshidratada utilizando el método de secado por convección con aire caliente; sin embargo presenta un problema de la pérdida de la calidad de este producto, principalmente la pérdida de compuestos termolábiles, la reducción del grado de color e incremento de la textura (Hernández, 2013).

El aguaymanto deshidratado se ha comercializado tradicionalmente como postre y se ha empleado en repostería. Sin embargo, todavía es necesario mejorar la calidad y su uniformidad en la producción industrial, lo que depende no sólo del proceso de secado sino también de la calidad de la materia prima empleada, de las operaciones de pre tratamiento previas a la propia deshidratación y de las condiciones de almacenamiento y distribución posterior del producto final.

En este sentido, el desarrollo de nuevos productos a base de fruta osmodeshidratada, de alta calidad, con una vida útil razonable y atractivos para el consumidor, resultaría interesante para ampliar y diversificar su disponibilidad en el mercado.

Teniendo en cuenta los hábitos actuales de consumo de alimentos mínimamente procesados, en este trabajo se plantea realizar el osmodeshidratado por métodos combinados (ultrasonido y pulsos de vacío) del aguaymanto, sabiendo que la aplicación de ciertos pretratamientos previos a la operación de deshidratado, podrían ayudar a no llevarse a cabo a temperaturas elevadas y permitir la incorporación de solutos específicos en el producto poroso, a preservar o incluso favorecer la estabilidad así como ciertos atributos de calidad como el color, aroma, flavour o textura (Torres, Talens, & Chiralt, 2005; Utkucan & Kemal, 2016).

En base a lo expuesto, en la presente tesis doctoral se planteó evaluar la influencia de la aplicación de ultrasonido y pulsos de vacío, para la obtención de aguaymanto osmodeshidratado de mejor calidad.

.El estudio se centró en el análisis de la influencia de las condiciones del proceso de osmodeshidratado, en la cinética del mismo y en algunos parámetros de calidad relacionados con la variación de color, pérdida de ácido ascórbico, pérdida de carotenos y aceptabilidad del producto final.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción del problema (A nivel global y local)**

En la descripción del problema a nivel global podemos indicar lo siguiente:

Los métodos tradicionales de conservación de alimentos, en frutas frescas a menudo generan pérdidas de los componentes fisiológicamente activos (CFA) en función al tipo de proceso que se sometan. Estos métodos tradicionales se han complementado con nuevas tecnologías como la deshidratación osmótica que permitió obtener productos de alta calidad. (Chwastek, 2014).

La deshidratación osmótica se usa cada vez más durante el procesamiento de frutas y verduras, este método permite mantener buenas propiedades organolépticas y funcionales en el producto acabado. Pero la obtención del grado deseado de deshidratación o saturación del material con una sustancia osmoactiva a menudo requiere un alargamiento del tiempo o el uso de altas temperaturas. Lo que trae como consecuencia la pérdida de componentes fisiológicamente activos (CFA). Por consiguiente en los últimos años debido a las pérdidas de los CFA que generan el osmodeshidratado se prestó mucha atención a las técnicas destinadas a aumentar la transferencia de masa entre el material deshidratado y la solución hipertónica, por lo que es necesario mejorar la permeabilización adicional de las membranas celulares. La membrana celular en frutas y verduras ejerce resistencia al flujo másico y minimiza la tasa de transferencia de masa. (Bellary, Sowbhagya, & Rastogui, 2011; Chwastek, 2014; Ahmed, Qazy, & Jamal, 2016).

El color del tejido vegetal es una característica muy importante de la calidad de los alimentos, y desempeña un papel importante en los consumidores e influye en su elección. Puede verse afectado por reacciones químicas, cambios físicos y disminución de componentes nutricionales (Ejemplo,  $\beta$ -caroteno) durante procesos tecnológicos. (Kutyla-Olesiuk, Nowacka, Wesoly, & Ciosek, 2013; Nuncio-Jáuregui, Calin-Sánchez, Carbonell-Barrachina, & Hernández, 2014). Debido a la creciente demanda de alimentos saludables que contengan compuestos bioactivos en el mundo, la industria alimentaria está mejorando el valor nutritivo de estos, modificando su composición nutricional o sometiéndolos a nuevas tecnologías.

“Recientemente, la deshidratación osmótica se ha combinado con varios otros métodos a saber, campo eléctrico pulsado, alta presión hidrostática, ultrasonido, fuerza centrífuga, vacío e irradiación gamma. Estas técnicas se han empleado durante o después del tratamiento osmótico para mejorar el rendimiento de la deshidratación osmótica al aumentar la permeabilidad de la membrana celular y la velocidad de transferencia de masa. Estas operaciones combinadas reducen el tiempo de secado, minimizando los costos de energía adicionales”. (Ahmed, et al., 2016, pág. 68).

“Es bien sabido que la aplicación de ultrasonidos puede mejorar la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de diferentes tejidos de frutas”. (Luchese, Gurak, & Ferreira Marczak, 2015).

De acuerdo al análisis se puede afirmar que la problemática mundial es mejorar la calidad de las frutas a través de una mayor biodisponibilidad de los componentes activos sometidos a procesos tecnológicos. En tal sentido el

ultrasonido y los pulsos de vacío representar una alternativa viable en mejorar la calidad de las frutas.

En la actualidad existe una profunda predisposición en Latinoamérica por la investigación y desarrollo de técnicas de conservación de alimentos que permitan obtener alimentos de alta calidad nutricional, que sean muy similares en color, aroma y sabor a los alimentos frescos y que no contengan agentes químicos conservantes.

Además existe la predisposición de las personas a los alimentos funcionales, los cuales han surgido tras la preocupación de los gobiernos en general por la salud de la población, la conciencia de los consumidores sobre la importancia de las frutas en la dieta y las evidencias científicas que apoyan los efectos positivos de los componentes fisiológicamente activos (CFA), que se encuentra en la estructura porosa de diferentes frutas y presentan propiedades fisiológicas beneficiosas y reducen el riesgo de contraer enfermedades crónicas.

Se han realizado investigaciones para mejoras variables de proceso como pérdida de masa (ML), pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (SG), coeficientes de difusión aparente del agua (Dw), en frutas como manzanas (Flores, Pascual, Jiménez, & Beristain, 2013), en mango (Sluka, 2015) y melón (Ortega & Velez, 2016), donde mejoraron las variables de proceso.

El empleo de pulsos de vacío en la osmodeshidratación mejoras variables de proceso como pérdida de masa (ML), pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (SG), coeficientes de difusión aparente del agua (DW) en banana (Ormaza & Ayala, 2014), en mango (Molina, Ayala, & Ormaza, 2014), en fresa (Rivero, 2011), con resultados alentadores.

En cuanto a calidad nutricional en frutos osmodeshidratados, se han realizados investigaciones en frutas como guayaba en la que se determinó que la temperatura de proceso (50°C), tuvo efectos sobre la composición de volátiles (Quijano, Pino, Chiralt, & Martinez, 2012), en mora, en aguaymanto se determinó que la osmodeshidratación disminuye el contenido nutricional, sin embargo las pérdidas son mayores cuando se hace escaldado previo (Borda & Caicedo, 2013).

De acuerdo al análisis realizado existe el problema de mejorar la calidad de las frutas osmodeshidratadas reduciendo las pérdidas de sus componentes nutricionales.

En la descripción del problema a nivel local podemos indicar lo siguiente:

La fruta del aguaymanto también conocido como capulí o goldenberry, es un fruto entre dulce y ácido, es una excelente fuente de vitamina A (1,1 mg/100 g de fruta fresca) y vitamina C (28 mg/100 g de fruta fresca), que contribuye a la salud de la piel. Es muy rica en fósforo (39 mg/100 g de fruta fresca) y en hierro (1,2 mg/100 g de fruta fresca), 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 y ayuda a prevenir la osteoporosis. Cuenta con propiedades antioxidantes y es utilizada como tranquilizante natural por su contenido de flavonoides. Actualmente el Perú exporta fundamentalmente aguaymanto deshidratado. También se producen mermeladas, jaleas, aguaymanto en almíbar y cubiertos de chocolate, principalmente en mercados locales en el Perú. (Sierra Exportadora, 2012).

El consumo global de frutas deshidratadas y osmodeshidratación en el Perú alcanzó más de 160 mil toneladas en el año 2017, debido a la tendencia mundial de consumir alimentos naturales y sanos que combatan la obesidad y por la mayor conciencia de cuidar la salud. (Sierra Exportadora, 2017).

Debido a la creciente demanda de alimentos saludables en el mundo, la industria alimentaria está mejorando el valor nutritivo de estos, utilizando nuevas tecnologías (osmodeshidratación), esta creciente tendencia hace que en nuestro país se busque frutas consideradas como alimentos saludables o funcionales tales como los berries (arándano, frambuesa y mora), así como el aguaymanto.

En el Perú, se ha desarrollado alguna investigación en el osmodeshidratado del aguaymanto, tal es así que se evaluó la cinética de humedad y ganancia de sólidos en función de las temperaturas de proceso, mejorando la ganancia de sólidos y el sabor. (Rossia, y otros, 2012).

Así mismo se evaluó la pérdida de  $\beta$ -carotenos en la osmodeshidratación de aguaymanto (*Physalis peruviana L*) con una solución de stevia, concluyendo que el osmodeshidratado tiene efecto en la reducción del contenido de  $\beta$ -carotenos. (Huamán & Ninahuanca, 2017).

De acuerdo al escenario actual en el Perú la problemática del aguaymanto osmodeshidratado es mejorar su calidad a través de la reducción de la pérdida de componentes fisiológicamente activos (CFA) como la vitamina C y el  $\beta$ -caroteno, manteniendo el color.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿En qué medida el ultrasonido, los pulsos de vacío y el tiempo inciden en la mejora de la calidad del aguaymanto (*Physalis Peruviana L*) osmodeshidratado?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿En qué medida el ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo inciden en el color del aguaymanto (*Physalis Peruviana L*) osmodeshidratado?

¿En qué medida el ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo inciden en el contenido de ácido ascórbico y carotenos totales en el aguaymanto (*Physalis Peruviana L*) osmodeshidratado?

¿En qué medida el ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo inciden en aceptabilidad del aguaymanto (*Physalis Peruviana L*) osmodeshidratado?

## **1.3. Justificación e importancia de la investigación**

La importancia de la investigación se basa en que el ultrasonido y los pulsos de vacío son nuevas tecnologías que se viene investigando en la tecnología de alimentos, y su aplicación a través de la combinación de ambos nos permitirá obtener un aguaymanto osmodeshidratado de mejor calidad nutricional, es decir mayor biodisponibilidad de compuestos bioactivos como ácido ascórbico y carotenos totales en comparación con los métodos tradicionales (osmodeshidratación).

Esta afirmación se basa en que los métodos modernos que incluyen el uso de ultrasonido, alta presión hidrostática, deshidratación osmótica al vacío y campo eléctrico pulsado, como pretratamiento antes de la deshidratación osmótica, permiten aumentar la permeabilidad de la capa de la piel de las frutas y hortalizas, estos métodos mejoran las condiciones de transferencia de masa y no provocan cambios adversos en el producto, como el cambio de color o la degradación irreversible de compuestos biológicamente activos. Además el uso de ultrasonido de baja intensidad es preferible desde el punto de vista de mantener la firmeza y el color de la piel del material osmodeshidratado. (Chwastek, 2014; Shamaei, Emam-Djomeh, & Moini, 2011).

Al respecto Rahman & Perera, (2007), afirman que “El proceso osmótico es afectado por las propiedades fisicoquímicas de los solutos empleados, debido a que la eficiencia de la deshidratación es posiblemente afectada por el peso molecular, estado iónico y solubilidad del soluto en el agua”.

“Para acortar el tiempo de deshidratación osmótica y evitar el uso de altas temperaturas en los últimos años, se observan nuevas tendencias de desarrollo, incluidas medidas que apuntan a la aceleración de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica”. (Chwastek, 2014).

La investigación realizada se justifica por que se aplicó el ultrasonido y los pulsos de vacío como nuevo conocimiento para mejorar la calidad del aguaymanto osmodeshidratado, al mejorar la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos (ácido ascórbico y carotenos totales) y su aceptabilidad al mantener el color, necesarios en nuestra dieta alimenticia. Cada vez más, los consumidores muestran una mayor conciencia por su salud a la hora de

seleccionar sus alimentos, aumentando el interés por consumir alimentos saludables, sin colesterol, bajos en grasa y sodio, con altos niveles de vitaminas, minerales y fibras. Esta tendencia se ha visto reforzada por las recomendaciones realizadas por diferentes organismos de gran impacto social, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) o el Instituto Nacional del Cáncer de Estados Unidos.

Este nuevo conocimiento permitirá su aplicación en la industria alimentaria, para generar procesos más eficientes y con menor consumo energético.

En este sentido, el desarrollo de nuevos productos a base de fruta deshidratada, de alta calidad, con una vida útil razonable y atractivos para el consumidor, resultaría interesante para ampliar y diversificar su disponibilidad en el mercado. En ese sentido la industria alimentaria enfrenta cada vez mayores exigencias, en cuanto a ahorro de energía, conservación de recursos, mejoramiento de la productividad y desempeño ambiental.

#### **1.4. Limitaciones de la investigación**

Dentro de las limitaciones encontradas en la investigación tenemos:

- a) No existen investigaciones en el país sobre el osmodeshidratado empleando ultrasonido y pulsos de vacío en frutas, especialmente en el aguaymanto que posee propiedades funcionales.
- b) Escasa existencia de equipos de ultrasonido con diferente rangos de potencia e intensidad en instituciones de investigación en el Perú, lo que dificultó la realización de investigación.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar el efecto del ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo en la mejora de la calidad del aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*) osmodeshidratado.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar la incidencia del ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo en el color del aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*) osmodeshidratado.
- b. Evaluar la incidencia el ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo en el contenido de ácido ascórbico y carotenos totales en el aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*) osmodeshidratado
- c. Determinar la incidencia el ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo en la aceptabilidad del aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*) osmodeshidratado.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

En cuanto al efecto de la osmodeshidratación a las características nutraceuticas en el aguaymanto se encontró los siguientes antecedentes:

Borda & Caicedo, (2013), en su investigación: “Cambios en el contenido nutricional de la uchuva (*Physalis peruviana*) frente a la osmodeshidratación como método de conservación”, tuvo por objetivo evaluar el cambio en el contenido nutricional de la uchuva (*Physalis peruviana*) después de proceso de osmodeshidratación (80°Brix durante 48 horas), previo escaldado y sin este. Las uchucas maduras escaldadas y sin escaldar se secaron a 50 °C durante tres horas. En los resultados obtenidos el aspecto visual de la uchuva fue igual en los dos tratamientos. El contenido nutricional de las frutas frescas frente a las sometidas a osmodeshidratación con y sin escaldado fueron respectivamente: ceniza (g) 8,2±0,3; 1,3±0,2 y 3,4±0,4; grasas (g) 1,0±0,0; 1,0±0,1 y 0,2±0,0; proteínas (g) 9,8±0,2; 3,8±0,3 y 9,3±0,3 y vitamina C (mg) 92±0,3; 20±0,8 y 34±1,0. Los valores de p según Anova fueron 0,0001 para fibra, ceniza, proteína y vitamina C, y 0,0008 para grasa. Con excepción de las grasas, los valores más bajos fueron cuando se usó la osmodeshidratación con escaldado.

Leites, et al., (2015), en su investigación: “Osmotic dehydration of physalis (*Physalis peruviana* L.): Evaluation of water loss and sucrose incorporation and the quantification of carotenoids”, manifiestan que el rápido crecimiento de la demanda de producción de *physalis* está asociado con sus características

nutracéuticas y medicinales. Sin embargo, un aspecto que dificulta su comercialización es la alta perecibilidad. En la investigación se evaluó los efectos de la temperatura (40 y 70°C) y la concentración de la solución osmótica de sacarosa (40 y 70 g/100 g de solución).en la deshidratación osmótica de la *Physalis peruviana L.*

El análisis de humedad y contenido de azúcar total se realizó a lo largo del proceso de deshidratación osmótica y se analizó el contenido total de carotenoides para la fruta fresca y después de 10 horas de procesamiento. La difusividad de la masa de agua oscilo entre  $1,4-2,9 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  y la difusividad de masa efectiva de sacarosa oscila entre  $0,7 - 1,1 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Entre todas las condiciones estudiadas en el diseño experimental, la deshidratación osmótica fue más eficiente cuando se realizó a la temperatura de 70 °C y una concentración de solución osmótica de 70 g /100 g de solución. En estas condiciones, hubo la mayor pérdida de agua y una reducción estadísticamente significativa en la actividad del agua de esta fruta. Sin embargo, se observó la mayor pérdida de carotenoides totales (aproximadamente el 50%).

En cuanto al efecto de la osmodeshidratación con ultrasonido a las características nutracéuticas en el aguaymanto se encontró el siguiente antecedente:

El gran interés de los consumidores en adquirir alimentos mínimamente procesados que conservan los diferentes micronutrientes ha aumentado la necesidad de estudiar el efecto de los métodos de procesamiento de alimentos en los atributos de calidad. El objetivo del estudio fue determinar el efecto del

tratamiento con ultrasonido sobre el color y los compuestos bioactivos (ácido ascórbico, fenoles totales, carotenoides y provitamina A) del jugo de aguaymanto. Se midieron los valores de color, ácido ascórbico, fenoles totales, carotenoides y equivalente de actividad de retinol (RAE). Los resultados indican reducciones significativas ( $p < 0,001$ ) en la cromaticidad, el índice de amarilleo (IY) y se observó un contenido de ácido ascórbico en todas las muestras de zumo sometidas a sonicación. Pero hubo aumentos significativos ( $p < 0,001$ ) en el tono, las diferencias de color totales (TCD), los fenoles totales, los carotenoides y el valor de RAE en comparación con el control. Los resultados demostraron que el procesamiento por ultrasonido aumenta la disponibilidad de carotenoides, fenoles totales y RAE en el jugo de aguaymanto. (Ordoñez-Santos, et al., 2017).

## **2.2. Antecedentes nacionales**

Relacionado a características organolépticas por efecto del osmodeshidratado en aguaymanto, se identificó la siguiente investigación:

El efecto sinérgico de tres solutos (sacarosa, sacarina y sugar light) en distintas combinaciones de soluciones a una concentración de 30 °Brix, sobre la humedad, ganancia de sólidos solubles y aceptabilidad general en términos de sabor y apariencia, utilizando un diseño de mezclas Simplex con Centroides Ampliado. Se utilizaron aguaymanto de 1,5 cm de diámetro. Se evaluó la cinética de humedad y ganancia de sólidos en función de las temperaturas de proceso durante 3 horas. Se determinó la difusividad efectiva promedio del agua y sólidos solubles. Se encontró que las muestras pertenecientes al tratamiento 6 (0,5% sacarina y 0,5% sugar light) hay mayor ganancia de sólidos solubles y la mejor temperatura a la que se dio fue a 53°C. En lo que

se refiere a las características organolépticas como el sabor, se encontró que fue mayor en las soluciones con mayor proporción de sacarosa, y menor en la sacarina. También se percibió que en cuanto a apariencia, esta se dio de manera más considerable en los tratamientos que contienen un mayor contenido de sacarosa, así mismo en la interacción de sacarina con sugar light. Para la humedad, se aprecia en las temperaturas de 35°C y 53°C no tienen efecto estadístico significativo ( $p > 0,05$ ) en los modelos lineal y cuadrático con valores de  $R^2$  ajustados resultaron muy bajos que inviabilizan un análisis de superficie de respuesta en esos casos. (Rossi, y otros, 2012, pág. 100)

Huamán & Ninahuanca, (2017), en su trabajo de tesis evaluaron la pérdida de  $\beta$ -carotenos en el proceso de osmodeshidratación de aguaymanto (*Physalis peruviana L*) empleando una solución de stevia. Estudiaron las variables: concentración de la solución de stevia a distintas concentraciones (20% p/p y 30% p/p), relación fruto/solución (1/2 y 1/3) y tiempo de osmodeshidratación (18 horas y 20 horas). Para cumplir con el objetivo se caracterizó inicialmente el aguaymanto (*Physalis peruviana L*) procedente de Huánuco, se hizo un análisis proximal donde se encontró que contenía 82,28% de humedad y 2,350 mg/100 g de  $\beta$ -carotenos iniciales. Finalizado el tiempo de osmodeshidratación se analizó la cantidad de  $\beta$ -carotenos de cada experimento, el valor más alto de  $\beta$ -carotenos que se obtuvo fue 1,2885 mg/100g, y el valor más bajo fue 0,7548 mg/100g. Los resultados del análisis de las gráficas del programa estadístico dieron como resultado los niveles óptimos de cada variable (solución de Stevia fue de 30% p/p, tiempo de osmodeshidratación 18 horas y relación de peso fruto/solución fue de 1/3) para una mayor preservación de  $\beta$ -carotenos.

## **2.3. Marco conceptual**

### **2.3.1. Origen y taxonomía del aguaymanto**

El aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) es una especie frutícola originaria de la región andina que está experimentando una considerable expansión. Los valles interandinos forman las zonas más adaptadas para este cultivo, por ser su medio agroecológico natural, su cultivo se desarrolla en la sierra del Perú (Cusco, Huánuco, Huancavelica, Junín y Cajamarca); sin embargo también se presenta en la costa y selva. Para el desarrollo del cultivo es necesario conservar los recursos genéticos y estudiar la diversidad morfológica, química y genética del cultivo. (Sierra Exportadora, 2012; CYTED, 2014).

La planta de aguaymanto fue descrita por primera vez por Linnaeus en 1753, se trata de una planta herbácea erecta, perenne en zonas tropicales y anual en zonas templadas. Puede alcanzar una altura de entre 0,6 a 0,9 m sin embargo, se han registrado casos en los que llega a alcanzar 1,8 m. Las ramas son acanaladas y a veces de color violáceo, hojas opuestas, alternadas de forma acorazonada midiendo de 6-15 cm de longitud y 4-10 cm de ancho, presenta flores amarillas en forma de campanas, con corolas de color morado marrón, los frutos son bayas de color naranja amarillo de forma globosa y de 1,5-2,0 cm de diámetro con un sabor peculiar agrídulce de buen gusto, protegidos por un cáliz no comestible de textura papirácea. (MINAGRI, 2014).

### **2.3.2. Generalidades del aguaymanto**

La importancia de esta planta *Physalis peruviana* se basa en la jugosa fruta naranja comestible que produce, tiene numerosos nombres comunes según el

país o regiones, como grosella espinosa de cabo (Sudáfrica), bayas de inca, bayas aztecas, bayas de oro, cerezas de tierra, cerezas de tierra africana, cerezas de tierra peruanas, cerezas peruanas, pokpok (Madagascar), (Hawái), rasbhari (India), aguaymanto (Perú), uvilla (Ecuador), uchuva (Colombia), harankash (Egipto), amur en jaula (Francia, francés para el amor en una jaula ), y a veces simplemente *physalis* (Reino Unido). (Puente, Pinto, Castro, & Cortés, 2011; Afsah, 2015; Olivares, Dekker, Verkerk, & van Boekel, 2016).

Olivares, et al., (2016), manifiestan que el aguaymanto es el fruto de la planta *Physalis peruviana* L. que pertenece a la familia de plantas *Solanaceae* y al género *Physalis*. Esta fruta tiene un diámetro de aproximadamente 1,25 a 2,50 cm, 4 a 10 g de peso, piel de color amarillo anaranjado y una pulpa jugosa que contiene numerosas semillas pequeñas. La baya está contenida en un cáliz parecido a una vejiga, este cáliz envuelve por completo al fruto a lo largo de su desarrollo y madurez, protegiendo contra los insectos, aves, enfermedades y situaciones climáticas adversas, tal como se aprecia en la figura 1.



**Figura 1.** Planta con baya de aguaymanto

Fuente: Elaboración propia

El aguaymanto contiene propiedades organolépticas (sabor, olor y color) y compuestos que promueven la salud, especialmente ácido ascórbico y  $\beta$ -caroteno. Esta fruta se comercializa actualmente como fruta fresca y seca, y se usa a menudo como materia prima para producir jugos, mermeladas, etc. Aunque algunos estudios han intentado evaluar las pérdidas de algunos compuestos que promueven la salud y la actividad antioxidante después del tratamiento térmico del aguaymanto, no se ha reportado un estudio sistemático para evaluar la cinética de esas estabilidades en esta fruta. (Rabie, Soliman, Diaconeasa, & Constantin, 2015; Olivares, et al., 2016).

### **2.3.3. Valor nutricional y propiedades funcionales**

El fruto del aguaymanto es un alimento energético natural perfecto para niños, deportistas y estudiantes, debido a las características fisicoquímicas y nutricionales que posee y a la relación de sus componentes fisiológicamente activos con efectos benéficos sobre la salud humana. (Ramadan, 2012).

Es altamente nutritivo, son ricas en proteínas, ácidos grasos esenciales, vitaminas (ácido ascórbico,  $\beta$ -caroteno, vitamina K, niacinas, vitamina E, tiamina y vitamina B<sub>12</sub>), carbohidratos (glucosa, fructosa, sacarosa), fibra, pectina, tiene altos niveles de minerales, incluidos macronutrientes (magnesio, calcio, potasio, sodio y fósforo) y micronutrientes (hierro y zinc), y compuestos bioactivos ( $\beta$ -caroteno, flavonoides, esteroides) y muestra actividad antioxidante. (Ramadan, 2012; Bravo, Sepulveda, Lara, Navas, & Osorio, 2015; Olivares, et al., 2016).

Su composición nutricional del fruto de aguaymanto, comparadas con tres fuentes se observa en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Composición nutricional de Physalis peruviana L. por 100 g de producto.*

<b>Parámetros</b>	<b>Unid.</b>	<b>Erkaya</b>	<b>Camacho</b>	<b>Fisher Gerard</b>
Calorías	kcal	50,00 - 62,00	54,00	49,0
Humedad	g	79,80 - 85,50	79,60	85,90
Proteínas	g	0,30 - 1,50	1,10	1,50
Grasa	g	0,15 - 0,50	0,40	0,50
Carbohidratos	g	11,00 - 19,60	13,10	11,00
Fibra	g	0,40 - 4,90	4,80	0,40
Cenizas	g	0,70 - 1,00	1,00	0,70
Vitamina A	UI	942,54 -	648,00	1731,93
Tiamina	mg	0,10 - 0,18	0,18	0,10
Riboflavina	mg	0,03 - 0,18	0,03	0,17
Niacina	mg	0,80 - 1,70	1,30	0,80
Vitamina C	mg	20,00 - 43,00	26,00	20,00
Potasio	mg	210,00 - 467,00	-	-
Magnesio	mg	7,00 - 19,00	-	-
Calcio	mg	2,00 - 28,00	7,00	9,00
Fosforo	mg	27,00 - 55,30	38,00	21,00
Hierro	mg	0,30 - 1,20	1,20	1,70
Zinc	mg	0,28 - 0,40	-	-

Fuente: Erkaya et al. (2012) citado por Aparcana y Villarreal (2014).

Camacho, G. (1997) citado por Cerdán y López (2014).

Fisher, Gerhard (2000) citado por Isla (2016).

El fruto es fundamental para el funcionamiento del corazón, músculos y el sistema nervioso. La niacina interviene en el funcionamiento de sistema digestivo, la piel y los nervios. Debido a estas propiedades nutritivas beneficiosas, el aguaymanto es una fruta prometedora para su industrialización. (Briones, Giovagnoli, Figueroa, Quispe, & Pérez, 2013).

Wu, Huang, Lin, & Wang, (2005), mediante el estudio de la actividad antioxidante de *Physalis peruviana*, pudieron determinar que dicha actividad

puede ser aportada por el contenido de flavonoides y de otros compuestos de interés aún por descubrir.

Restrepo, (2008), determinó que la pulpa del fruto de uchuva ostenta una capacidad antioxidante de  $210 \pm 9,45$   $\mu\text{mol}$  Trolox/100g peso fresco determinado por el método DPPH y de  $56,53 \pm 1,38$  mg de ácido ascórbico/100 g peso fresco según el método FRAP, mientras que el contenido total de fenoles fue de  $40,45 \pm 0,93$  mg ácido gálico/100 g de peso fresco.

Fawzy, (2011), encontró que 100 g de porción comestible de aguaymanto aportan alrededor de 20 mg de ácido ascórbico y 0,2 mg de provitamina A, lo que corresponde al 65 y el 26% de los valores diarios de referencia (VDR) respectivamente, para una porción de 200 g; también es fuente de minerales como calcio (2% VDR/200 g), hierro y fósforo.

Investigaciones previas habían informado sobre la estabilidad del ácido ascórbico y los flavonoides durante el tratamiento térmico de otros productos alimenticios, así como los cambios en los contenidos de carotenoides, que concluyen las diferencias en la estabilidad en función de las características de la matriz alimentaria. Por lo tanto, aún existe una brecha de conocimiento sobre la estabilidad térmica de los fitoquímicos y la actividad antioxidante en el aguaymanto. (Hiwilepo-van Hal, Bosschaart, van Twisk, Verkerk, & Dekker, 2012).

El aguaymanto presenta una actividad antioxidante por su contenido de polifenoles y vitaminas, actividad antiinflamatoria y antimicrobiana por su contenido exclusivo de fisalinas y withanolidos. Los withanólidos son un grupo de lactonas esteroideas C28 naturales que contienen un esqueleto de ergostano

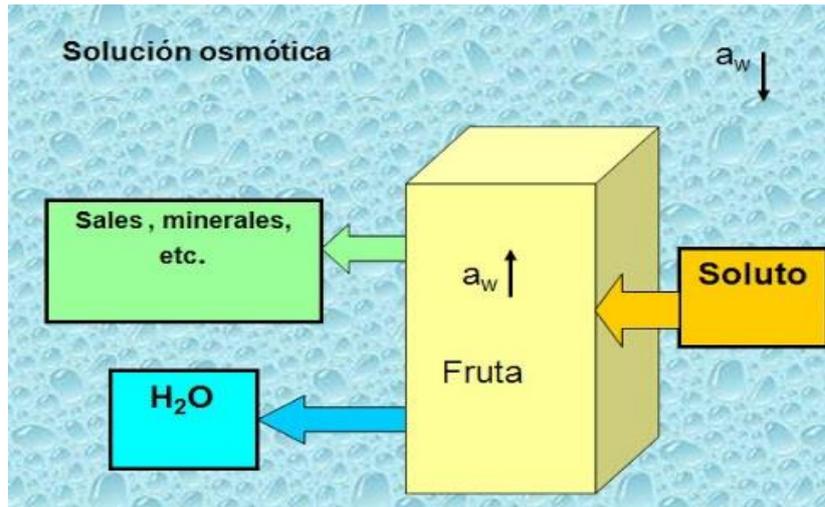
intacto o modificado y sus derivados son los principales componentes funcionales de la *Physalis peruviana*. Entre los aislados, el compuesto 4 exhibió un potente efecto inhibitor en ambos ensayos y podría ser útil para el desarrollo de un nuevo agente antiinflamatorio y sería útil investigar detalles mecánicos adicionales. (Ramadan, 2012; Sang-ngern, y otros, 2016).

En las últimas investigaciones, en los cálices del aguaymanto, se han encontrado moléculas de azúcar conocidos como glicósidos, considerados los responsables de la actividad antiinflamatoria y los extractos del fruto tiene actividad anticancerígena en hepatocélulas humanas. (Madriñan, 2010; Ching, y otros, 2010).

#### **2.3.4. Osmodeshidratación**

La deshidratación osmótica (DO) es un tratamiento no térmico empleado para reducir el contenido de agua de los alimentos, con alto valor nutricional y características sensoriales naturales, con el objeto de extender su vida útil y mantener características sensoriales, funcionales y nutricionales, eliminando el uso de conservantes. Este proceso consiste en sumergir el alimento sólido entero, o en piezas, en soluciones acuosas de azúcar o sal de alta presión osmótica. (Contreras, 2006; Torres J. , 2007; Rzaça, Witrowa-Rajchert, Tylewicz, & Dalla Rosa, 2009).

El proceso de deshidratación osmótica donde se produce la pérdida de agua y algunos nutrientes como sales y minerales y la ganancia de solidos se puede observar en la figura 2.



**Figura 2.** El proceso de deshidratación osmótica.

Fuente: (Parzanese, 2012)

### 2.3.5. Mecanismos de transferencia de masa en la osmodeshidratación

La osmodeshidratación (OD) es una técnica de conservación de alimentos, en el cual bajo condiciones de temperatura específicas los tejidos biológicos son sumergidos en soluciones concentradas con una alta presión osmótica que crea un gradiente de potencial químico entre el agua contenida en el alimento y el agua en la solución, generando el deshidratado a través de las membranas celulares semipermeables, el cual va a depender de la humedad del tejido biológico. (Shi & Xue, 2009; Tortoe, 2010; Ciurzynska, Lenart, & Greda, 2014).

La osmodeshidratación es un proceso de transferencia de masa o movimiento molecular a contracorriente de ciertos componentes de una solución, en el cual se produce una transferencia multicomponente, en el que la solución fluye simultáneamente con una combinación de procesos de secado, lixiviación e impregnación en la matriz de tejidos biológicos, y la humedad se retira del

producto a temperatura ambiente por difusión, por lo que se ha evitado el cambio de fase. (Tortoe, 2010; Phisut, 2012).

Esta diferencia de potencial promueve el flujo de agua desde el interior del producto, para tratar de igualar los potenciales químicos del agua en ambos lados de las membranas celulares del vegetal. Estas membranas son semipermeables y permiten principalmente el paso del agua, y en menor grado el paso del soluto produciendo como efecto neto la pérdida de agua por parte del producto. (Shi & Xue, 2009; Tortoe, 2010; Ciurzynska, et al., 2014).

La diferencia de potencial químico a través de las membranas semipermeables entre el producto y la solución osmótica, es la fuerza impulsora para la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica. El potencial químico  $\mu_i$  del componente  $i$  está relacionado con la actividad de agua según la expresión:

$$\mu_i = \mu_i^0 + R.T. \log a_w$$

Donde:

$\mu_i^0$  : Es el potencial químico de referencia,

$R$  : Es la constante de los gases,

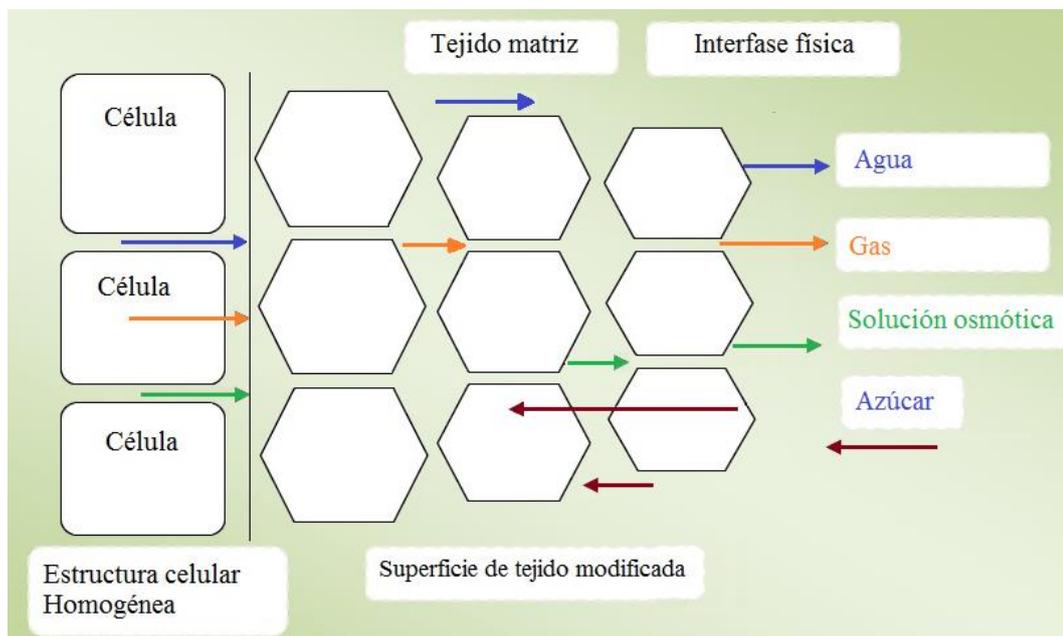
$T$ ...: Es la temperatura absoluta y

$a_w$  : Es la actividad de agua del componente  $i$  multiplicado por la fracción molar del mismo componente.

Generalmente, la difusión del líquido tiene lugar en sólidos no porosos, mientras que el movimiento capilar tiene lugar en sólidos porosos. En materiales alimenticios porosos; las cavidades llenas de gas, los capilares y las

paredes celulares, así como los espacios intracelulares y extracelulares proporcionan las vías para la transferencia de masa. La transferencia de masa tiene lugar hasta que los valores de actividad de agua de la solución osmótica y del alimento se igualan. (Shi & Xue, 2009).

El fenómeno de transferencia de masa en un material alimenticio se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Representación esquemática del material celular y patrón de transferencia de masa.

Fuente: (Shi & Xue, 2009)

El proceso de osmosis es influenciado por las propiedades fisicoquímicas de los solutos empleados, debido a que la eficiencia de la deshidratación osmótica es posiblemente afectada por el peso molecular, estado iónico y solubilidad del soluto en el agua. (Rahman & Perera, 2007). Sin embargo, debido a la semipermeabilidad de la membrana celular, los solutos, es decir, ácidos orgánicos, minerales, fragancias y colorantes se mueven a la solución

hipertónica desde los materiales alimenticios. Esta transferencia es insignificante cuantitativamente pero es esencial en términos de composición del producto. (Tortoe, 2010; Phisut, 2012).

La pérdida de humedad del producto se produce a un ritmo rápido en las primeras horas y luego la velocidad disminuye lentamente en las horas siguientes (6 horas) y finalmente se mantiene constante. Hay una concentración crítica de solución osmótica, por debajo del cual la muestra absorbe agua y por encima ocurre la deshidratación osmótica. Además de la eliminación de agua del tejido vegetal, existe una contradifusión contemporánea de solutos de la solución concentrada en el tejido celular. (Bellary, et al., 2011).

Dentro de los solutos o agentes osmóticos frecuentemente utilizados tenemos: el cloruro de sodio, sacarosa, glucosa, fructosa, concentrados de almidón y jarabe de maíz de acuerdo con el producto final. La deshidratación osmótica suele ir seguida de otros métodos de secado, como el secado al aire, la fritura de grasa profunda, la liofilización, etc., para producir un producto final de mejor calidad. (Tortoe, 2010; Phisut, 2012; Khan, 2012).

La selección del soluto podría ser considerada de acuerdo a los siguientes factores:

- i. El impacto del soluto sobre las características sensoriales del producto,
- ii. El costo relativo del soluto en relación al valor final del producto, y
- iii. El peso molecular del soluto.

Durante el proceso, las actividades químicas, físicas y biológicas, que deterioran los alimentos, se reducen considerablemente; por lo tanto se puede extender la vida útil de los productos alimenticios. (Shi & Xue, 2009; Tortoe, 2010; Ciurzynska, et al., 2014).

### **2.3.6. Factores que influyen en la osmodeshidratación**

La cinética de la deshidratación osmótica, ha sido estudiada en términos de velocidades de pérdida de agua, ganancia de sólidos y de pérdida de peso de la fruta, hortaliza o alimento. Usualmente la deshidratación osmótica no es aconsejable para obtener unas reducciones del contenido en agua superiores al 50% a causa de la pequeña velocidad de los fenómenos de transferencia de masa a estos niveles de concentración. La variación de las condiciones que se dan en el proceso puede causar una modificación en la eficacia del mismo.

La cantidad y la tasa de remoción de agua dependen de muchas variables y parámetros del proceso, entre los factores más importantes que se tienen en cuenta al analizar la cinética de la deshidratación osmótica tenemos:

#### **a) Propiedades de los tejidos biológicos**

Las características del alimento al natural ejercen gran influencia en el proceso, en relación a la pérdida de agua y a la ganancia de soluto. La gran variación observada entre diferentes frutas, se asocia a características como compactación del tejido, contenido inicial de sólidos solubles e insolubles, espacios intercelulares, presencia de gas, razón entre las diferentes fracciones pécticas (pectina hidrosoluble y protopectina), actividad enzimática y porosidad. (Torreggiani, 1993)

En general, cuando la integridad del tejido es afectada (con consecuente disminución de la selectividad y aumento de la permeabilidad de la membrana celular) por pre tratamientos térmicos (como blanqueamiento), químicos o enzimáticos, o por su estado de maduración muy avanzado, la entrada de los solutos en la células es beneficiada a expensas de la pérdida de agua. (Bohuon & Raoult-Wack, 2002).

#### **b) Geometría y tamaño del producto**

Dependiendo del tipo de geometría y tamaño que muestra el producto variará la superficie por unidad de volumen expuesta a la acción de la solución osmótica. La amplia diferenciación de la física natural de la fruta afecta al comportamiento osmótico y al estado final de los productos osmodeshidratados. El movimiento del agua y de los solutos a través de los alimentos de origen vegetal está relacionado con la textura, el tipo de piel, la cantidad de espacios intercelulares y la presencia de gases en ellos, el contenido inicial de sólidos solubles e insolubles, la presencia de sustancias pécticas y la actividad enzimática de la fruta. Se ha observado diferencias en la estructura de la materia prima, especialmente la porosidad, que afectan a los mecanismos de transporte implicados en la deshidratación osmótica, de tal forma que cuanto mayor es la porosidad de la fruta, mayor es la ganancia de sólidos. (Lazarides, 2001).

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. Diferentes estudios demostraron que si se tienen productos de menor tamaño (la superficie por unidad de volumen

aumenta) se eleva la pérdida de agua, por el contrario si se tienen trozos de fruta, u otro alimento, de tamaño superiores (la superficie por unidad de volumen disminuye), la pérdida de agua es menor. Las geometrías que ofrecen una mayor relación superficie/volumen son las más comúnmente utilizadas (cubos, cilindros y esferas). En el caso de cubos o esferas al aumentar el lado o el radio, respectivamente, la superficie por unidad de volumen disminuye y entonces, la pérdida de agua resulta inferior para tamaños superiores. A mayor superficie disponible para la osmodeshidratación, más eficaz será el proceso. (Lazarides, 2001; Della, 2010).

### **c) Naturaleza y concentración del agente osmótico**

La naturaleza del agente osmótico es fundamental para precisar el comportamiento del producto durante el proceso osmótico de deshidratación. Se han utilizado en diferentes trabajos, gran variedad de agentes osmóticos, principalmente azúcares, como sacarosa, maltosa, glucosa, fructosa, lactosa, maltodextrinas, y trealosa entre otros o mezclas de ellos. En función de su naturaleza y propiedades físicas (viscosidad, poder depresor de la aw, etc.), se observará un comportamiento u otro, ya que la interacción de los solutos con el agua y la matriz sólida del alimento será distinta.

De los agentes osmóticos anteriormente mencionados, el más utilizado para la deshidratación de frutas es la sacarosa, debido a su efectividad, fácil accesibilidad, aceptable sabor, previene la pérdida de aromas volátiles y por reducir el pardeamiento enzimático, debido a que es un inhibidor eficaz de la polifenoloxidasas. (Barat, Fito, & Chiralt, 2001; Cháfer, Gonzáles-Martínez, Ortolá, Chiralt, & Fito, 2001; Giraldo, Talens, Fito, & Chiralt, 2003).

La concentración de agente osmótico también afecta la cinética de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica. Además un aumento en la concentración de solución osmótica conduce a una mayor tasa de pérdida de agua hasta que se alcanza el nivel de equilibrio. Una solución de sacarosa menos concentrada conduce a una pérdida mínima de agua y proporciones de ganancia sólida. Sin embargo, la influencia de la alta concentración de sacarosa podría reducir el flujo másico dentro de las frutas y verduras. (Phisut, 2012; Tortoe, 2010).

Cuando se tienen grandes fuerzas impulsoras, los tiempos de proceso son más cortos (se acelera la pérdida de agua y la ganancia de solutos) y las células superficiales de la muestra se deshidratan en gran proporción con respecto a las demás capas internas de células del tejido permanecen prácticamente sin alteración. Por lo tanto la diferencia en el potencial osmótico entre la solución y la muestra de fruta dio como resultado una mayor velocidad de difusión de solutos y agua. (Phisut, 2012).

Falade & Igbeka, (2007), estudiaron el fenómeno de transferencia de masa osmótica de las rodajas de sandía utilizando tres concentraciones diferentes de solución de sacarosa (40, 50 y 60°Brix). La pérdida de agua y la ganancia sólida de las rodajas de sandía tratadas con la solución osmótica más concentradas se alcanzaron valores más altos.

Asimismo, Ispir & Togrul, (2009), evaluaron la tasa de transferencia de masa del albaricoque durante la deshidratación osmótica. Los frutos de albaricoque se sumergieron en tres concentraciones diferentes de sacarosa (40%, 50% y 60%). La mayor concentración de sacarosa conduce a mayores gradientes de

presión osmótica, lo que conduce a una mayor ganancia de sólidos y pérdida de agua durante todo el período de tratamiento osmótico.

En la tabla 2, se muestra los principales solutos osmóticos utilizados en frutas, verduras y carnes.

**Tabla 2**

*Usos y ventajas de algunos solutos osmóticos*

<b>Nombre</b>	<b>Usos</b>	<b>Ventajas</b>
Cloruro sódico	Carnes y verduras. soluciones superior 10%	Alta capacidad de depresión de aw.
Sacarosa	Frutas	Reduce pardeamiento y aumenta retención de volátiles.
Lactosa	Frutas	Sustitución parcial de sacarosa.
Glicerol	Frutas y verduras	Mejora la textura.
Combinación	Frutas, verduras y carnes	Características sensoriales ajustadas, combina la alta capacidad de presión de aw de las sales con alta capacidad de eliminación de agua del azúcar.

Fuente: (Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado, 2000).

#### **d) Temperatura de tratamiento**

La temperatura es el factor más importante que afecta la tasa de transferencia de masa osmótica. El aumento en la temperatura del proceso acelera la pérdida de agua, mientras que la absorción sólida se ve menos afectada. (Tortoe, 2010; Khan, 2012).

La mayor y más rápida pérdida de agua con el aumento de la temperatura de la solución podría atribuirse a la hinchazón y al efecto plastificante de las membranas celulares, así como también a la menor viscosidad del medio osmótico, lo cual mejora la permeabilidad de la membrana. El impacto de la

temperatura en la cinética de pérdida de humedad sin impartir ningún efecto sobre la ganancia sólida es más evidente entre 30-60 °C para verduras y frutas, porque no afectan la integridad de los tejidos, preservan la calidad nutricional del producto y son las de mayor interés a nivel económico. Una temperatura superior a 60°C puede dañar los tejidos de la planta. (Lazarides, 2001; Shi & Xue, 2009; Khan, 2012).

#### **e) Presión de trabajo**

Durante el proceso de deshidratación osmótica, la presión de trabajo puede desempeñar un papel muy importante influyendo directamente en la cinética de transporte de materia del mismo. El uso de presiones reducidas estacionarias posibilita el aumento de la tasa de remoción de agua, en relación a la presión atmosférica, haciendo el proceso más rápido, con poca o ninguna modificación en la transferencia de soluto. A medida que aumenta la diferencia en presiones entre el interior y el exterior de la célula, también aumenta el potencial osmótico, y por ende la fuerza de flujo de salida de agua del producto. Es importante señalar que la relevancia de esta variable va ligada a la porosidad del producto a deshidratar. (Bohuon & Raoult-Wack, 2002).

Cuando se trabaja en condiciones de vacío, se observan cinéticas de transferencia de masa más rápidas, debidas a la actuación del mecanismo hidrodinámico, que aumenta la superficie de contacto de la fruta con la fase líquida externa, y el desaireado del tejido vegetal admite la penetración más rápida de la solución osmótica hacia los espacios intercelulares, acelerando entre un 20% y 30% el proceso de extracción de agua operando bajo vacío, dependiendo de la porosidad de la materia prima, lo que hace el proceso más

eficiente y práctico, permitiendo el empleo de temperaturas de operación más bajas y la obtención de productos de mejor calidad. (Dalla & Giroux, 2001; Panadés & Fito, 2006).

El problema que presenta el empleo de presión de trabajo es el incremento del costo del equipo. Sin embargo, si se tiene en cuenta que el mecanismo hidrodinámico (HDM) es muy rápido y sucede cuando se rompe el vacío del sistema, se puede aplicar la técnica de deshidratación osmótica con pulsos de vacío (PVOD) que permite rentabilizar el uso del tanque de vacío, al utilizarlo solo el primer período corto del proceso. (Torres, et al., 2005).

#### **f) Agitación durante el proceso**

La agitación al sistema durante el proceso origina un significativo aumento en la velocidad de osmodeshidratación. La solución osmótica concentrada se va diluyendo paulatinamente a medida que transcurre el tiempo de contacto entre el producto con la solución osmótica. Pero si el sistema es agitado, el agua que ha salido del producto es retirada del contacto y será reemplazada por jarabe concentrado que permitirá reestablecer una alta diferencia de concentración entre el producto y la solución osmótica, aumentando la velocidad de deshidratación. (Lazarides, 2004).

El uso de soluciones de azúcar altamente concentradas crea dificultades en el proceso, como una mayor pérdida de agua, que altera la gradiente de concentración de soluto dentro de la partícula de alimento, trayendo como consecuencia flotación de las porciones de alimentos, dificultad al contacto entre la solución osmótica y los porciones alimenticios, minimizando así las tasas de transferencia de masa. Como la difusión del soluto en la célula es

lenta, la mayor parte se acumula como una capa delgada en la superficie inferior. (Moreira, Chenlo, Torres, & Vásquez, 2007; Tortoe, 2010; Phisut, 2012).

El proceso de agitación promueve la turbulencia, que conduce a una mayor velocidad de difusión durante el proceso. Se observó una mayor pérdida de agua en la región del flujo turbulento que en el flujo laminar. (Shi & Xue, 2009; Moreira, et al., 2007). Por lo tanto, la agitación es un buen proceso complementario para maximizar la tasa de transferencia de masa al disminuir el tiempo de contacto entre el alimento y la solución osmótica. (Tortoe, 2010; Phisut, 2012).

#### **g) Proporción de muestra a solución**

El peso de la muestra y la relación de la solución osmótica son de gran valor durante el tratamiento osmótico de frutas y hortalizas, debido a que afectan la cinética de transferencia de masa hasta cierto grado. Algunos investigadores trabajaron con diferentes proporciones de muestra: solución (1:1 a 1:5) para ver la influencia en la cinética de transferencia de masa. También se utilizó relaciones más altas de 1:10 a 1:60 para evitar la dilución del medio, lo que puede ocurrir debido a la ganancia de agua y la pérdida de solutos; finalmente se llegó a la conclusión de que causa la reducción en la fuerza de secado osmótica. Sin embargo, para fines prácticos, la proporción de muestra a solución de 1:2 o 1:3 es óptima. (Moreira, et al., 2007; Tiwari, 2005).

### **2.3.7. Ventajas y desventajas de la osmodeshidratación**

Las ventajas e inconvenientes de la deshidratación osmótica sobre los métodos tradicionales son las siguientes:

#### **a) Ventajas**

- Existe la posibilidad de formular un alimento valiéndose del proceso de impregnación, lo que permite obtener productos con características nutricionales y organolépticas superiores.
- La textura final mejora considerablemente, ya que las células no colapsan al perder agua, además, la incorporación de solutos tiene un efecto protector sobre la estructura celular, haciendo al alimento más resistente a tratamientos posteriores.
- Se ahorra energía ya que la deshidratación ocurre por una osmosis y no a través de un cambio de fase del agua en comparación con el secado por aire o con la liofilización. En el caso del secado por convección, para evaporar 1 kg de agua se consumen 5 MJ de energía, mientras que, a su vez la eliminación de 1 kg de agua por el secado osmoconvectivo requiere alrededor de 0,1-2,4 MJ. Como resultado, la conservación de los alimentos mediante el método de convección osmótica permite un consumo de energía de 20-30% menor en comparación con el secado por convección. (Kowalski, Mierzwa, & Śronek, 2009).
- Al aplicar temperaturas moderadas durante el proceso, el daño que se produce sobre el sabor y el color es mínimo y hay una mayor retención de compuestos volátiles.

- La alta concentración de solutos alcanzada en la parte externa del alimento contribuye a prevenir su oscurecimiento (pardeamiento enzimático), a medida que aumenta la concentración de NaCl en el alimento, disminuye la actividad de la polifenoloxidasa, lo mismo ocurre con diferentes azúcares cuando las concentraciones son superiores a 0,5 molar, siendo la sacarosa y la fructosa más efectivas que la glucosa.
- Reduce el tiempo del secado, cuando se utilizó la osmodeshidratación como pre tratamiento, y como consecuencia reduce los costos de producción.
- La aplicación de esta técnica, permitiría a los productores ofrecer la fruta para su procesamiento inmediato, o bien mantenerla durante varios meses como producto de humedad intermedia para su posterior industrialización cuando las condiciones de mercado lo aconsejen.
- Las soluciones osmóticas pueden ser reutilizadas en varios ciclos y así disminuye el costo del proceso. (Kowalski, et al., 2009; Ciurzynska, et al., 2014).

**b) Desventajas:**

- Después del secado puede formarse una capa de azúcar que perjudica la textura de los mismos.
- Puede producir la oxidación de algunos productos como consecuencia de la alta retención de aceites esenciales, deteriorando el sabor del producto.

- Las soluciones osmóticas que ya no se puedan reutilizar deben ser tratadas para evitar contaminación microbiana.
- En la deshidratación osmótica, la ganancia de solutos y la salida de ácidos naturales y pigmentos del tejido afectan a las propiedades organolépticas.
- La velocidad y la capacidad de rehidratación de frutas secadas por deshidratación osmótica es menor que las de los productos sin pre-tratar, debido a la rápida impregnación del azúcar en las capas de tejido superficial del producto. (Keqing, 2004; Kowalski, et al., 2009; Ciurzynska, et al., 2014).

#### **2.3.8. Ultrasonido**

El ultrasonido puede definirse como las ondas acústicas inaudibles de una frecuencia generalmente superior a los 20 kHz. Cuando el ultrasonido pasa a través de un medio líquido, la interacción entre las ondas del ultrasonido, el líquido y el gas disuelto conduce a un fenómeno de excitación conocido como cavitación acústica, caracterizado por la generación y evolución de micro burbujas en el medio líquido. (Ulloa, Rosas, Ramírez, & Ulloa, 2013).

Las técnicas ultrasónicas se han utilizado durante mucho tiempo en la industria alimentaria, tanto en el análisis de alimentos como en el procesamiento y conservación de alimentos. También se pueden usar para aumentar el nivel de seguridad de los productos alimenticios. La tecnología de alimentos utilizada principalmente es la capacidad de las ondas ultrasónicas de alta potencia y baja frecuencia (20-100 kHz) para inducir un efecto de cavitación, que afecta las

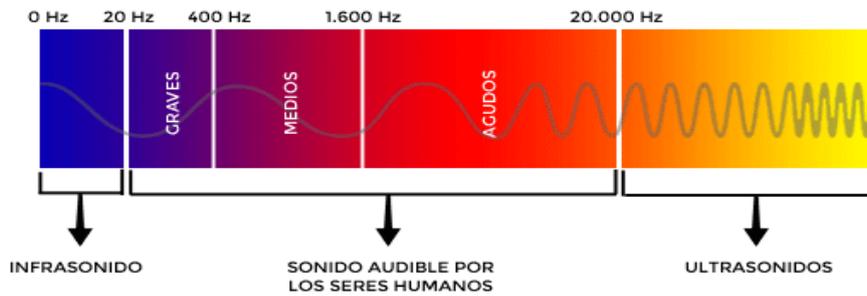
propiedades fisicoquímicas y bioquímicas del material, en particular la desintegración de las estructuras celulares. (Kapturowska, Stolarzewicz, Chmielewska, & Białecka-Florjańczyk, 2011).

### **2.3.9. Teoría general del ultrasonido- energía acústica**

La energía acústica es uno de los tipos fundamentales de energía que se encuentra en la naturaleza. Los sonidos son oscilaciones mecánicas en el tiempo que tienen lugar en el seno del material por el que se propagan. A diferencia de las ondas electromagnéticas, como las microondas, las ondas acústicas necesitan de un medio material para su propagación al tratarse de ondas elásticas. Así, las ondas electromagnéticas pueden transmitirse por el vacío mientras que el sonido no. (Cárcel, et al., 2014).

El evento sonoro captado en un punto del espacio posee esencialmente dos características volumen y tono. El volumen se relaciona con la magnitud física presión sonora ( $p$ ) y el tono con la frecuencia ( $f$ ). Esta última corresponde al número de periodos por unidad de tiempo y su unidad de medida es el Hertz ( $Hz$ ). El rango de frecuencia de interés no está limitado solo al rango de la audición humana, el que se extiende aproximadamente desde los 16 Hz hasta los 16 000 Hz (16 kHz). Sobre el límite superior de la audición humana, se encuentra el ultrasonido que tiene aplicaciones tales como, la técnica de modelos acústicos, técnicas de diagnóstico en medicina y ensayos no destructivos de materiales. (Möser & Barros, 2009).

El espectro sonoro a la gama de frecuencias que pueden ser identificados por la audición humana se muestra en la figura 4.

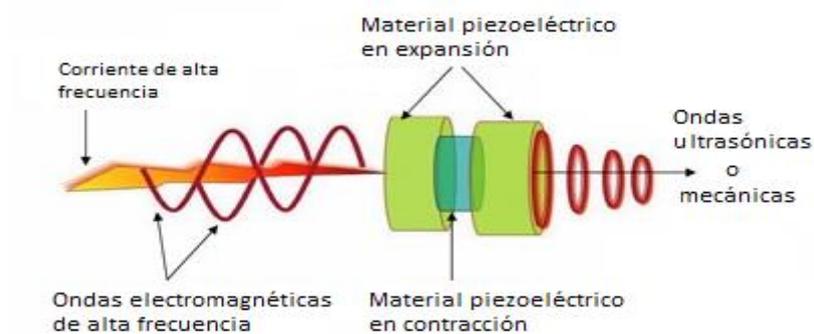


**Figura 4.** Espectro sonoro de la audición humana.

Fuente: (Muñoz, 2014)

El ultrasonido (US), puede definirse como ondas acústicas inaudibles de una frecuencia superior a 20 kHz, su generación se fundamenta en la deformación elástica de materiales ferroeléctricos, dentro de un campo eléctrico de alta frecuencia y es causado por la mutua atracción de moléculas polarizadas en el campo. (Herrero & Romero de Avila, 2006).

El fundamento de generación del ultrasonido se observa en la figura 5 (Muñoz, 2014).



**Figura 5.** Generación del ultrasonido.

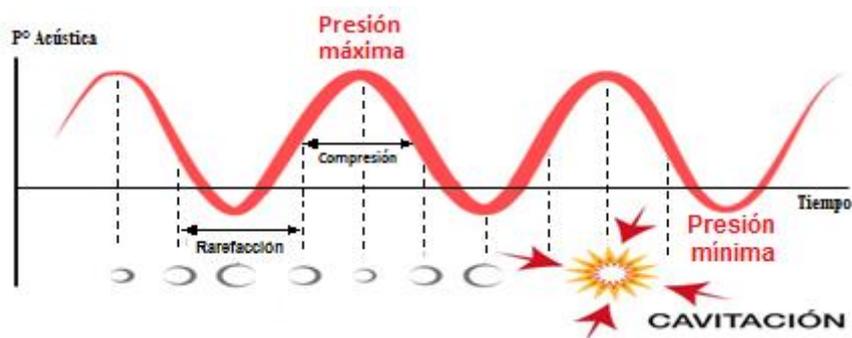
Fuente: (Goya, 2015)

Los investigadores actuales han explorado el mecanismo de acción del ultrasonido de alta intensidad para la inactivación de los microorganismos, esto condujo a diversas hipótesis, entre los que se encuentra el fenómeno de

cavitación, la formación de radicales libre, el calentamiento focalizado, el aumento de la presión y temperatura. (Ashokkumar & Mason, 2007; Cameron, McMaster, & Britz, 2008; Delgado, 2011).

El ultrasonido (US) se fundamenta en el fenómeno complejo de la cavitación gaseosa dado por la formación, desarrollo y colapso de burbujas de vapor o gas debido a la acción del campo ultra sonoro dentro de un líquido. La cavitación se produce en aquellas regiones de un líquido que se encuentran sometidas a presiones de alta amplitud que alternan rápidamente. Durante la mitad negativa del ciclo de presión, el líquido se encuentra sometido a un esfuerzo tensional y durante la mitad positiva del ciclo experimenta una compresión. Las micro burbujas que alcanzan un tamaño crítico implosionan o colapsan violentamente para volver al tamaño original. La implosión supone la liberación de toda la energía acumulada, ocasionando incrementos de temperatura instantáneos y focales, que se disipan sin que supongan una elevación sustancial de la temperatura del líquido tratado. El tiempo de vida de la burbujas es del orden de los microsegundos, su implosión violenta genera, de manera localizada y transitoria, elevadas temperaturas (5000 °C) en el interior de la burbuja, altas presiones (100 MPa) y la formación de especies muy reactivas tales como los radicales hidroxilos ( $\bullet\text{OH}$ ), hidroxiperoxilo ( $\bullet\text{OOH}$ ) y el peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). (Ashokkumar & Mason, 2007; Arora, et al., 2004; Herrero & Romero de Avila, 2006).

El comportamiento de las burbujas al generar presiones de alta amplitud (compresión) y su liberación de energía (rarefacción), se muestra en la figura 6.



**Figura 6.** Comportamiento de las burbujas durante la cavitación.

Fuente: (Goya, 2015)

Respecto a su empleo en la industria alimentaria, la manosonicación (incrementos de presión  $<600$  MPa) y la manotermosonicación (aplicación de ultrasonidos y tratamientos térmicos suaves  $<100$  °C), son particularmente eficaces en la esterilización de mermeladas, huevo líquido, y en general, para prolongar la vida útil de alimentos líquidos. La ultrasonicación de forma aislada es eficaz en la descontaminación de vegetales crudos y de huevos enteros sumergidos en medios líquidos. Con fines distintos a la conservación, se ha utilizado con éxito en el ablandamiento de las carnes. Más conocido y extendido es la utilización de ultrasonidos en sistemas de emulsificación y homogenización así como en la limpieza de distintos equipos. Para la conservación de los alimentos, son más eficaces las ondas ultrasónicas de baja frecuencia (18-100 kHz;  $\lambda=145$  mm) y alta intensidad (10-1000 w/cm<sup>2</sup>). (Herrero & Romero de Avila, 2006).

### **2.3.10. Pulsos de vacío (PV)**

La deshidratación osmótica a vacío es considerada una eficiente técnica para introducir líquidos externos en la estructura porosa de los tejidos vegetales y animales.

Cuando se aplica una presión de vacío se favorece el proceso de transferencia de masa, es decir se acelera el intercambio del soluto ya que permite retirar los gases ocluidos en espacios intracelulares, característicos del tejido parenquimatoso, favoreciendo la extracción del agua y ser ocupados por la solución osmótica, incrementando el área disponible para la transferencia de masa, y pueden ocurrir alteraciones en la composición de los alimentos. (Rastogi, Raghavarao, Niranjana, & Knorr, 2002; Jongen, 2002; Zhao & Xie, 2004).

El uso de pulsos de vacío permite un aumento en la tasa de pérdida de peso relacionada con el agua y ganancia sólida, e introduce cantidades controladas de una solución en la estructura porosa de las frutas y verduras (Deng & Zhao, 2008).

Recientemente se ha estudiado la deshidratación osmótica a presión de vacío, ya que con este tratamiento se puede lograr una deshidratación más rápida.

Además, una ventaja de la deshidratación osmótica con pulso de vacío sobre la deshidratación osmótica atmosférica es que el área de interfaz sólido-líquido y la transferencia de masa entre ambas fases se pueden aumentar (Correa, Pereira, Vieira, & Hubinger, 2010).

### **2.3.11. Tiempo**

Es el periodo o ciclo de incidencia bien definido en que se desarrolla una acción o proceso de osmodeshidratación cuando se utiliza tecnologías emergentes como ultrasonido y pulsos de vacío.

El tiempo en los procesos de osmodeshidratación con pulsos de vacío consiste en someter por un corto periodo de tiempo definido para el proceso. (Zhao & Xie, 2004).

### **2.3.12. Tecnologías emergentes en la deshidratación osmótica**

El método de deshidratación osmótica (DO) es utilizado para la extracción parcial del agua de frutas y hortalizas, por inmersión en solución hipertónica (osmótica) de azúcares, polialcoholes y/o sales. A pesar de la disminución del contenido de humedad del alimento favorecida por el proceso, la actividad de agua alcanzada es todavía muy alta, siendo necesarios procesos adicionales. Al tratarse de un proceso de deshidratación suave se obtienen productos con contenidos de agua relativamente altos (30-50%), clasificados como alimentos de humedad intermedia. (Ramiro, 2013).

Recientemente, la deshidratación osmótica se ha combinado con otros métodos a saber durante o antes del proceso de la deshidratación osmótica para mejorar aún más la transferencia de masa, por ejemplo, aplicación de pulsos de vacío, alta y baja presión, ultrasonido de potencia, fuerza centrífuga, irradiación gamma y otros. (Ahmed, et al., 2016; Nowacka, Tylewicz, Laghi, Dalla Rosa, & Witrowa-Rajchert, 2014).

Con la aplicación de nuevas tecnologías emergentes en la deshidratación osmótica, se está conduciendo a obtener productos osmodeshidratados de una mejor calidad organoléptica y nutricional y que, en la medida de lo posible, preserven las propiedades funcionales presentes naturalmente en las frutas y hortalizas, empleando procesos que resulten energéticamente eficientes y respetuosos con el medio ambiente. Los mayores avances en este campo se han conseguido con el desarrollo de sistemas físicos, que afectan la viabilidad de los microorganismos, sin un incremento sustancial de la temperatura del alimento. Estos métodos “no térmicos” no afectan, o lo hacen mínimamente a las características nutritivas y sensoriales de los alimentos. (Herrero & Romero de Avila, 2006).

**a) Deshidratación osmótica con pulsos de vacío (PVOD)**

Actualmente, la deshidratación osmótica con pulsos de vacío se está aplicando ampliamente en frutas y hortalizas en la industria de alimentos. El método es beneficioso para la transferencia rápida de líquidos en los poros de los tejidos de animales y plantas de una manera controlada. (Viana, Corrêa, & Justus, 2013).

El uso de la técnica PVOD es relevante para la industria alimentaria, acortando el período de secado de las frutas. Por lo tanto, este resultado puede causar la ventaja económica como la reducción de los costos adicionales para el proceso de secado posterior. El tratamiento al vacío causa compresión y posterior expansión de los gases ocluidos en los poros del material alimenticio debido a los mecanismos hidrodinámicos (HDM), que se ve aumentado por la variación

en la presión. En consecuencia, fomenta el intercambio de líquido/gas poroso del líquido exterior. (Torres, et al., 2005; Sahin & Kemal, 2016).

Es posible acelerar entre un 20% y 30% el proceso de deshidratación osmótica, operando bajo vacío, siendo la mejora, dependiente de la porosidad de la materia prima, la cual es una característica intrínseca de cada especie. Otra ventaja de la operación al vacío, es la evaporación de agua que ocurre desde el almíbar como consecuencia de la baja presión. Esta evaporación permite mantener la concentración de azúcar del almíbar, evitando de esta forma su dilución y manteniendo la tasa de extracción de agua desde la fruta. Es necesario por lo tanto, contar con un sistema de vacío en que sea posible condensar el vapor de agua generado. (Sluka, 2015).

En la deshidratación osmótica al vacío (PVOD), los poros capilares de las frutas y verduras se llenan, lo que da como resultado el aumento del área de contacto de superficie sólido-líquido, por lo tanto, mejora la velocidad de transferencia de masa. El PVOD se realiza mediante la aplicación de presión de vacío durante un breve período denominado período de vacío y la restauración de la presión atmosférica denominada período de relajación. Durante el primer período, se aplica una presión de 0,005-0,04 MPa, que promueve la eliminación de gases y líquidos nativos de los poros capilares y también conduce a la expansión de los gases. En el segundo paso, la restauración a presión atmosférica produce la succión de la solución osmótica dentro de los poros y se produce el fenómeno de deformación y relajación, que permite la modificación de la dimensión de los poros. Además, si el período de relajación aumenta de forma similar a la deshidratación osmótica tradicional, el proceso

se llama deshidratación osmótica con pulsos de vacío (PVOD). (Atares, Chiralt, & Gonzales-Martinez, 2008).

Matusek, Czukor, & Meresz, (2008), descubrieron que un tratamiento de 0,7 MPa de presión en manzanas con oligo-fructosa durante 5 minutos, genera aproximadamente un 12% más de pérdida del contenido de humedad y un nivel de impregnación de fructo-oligosacáridos más alto en comparación a muestras deshidratadas sin la aplicación de presión.

Del mismo modo, Bórquez, Canales, & Redon, (2010), en sus experimentos demostraron que la deshidratación osmótica de la fruta de frambuesa usando 1,33 MPa de presión durante 8 minutos había causado una pérdida de agua 3-4 veces mayor que la ganancia de sólidos.

Ferrari, Arballo, Mascheroni, & Hubinger, (2011), realizaron la deshidratación al vacío de cubos de melón a 0,01 MPa de presión y 40, 50, 60 °Brix de soluciones de sacarosa. El uso de una solución menos viscosa junto con el pulso de vacío al inicio del proceso había conducido a una mayor ganancia sólida. Sin embargo, se encontró una tendencia decreciente en la ganancia sólida a medida que aumentaba la concentración de la solución.

#### **b) Deshidratación osmótica con ultrasonido (UOD)**

El ultrasonido de potencia aplicado antes del proceso de deshidratación osmótica puede tener un impacto en la estructura del tejido de la fruta. (Schössler, Thomas, & Knorr, 2012; Nowacka, et al., 2014).

El ultrasonido es una forma de energía generada por ondas de sonido de frecuencias que son demasiado altas para ser detectadas por el oído humano, es decir, por encima de 16 kHz. Dependiendo de la frecuencia utilizada y la

amplitud de la onda de sonido aplicada, se pueden observar una serie de efectos físicos, químicos y bioquímicos que permiten una variedad de aplicaciones. (Dolatowski, Stadnik, & Stasiak, 2007).

Cuando se aplica ultrasonido de potencia de baja frecuencia, las ondas ultrasónicas viajan a través del medio sólido, causando una serie rápida de compresiones y expansiones alternativas, de forma similar a una esponja cuando se exprime y se libera repetidamente. Las fuerzas involucradas por el efecto esponja crean canales microscópicos que pueden ser utilizados por las moléculas de agua como una vía preferencial para salir hacia la superficie de la muestra, aumentando la difusividad efectiva del agua. (Fernandes & Rodrigues, 2008).

El "efecto esponja" promovido por la aplicación de ultrasonidos, da como resultado la creación de canales microscópicos en el tejido de la fruta. Además, este proceso a menudo va acompañado de una degradación de la pared celular, pérdida de adhesión celular, alargamiento e interrupción de las células continuas, etc. (Nowacka et al., 2017).

Según Bellary y Rastogi (2012), la mayor fuerza de tensión superficial causada por el efecto de esponja mantiene la humedad dentro de los capilares del material creando canales microscópicos, que pueden facilitar la eliminación de la humedad. Además, la expansión y el escape del gas atrapado en los poros se alivian, de modo que los poros vacíos se llenan con la solución osmótica.

El ultrasonido también causa cavitación, un fenómeno en el que se forman pequeñas burbujas, que crecen y colapsan debido a la fluctuación de la presión. Las burbujas de cavitación que colapsan generan un microjet que golpea la

superficie sólida produciendo una inyección de fluido dentro del sólido. Mientras que las burbujas que no se colapsan pueden ser estables, pero continúan aumentando o disminuyendo su tamaño, produciendo una micro agitación que mejora la tasa de transferencia de masa mediante la reducción de la capa límite de difusión (Kek et al., 2013). Además, la cavitación es beneficiosa para la eliminación de la humedad fuertemente adherida (Fernandes y Rodrigues, 2008). Asimismo, el movimiento oscilatorio de una onda de sonido provoca una transmisión acústica que conduce a la mejora de la transferencia de masa. (Fernandes & Rodrigues, 2008; Bellary, et al., 2011; Kek , Chin, & Yusof, 2013; Islam, Zhang, & Adhikari, 2014).

Fernandes, Gallão, & Rodrigues, (2009), indican que en los estudios sobre la deshidratación osmótica asistida por ultrasonido han demostrado que las diferentes frutas y verduras responden de manera diferente a la aplicación de este tratamiento. El ultrasonido indujo a la elongación de las células en los melones, lo que resultó en un camino más fácil para la difusión del agua, mientras que el ultrasonido produjo canales microscópicos en las papayas; sin embargo, debido a la corta longitud de estos canales microscópicos, la difusividad efectiva del agua no mejoró mucho.

Se ha considerado que el uso de ultrasonidos mejora la transferencia de masa en la deshidratación osmótica de manzanas (Deng & Zhao, 2008), plátanos (Farhaninejad, Fathi, Shahedi, & Sadeghi, 2015), kiwis (Nowacka, et al., 2014), arándanos (Shamaei, et al., 2011), y guayabas (Kek , et al., 2013).

### **2.3.13. Calidad en productos osmodeshidratados**

La calidad en términos generales, es un concepto abstracto, de difícil definición, donde el consumidor se constituye en el principal elemento para su evaluación. Para el consumidor, algunos de los atributos fundamentales de la calidad de cualquier alimento son la ausencia de defectos, la textura, el aroma, el valor nutritivo, el aspecto, que incluye tamaño, color y forma. (Jarén, 2005).

Los diversos tipos de deshidratado producen cambios físicos y químicos que influyen en la calidad final; muchos de estos cambios están en función de la temperatura, contenido de humedad y el tiempo de secado. Entre los cambios físicos se puede mencionar el encogimiento, la cristalización y la transición vítrea. En muchos casos también pueden ocurrir reacciones químicas o bioquímicas deseables o indeseables, que conducen a cambios en el color, la textura, el aroma-olor u otras propiedades del producto, por lo que la producción de cualquier alimento deshidratado no sólo pasa por optimizar la operación en sí, en términos de volumen de producción o costo, sino que además es requisito fundamental ofrecer productos que satisfagan las necesidades y requerimientos del consumidor. (Jayaraman & Das Gupta, 2006).

Dentro de los principales atributos de calidad en los alimentos deshidratados tenemos:

#### **a. El color en los alimentos**

El color es una percepción humana de la luz reflejada por un objeto. Se trata de una valoración, que depende de cómo nuestros ojos detectan la luz reflejada y de cómo nuestro cerebro la procesa. Se lo define entonces como una respuesta

mental al estímulo que una radiación luminosa visible produce en la retina. Se considera un concepto psicofísico, relacionado al mismo tiempo con la psicología del observador, la fisiología de la visión y la energía radiante espectral de una fuente luminosa. (Heredia, Peinado, Barrera, & Grau, 2009).

El color es un parámetro objetivo y una de las características externas más importantes para evaluar la calidad de alimentos frescos y procesados, por esto, determinar los cambios que se generan como resultado del procesamiento, almacenamiento y vida poscosecha de los frutos, está siendo el principal factor en la decisión de compra por el consumidor. (Giese, 2000).

El color es una importante propiedad en alimentos, ya que en la decisión de elegir un alimento se tiene en cuenta su aspecto visual, especialmente el color.

El color es un importante factor para la aceptación de los productos por los consumidores, debido a la correlación visual directa entre la frescura y el sabor, a pesar de no estar relacionada con el valor nutricional o con propiedades funcionales, esta propiedad tiene importancia tecnológica, pues puede ser utilizada como índice de transformaciones naturales de los alimentos frescos o de cambios ocurridos en el proceso industrial. (Chua, Mujumdar, Chou, Hawlader, & Ho, 2000).

Los compuestos responsables del color de los alimentos se caracterizan por ser sustancias con estructuras muy diversas y con propiedades químicas y físicas extremadamente variadas. En las frutas y vegetales el color puede clasificarse en cromóforos con sistemas conjugados, los cuales incluye la presencia de pigmentos, carotenoides, antocianinas, betalainas, clorofilas y compuestos fenólicos, y con porfirinas coordinadas con metales, como la mioglobina,

clorofila y sus derivados, los cuales pueden cambiar durante el procesado y almacenamiento. (Lopez-Camelo & Gómez, 2004; Contreras, 2006).

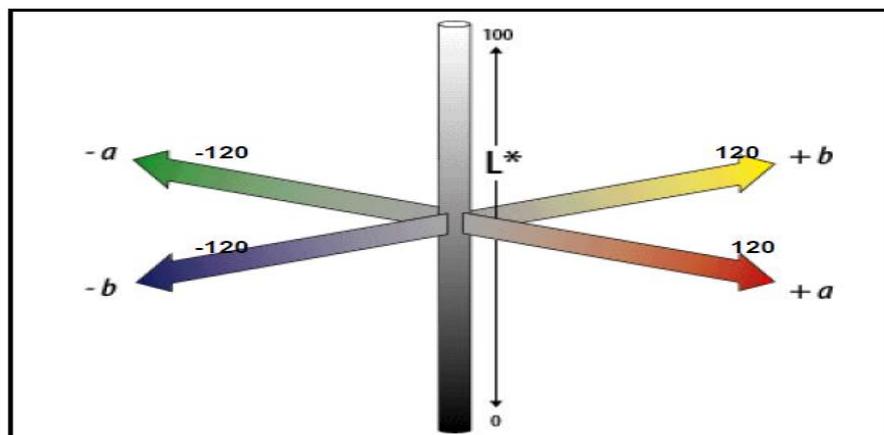
Cuando el deterioro del color es visualmente extenso, el producto resulta inaceptable, por lo que industrialmente el color puede ser una característica determinante para el éxito comercial de innumerables productos. Debido a ello se vuelve cada día más imprescindible su control, lo que admite poder medir y comparar el color. En este sentido, es necesario disponer de métodos objetivos de medida de esta propiedad que permitan la obtención de valores comparables y reproducibles. (Contreras, 2006).

Hay dos procedimientos fundamentales para medir el color: el sensorial y el instrumental. El método instrumental consiste en el uso de técnicas en las cuales se mide la reflectancia o transmitancia de la muestra a través de los sistemas de color (Munsell, Hunter, CIE, CIELAB). Los colorímetros triestímulos, tienen la desventaja de que la superficie del material cuyo color se va a medir, debe ser homogénea y de que se mide sobre un área muy pequeña ( $2 \text{ cm}^2$ ), lo que hace poco representativo al resultado. Los sistemas se basan en una mezcla de colores a partir de tres estímulos fundamentales (rojo, verde y azul), con relación a la percepción humana de los atributos sensoriales de tonalidad, luminosidad y saturación analizados bajo el espacio cromático en coordenadas rectangulares. (Capilla, Artigas, Pujol, & Ramo, 2002; Mendoza, Dejmek, & Aguilera, 2006).

El sistema de modelo de color CIELAB: fue desarrollado por la International Commission on Illumination (CIE) en el año 1976 para lograr una mejora en la representación del color, se considera el modelo de color más completo, se usa

ampliamente para describir los colores que puede percibir el ojo humano (International Commission on Illumination, 2004), porque además de definir el espacio de color en coordenadas rectangulares ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), también define en coordenadas cilíndricas ( $L^*$ ,  $M^*$ ,  $C^*$ ). El modelo  $L^*a^*b^*$  determina el color de acuerdo a la posición en el espacio en tres dimensiones (3D). (Noor, Mokhta, Rafiqul, & Pramod, 2012).

El componente  $L^*$  corresponde a la luminosidad del color ( $L=0$  significa negro,  $L=100$  significa blanco),  $a^*$  es el croma donde los valores positivos corresponden a rojo y los negativos al color verde,  $b^*$  es el tono para este componente los valores positivos corresponden a amarillo y aquellos valores negativos se refieren a azul,  $a^*$  y  $b^*$  son los dos componentes cromáticos cuyos valores van desde -120 a +120, esta representación se puede observar en la figura 7. (International Commission on Illumination, 2004; Noor, et al., 2012).



**Figura 7.** Representación del sistema CIE  $L^*a^*b^*$  o CIELAB

Fuente: Noor, et al., (2012).

La diferencia de croma de las muestras tratadas con el patrón es definida por la variación de la cromaticidad  $\Delta C^*$ , y el grado de tonalidad, o tono del color, por

el ángulo hue  $h^*$  (Chen & Ramaswamy, 2002), estos últimos definidos por las siguientes ecuaciones:

$$\Delta C = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \dots\dots (a)$$

#### **b. La textura en los alimentos**

La textura se define como “todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado, visuales y auditivos”. (Rosenthal, 2001).

La textura de los alimentos es esencialmente un hábito de los consumidores para su aceptación, que surge de nuestra interacción con el alimento y su estructura, los cuales son más sofisticados y con mayor sensibilidad para percibir sutiles diferencias en la textura. A menudo la textura constituye un juicio por el cual juzgamos su calidad y frecuentemente es un factor importante para seleccionar un artículo o rechazarlo. No obstante, dada la complejidad de apreciaciones que conforman la textura, únicamente es posible evaluar de forma objetiva alguna o algunas de las propiedades texturales, que deberán ser aquellas que estén más directamente relacionadas con la textura percibida del producto. (Chiralt, y otros, 2001).

Aunque la textura está relacionada directamente a las propiedades mecánicas, esta relación puede modificarse por el efecto de su interacción con otros atributos sensoriales (sabor y color). Como los hábitos de los consumidores se han vuelto más sofisticados, la importancia de la textura como atributo de calidad viene aumentando significativamente, siendo necesario establecer técnicas eficientes de preservación, con el mínimo de daño al producto. La

apreciación de la textura también produce placer y es la sensación más relevante relacionada con la estructura del alimento. (Rosenthal, 2001).

La textura de los tejidos vegetales tiene su base en la estructura celular, de manera que existe un efecto combinado de la presión de turgencia de los componentes celulares y de la elasticidad de las paredes celulares, lo que determina las propiedades visco elásticas de los tejidos vegetales. Estas propiedades están también afectadas por la composición de la fracción péctica de la pared celular y especialmente por la fuerza de las uniones celulares a través de la lámina media y el grado de empaquetamiento celular. La fuerza de las uniones celulares y el nivel de turgencia son determinantes en su comportamiento mecánico. (Chiralt, y otros, 2001).

Los métodos de procesado de alimentos destruyen la integridad del plasmalema y la capacidad de la célula para mantener su turgencia. El procesado del alimento por calor también dará como resultado cambios en la pared celular, particularmente en la lámina media (el inicio de la rotura de la pectina conduce a la separación celular), así como otros cambios dependientes de la composición del producto como puede ser la gelatinización del almidón en el caso de que esté presente. En particular, en procesos de secado, la pérdida de agua y la exposición a altas temperaturas durante el proceso provocan el encogimiento celular y por consiguiente cambios en la textura de los productos obtenidos. Por lo tanto, la textura final depende de la importancia relativa de cada factor que contribuye a su textura y al grado con que ese factor se ha cambiado mediante el método de procesado utilizado. (Rosenthal, 2001).

La deshidratación osmótica como pre tratamiento confiere a la fruta mejores características de textura por su menor resistencia a la compresión, una mayor retención de las vitaminas, intensificación del sabor y estabilidad en el color en relación a la fruta deshidratada por secado convencional. En las frutas deshidratadas osmóticamente se produjo un leve incremento de la firmeza en todos los lotes, concluyendo que en la deshidratación osmótica el leve aumento de la firmeza parece ser debido al aumento de la concentración de sólidos solubles en la fruta y no a las alteraciones en la protopectina. (Torreggiani & Bertolo, 2001).

### **c. Contenido de ácido ascórbico**

Definida genéricamente como ácido ascórbico, es una de las vitaminas más importantes para la nutrición humana, siendo que el 90% de la vitamina C es suplido por las frutas y verduras. La vitamina C previene el escorbuto y mantiene saludable la piel, las encías y los vasos sanguíneos. Además, son conocidos por su función biológica en la formación del colágeno, absorción de hierro, reducción del colesterol, estímulo del sistema inmunológico y reacción con radicales libres. Como antioxidante reduce el riesgo de arteriosclerosis, enfermedades cardiovasculares y algunas formas de cáncer. Sin embargo, es muy sensible a la destrucción cuando la fruta es sometida a condiciones adversas de manipulación y/o almacenamiento. (Lee & Kader, 2000; Vieira, Teixeira, & Silva, 2000).

La estructura del ácido ascórbico se observa en la figura 8.



**Figura 8.** Estructura química de ácido ascórbico.

Fuente: (Lee & Kader, 2000)

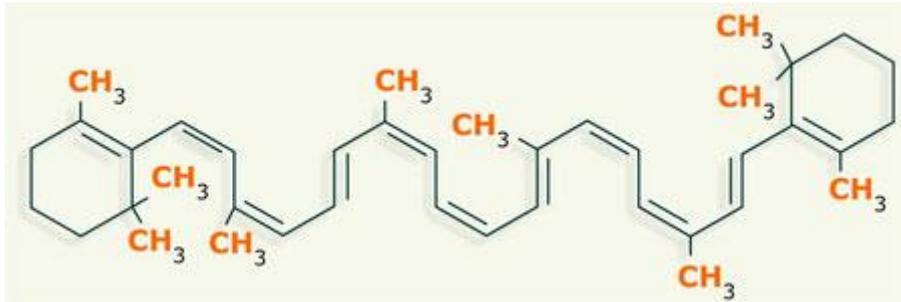
Además, se comprobó que las pérdidas de vitamina C son mayores cuando los productos sufren algún daño físico, o se almacenan por largo tiempo y se exponen a altas o bajas temperaturas. Además, la vitamina C es fácilmente oxidada, especialmente en soluciones acuosas y alcalinas. En este sentido, la deshidratación osmótica como pre-etapa al secado, se presenta como una alternativa prometedora, favoreciendo la retención y la estabilidad de la vitamina C, por la impregnación de solutos durante el tratamiento osmótico. Por otro lado algunos autores sugieren que los productos pre-deshidratados osmóticamente en soluciones con soluto de alto peso molecular, presentan temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) más elevada y, consecuentemente, las frutas osmodeshidratadas tendrían menor colapso estructural durante el secado, disminuyendo los cambios deteriorantes como la velocidad de degradación del ácido ascórbico, además del oscurecimiento no enzimático y la actividad de la fenolasa. (Torreggiani & Bertolo, 2001).

#### **d. Contenido de carotenoides**

Los carotenoides o tetraterpenoides son una clase de pigmentos terpenoides con 40 átomos de carbono derivados biosintéticamente a partir de dos unidades de geranil-geranilpirofosfato, en su mayoría son solubles en solventes apolares

y dan coloraciones que oscilan entre el intenso color amarillo, naranja o rojo ( $\beta$ -caroteno amarillo y el licopeno rojo). Los carotenos, incluyen  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  caroteno, los únicos que poseen actividad como vitamina A. El  $\beta$ -caroteno es el más activo. (Chasquibol, López, Cárdenas, & Rodríguez, 2006).

La estructura química más activa de los carotenoides se muestra en la figura 9.



**Figura 9.** Estructura química de  $\beta$ -caroteno

Fuente: (Chasquibol, et al., 2006)

La importancia de los carotenoides no es sólo atribuida al color que ellos confieren a las frutas, sino también a los beneficios a la salud, tanto por la actividad pro vitamínica A. Estos beneficios conduce a la disminución del riesgo de enfermedades degenerativas como el cáncer, la degeneración macular y las enfermedades cardiovasculares, por lo tanto, han sido bastante investigados, numerosas investigaciones han mostrado que aquellas personas que siguen una dieta rica en  $\beta$ -caroteno, tiene menor predisposición frente a enfermedades cardiovasculares y al cáncer. Si bien muchos de estos estudios se han centrado en el  $\beta$ -caroteno, otros carotenoides eficaces en la prevención de la enfermedad son  $\beta$ -criptoxantina, zeaxantina, astaxantina e incluso el carotenoide no coloreado fitoeno. (Meléndez-Martínez, Vicario, & Heredia, 2004).

En procesos de deshidratación osmótica algunas sustancias osmoactivas como la sacarosa y el cloruro de sodio podrían conservar e incluso aumentar el contenido de licopeno y  $\beta$ -caroteno del tomate cherry al afectar la integridad de la matriz celular. (Heredia, et al., 2009).

El consumo de una dieta rica en carotenoides se ha correlacionado epidemiológicamente con un menor riesgo de varias enfermedades, lo cual ha dado lugar a un creciente interés en el estudio de su biodisponibilidad. (O'Sullivan, Ryan, & O'Brien, 2007).

#### **2.3.14. Análisis sensorial**

El análisis, la evaluación o prueba sensorial se trata de una disciplina muy eficaz para conocer las propiedades organolépticas de los alimentos, es decir, aquellas propiedades que se pueden apreciar a través de los sentidos, siendo un análisis de calidad obtenida por nuestras sensaciones, es tan importante como los análisis físicos, químicos y microbiológicos de los alimentos. (Zamora, 2007).

El principal juicio que efectúa un consumidor de alimentos es la apariencia visual, sin embargo, el sabor, el aroma y la textura también influyen en su juicio de poder elegir un alimento, ya que estos parámetros pueden verse perjudicados cuando son sometidos a procesos alimentarios. (Allaeddini & Djomeh, 2004).

Existen diferentes pruebas sensoriales utilizadas en la evaluación de los productos alimentarios, sin embargo la que más se utiliza es la prueba de aceptación en que los consumidores clasifican, a través de una escala, cuanto

gustan o disgustan del producto evaluado. Las pruebas de aceptación se conocen como de nivel de satisfacción (hedónicas), son un componente valioso y necesario de todos los programas sensoriales, aquí se emplean para determinar el grado de aceptación de un producto por parte de los consumidores y según su tipo permiten medir cuánto agrada o desagrade dicho producto. (Stone & Sidel, 2004; Clark, Costello, Drake, & Bodyfelt, 2009).

Para determinar la aceptabilidad de un producto se puede usar pruebas de ordenamiento, escalas categorizadas y pruebas de comparación pareada. El número de jueces que se recomienda emplear debe ser mayor de 80, generalmente entre 100 y 150, aunque mientras mayor cantidad se emplee se logra una mejor representatividad de la población. Pueden utilizarse de 25 a 30 jueces sólo si el resultado es a nivel de laboratorio. La escala hedónica de nueve puntos es la más utilizada en las pruebas de aceptación, debido a su simplicidad, confiabilidad y validez de sus resultados. Los datos obtenidos en la prueba de aceptación deben ser sometidos al análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de Tukey, para la obtención de informaciones sobre las diferencias entre los productos analizados. Las diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de los productos se miden normalmente a un nivel de confianza del 95%. (Espinosa, 2007).

Allaeddini & Djomeh, (2004), observaron la preferencia sensorial por productos secos con previo tratamiento osmótico en rebanadas de kiwi osmodeshidratadas y secas, la impregnación de la sacarosa, en el pre tratamiento osmótico, favoreció la aceptación del producto en comparación con la fruta sin pre tratamiento, siendo evaluado como dulce y de sabor agradable.

### 2.3.15. Método de superficie de respuesta

La metodología de superficies de respuesta (RSM) es un conjunto de técnicas estadísticas más empleada en la ciencia de los alimentos, es utilizada en la investigación de procesos complejos, en el estudio de variables independientes y la relación entre una o más respuestas donde el objetivo es optimizar éstas respuestas, es decir aquellas que dan por resultado “valores óptimos” de una o varias características deseables de calidad del producto. (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

La optimización mediante superficies de respuesta le permite al tecnólogo de alimentos minimizar los costos, maximizar las ganancias, reducir el empleo de ingredientes o preservantes costosos, incrementar las características deseables del alimento sin comprometer su inocuidad durante el desarrollo de un nuevo producto o para el mejoramiento de uno existente. (Kong, He, Chen, & Chen, 2004; Zhou & Regenstein, 2004).

Figuroa, (2003), indica que la representación matemática de los modelos de MSR puede ser de diversas maneras:

1. Un modelo de primer orden (lineal) sin interacciones o productos cruzados:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + e$$

2. El modelo lineal de primer orden con interacciones:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{j=2}^k \sum_{i=1}^{j-1} \beta_{ij} x_i x_j + e$$

3. y el modelo cuadrático o de segundo orden:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{j=2}^k \sum_{i=1}^{j-1} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + e$$

Donde

$\beta_0$  es el coeficiente de regresión de la constante,  $\beta_i$  es el coeficiente de regresión que indica la importancia relativa del factor  $x_i$  (mide los efectos lineales),  $\beta_{ii}$  es el coeficiente de regresión que indica la importancia relativa del factor  $x_i^2$  (mide los efectos cuadráticos),  $\beta_{ij}$  es el coeficiente de regresión que indica la importancia relativa del factor  $x_i x_j$  (mide los efectos combinados o de interacción de los factores  $x_i$  y  $x_j$ ),  $Y$  es la respuesta ajustada.

Un diseño de superficie de respuesta es un conjunto de técnicas avanzadas de diseño de experimentos (DOE) que le ayudan a concebir mejor y optimizar la respuesta. La metodología del diseño de superficie de respuesta se utiliza con frecuencia para filtrar los modelos después de haber determinado los factores importantes utilizando diseños de cribado o diseños factoriales, especialmente si se sospecha que existe curvatura en la superficie de respuesta. (Figuerola, 2003; Gutiérrez & De la Vara, 2008).

#### **a. Optimización simultánea de varias respuestas**

En numerosos problemas de optimización experimental, es inusual encontrar sólo una respuesta que necesite ser optimizada, en cambio es frecuentemente considerar varias respuestas. El objetivo de la optimización es la selección, independientemente de la diversidad de soluciones potenciales, de la mejor solución con respecto a algún criterio bien definido. Para obtener el valor de respuesta con estas características se recurre a una estrategia experimental. El

tipo de diseño que se utiliza involucra la selección de un conjunto de factores de interés tal que la combinación de sus valores corresponda de la mejor manera a todas las características de un producto. A este proceso se le conoce como un diseño de optimización multirespuesta, ya que las características de interés se definen para varias respuestas. (López, 2015).

La aproximación de la función deseabilidad o conveniencia es uno de los métodos más utilizados en la industria para la optimización de procesos de múltiples respuestas. Se basa en la idea de que la "calidad" de un producto o proceso que tiene múltiples características de calidad, con una de ellas fuera de ciertos límites "deseados", es completamente inaceptable. El método asigna una "puntuación" a un conjunto de respuestas y elige la configuración de factores que maximizan esa puntuación, por lo que proporciona los "más deseables" valores de respuesta. (NIST/SEMATECH, 2012).

#### **2.4. Aspectos de responsabilidad social y medio ambiental**

La investigación realizada cumplió con los lineamientos de la responsabilidad social y medio ambiental porque considera las siguientes premisas: la investigación de osmodeshidratado del aguaymanto con ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo permitirá brindarles a los productores de aguaymanto una oportunidad de mejorar sus ingresos, por consiguiente mejorar su calidad de vida, así mismo el producto a obtener o unidad de análisis permitirá brindar a la sociedad un alimento sano con propiedades funcionales (capacidad antioxidante por su contenido de ácido ascórbico y carotenos totales), que permitirá poder tener acceso a ellos en épocas de no estacionalidad de la fruta.

De esta manera la investigación cumple una exigencia de la responsabilidad social.

Además el uso de ultrasonido y pulsos de vacío permitirá reducir en consumo de energía que se requiere en un proceso convencional de osmodeshidratado, los residuos de proceso como estos de frutos de aguaymanto y solución azucarada, son orgánicos, y se pueden reutilizar en otros procesos productivos (alimentos balanceados, edulcorantes, etc), lo que permite realizar un proceso amigable con el medio ambiente y eco eficiente.

## CAPÍTULO III: METODO

### 3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación aplicado, fue experimental, debido a que se realizó a nivel de laboratorio en condiciones controladas, para ver la correlación entre las variables independientes y dependientes, cuyo resultado permitió sentar las bases para poder emplearlo en un proceso industrial en un futuro.

### 3.2. Población y muestra

#### 3.2.1. Población

Se utilizó como población al aguaymanto o capulí (*Physalis peruviana L.*) procedente de la localidad de Huamanguilla, provincia de Huanta, Ayacucho.

#### 3.2.2. Muestra

Se utilizó como muestra al aguaymanto o capulí (*Physalis peruviana L.*) procedentes de la Asociación de Productores APARU de la localidad de Huamanguilla, provincia de Huanta, Ayacucho.

### 3.3. Hipótesis

#### 3.3.1. Hipótesis general

El ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo inciden directamente en la mejora de la calidad del aguaymanto (*Physalis Peruviana L*) osmodeshidratado

### **3.3.2. Hipótesis específicas**

- 1) El ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo inciden significativamente en el color del aguaymanto (*Physalis Peruviana L*) osmodeshidratado.
- 2) El ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo inciden significativamente en el contenido de ácido ascórbico y carotenos totales en el aguaymanto (*Physalis Peruviana L*) osmodeshidratado.
- 3) El ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo inciden significativamente en la aceptabilidad del aguaymanto (*Physalis Peruviana L*) osmodeshidratado.

### **3.4. Operacionalización de variables**

La definición operacional de las variables necesaria para cuantificar los resultados de la investigación, se observa en la tabla 3.

**Tabla 3***Operacionalización de las variables en estudio*

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>INSTRUMENTO DE MEDICIÓN</b>
Y1 = Color	Factor de calidad, indicativo de la variación del color del aguaymanto osmodeshidratado.	Escala de hunter	Colorímetro Minolta
Y2 = Vitamina C	Indicador de la calidad nutricional, evalúa la pérdida de la vitamina por el osmodeshidratado.	mgAc.asc./100 g muestra	Espectrofotómetro Spectroscan 50
Y3 = Aceptabilidad	Prueba sensorial que utiliza los sentidos humanos como "instrumentos" de medida, evalúa la aceptación del aguaymanto osmodeshidratado en estudio.	Escala hedónica 0- 9 puntos	Ficha de evaluación sensorial
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>INSTRUMENTO DE MEDICIÓN</b>
X <sub>1</sub> = Ultrasonido	Son ondas elásticas de baja frecuencia (20 khz) de alto poder y un rango de potencia de 30-50 w.	Watts ( w)	Equipo de ultrasonido DADI 968
X <sub>2</sub> = Pulso de vacío	Presión de vacío 50-150 mmHg) que se usa para una transferencia rápida de los líquidos en los poros de los tejidos vegetales.	Pulso de vacío (mmHg)	Manómetro
X <sub>3</sub> = Tiempo	Tiempo determinado durante el que se realiza el tratamiento (10 - 30 minutos).	minutos (m)	Cronometro Q&Q

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Instrumentos

Los instrumentos utilizados fueron los siguientes:

#### 3.5.1. Guía de observación

Permitió obtener datos a través de la técnica de la observación, al observar atentamente el fenómeno (osmodeshidratación con ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo) en el laboratorio, asimismo se tomó la información y se registró para luego evaluarlas y analizarlas. Estos consistieron en Guías de observación del color y Guías de observación de la vitamina C según los tratamientos que se estudiaron.

### **3.5.2. Test**

Permitió obtener información de la investigación a través de la técnica de la encuesta (Ficha de evaluación sensorial anexo 5) para obtener datos sobre aceptabilidad, esta ficha de evaluación sensorial se caracterizó porque las preguntas son iguales para todos los entrevistados y fueron formuladas siguiendo un orden determinado, previamente planificado.

### **3.5.3. Aparatos de medición**

Los aparatos mecánicos y electrónicos que se emplearon para obtener datos e información de la investigación, fueron aquellos que permitieron registrar los valores de la variable respuesta color, contenido de vitamina C y carotenos totales según los tratamientos en estudio. Dentro de los aparatos de medición empleados en la investigación fueron los siguientes:

- Colorímetro Minolta (modelo CR-400, de  $\varphi$  0,8 mm Japón)
- Espectrofotómetro Spectroscan 50v, Power AC220-150VA, 50-60 Herz.
- Equipo transductor ultrasónico DADI 968 con frecuencia ultrasónica de 35 khz y con rango de potencia ultrasónica de 30-50 watts.
- Equipo de pulsos de vacío (50 – 150 mmHg)
- Cronometro (Q&Q Stop Watch)
- Refractómetro de mano 0-80% Brix (2 escalas), ATC.
- Refractómetro de mesa 0-32% Brix tipo ABBE AR12 Schmidt & Haensch.
- Equipo de titulación Titroline 6000, SI Analitics.

- Agitador magnético IKAMAG RCT con placa calefactora de control de seguridad, rango de 0 -300°C.
- Estufa BIONET. Frec. 50/60 Herz. Temp. 50-300°C. Modelo ESTBN 20.
- Balanza analítica OHAUS. Capacidad 200 g con precisión 0.0001 g.
- Horno de incineración Digital. BIONET. Temperatura máxima 1200°C.
- Calefactor eléctrico para la digestión de proteína.
- Equipo de destilación Kjeldahl. Marca LABCONCO, Modelo 600-11.
- Autoclave Electric Pressure sterilizer. Model 25X. Aluminum. Wisconsil. USA.
- Bomba de vacío marca Gast. Máximo vacuum 0-30 In Hg, 0-760 mm Hg. Gast manufacturing Inc. Michigan. USA.
- pH meter JENWAY BIONET S.A. Frecuencia 50/60 Herz. Rango 0-14.
- Equipo de Soxhlet ELECTROTHERMAL, para extracción de grasa con control manual y capacidad calorífica de 10 a 100 °C.

### **3.6. Procedimientos**

Dentro de los procedimientos empleados se describen a continuación:

#### **3.6.1. Caracterización de los frutos de aguaymanto**

En los frutos de aguaymanto se determinó el análisis proximal, análisis físico y análisis físico químico.

##### ***a) Análisis químico proximal***

Se realizó los siguientes análisis a la materia prima, utilizando la siguiente metodología. (AOAC, 2007):

- Proteínas: Método AOAC 935.39C – Semimicrokjeldahl
- Grasas: Método AOAC 935.39 Soxhet
- Humedad: NTP 206.011 Método de la Estufa
- Ceniza: Método AOAC 935.39B
- Fibra: Método AOAC ba661
- Carbohidratos: Por diferencia

#### ***b) Análisis físico***

Las principales características físicas o biométricas de las bayas de aguaymanto que se determinaron fueron:

- *Peso del fruto*: se evaluó a través de una balanza digital con 25 repeticiones, en él se determinó: peso del pedúnculo, peso del pericarpio y peso de semillas.
- *Diámetro del fruto*: sus dimensiones se determinó empleando una criba de acero de diámetro igual 1,5 cm y una criba de 2,0 cm, se seleccionó las bayas que estén en el rango de 1,5-2,0 cm.

#### ***c) Análisis fisicoquímico***

Se determinó la composición fisicoquímica de las bayas del aguaymanto mediante los siguientes análisis:

- **pH**: por potenciometría de lectura directa utilizando el phmetro Mettler Toledo. (AOAC, 2007).
- **Sólidos solubles**: se determinó por refractometría de lectura directa en °Brix, con un refractómetro ATC 0-80%. (AOAC, 2007).

- **Ácido ascórbico:** por espectrofotometría con 2,6 dicloro fenol indofenol. (AOAC, 2007).
- **Acidez titulable:** Por titulación visual con el equipo de titulación Titroline 6000 y se expresó en g de ácido cítrico/100 ml. (AOAC, 2007).
- **Determinación de carotenos totales:** por espectrofotometría. (AOAC, 2007).

### 3.6.2. Acondicionamiento del proceso

En el acondicionamiento del proceso se realizó las siguientes actividades:

- Los frutos de aguaymanto fueron descalizados manualmente, retirando el pedúnculo (capacho), luego fueron seleccionados los frutos con un índice de madurez (I.M) entre 7-8 según grado de madurez del Anexo 1 y la figura 10, y finalmente sanitizadas con una solución de hipoclorito de sodio a 80 ppm. (Borda & Caicedo, 2013; CYTED, 2014).



**Figura 10.** Acondicionamiento de los frutos de aguaymanto

Fuente: Elaboración propia

- La solución osmótica se preparó con una concentración de 60°Brix usando sacarosa comercial y agua destilada, tal como se aprecia en la

figura 11. La concentración de solución osmótica se controló usando un refractómetro de mano (ATC 0-80% Brix) y se mantuvo en baño de agua (Agitador IKAMAG RCT 0-300°C) para lograr la temperatura de 25°C requerida en la solución. (Sanjinez-Argandoña, Branco, & Takito, 2010).



**Figura 11.** Preparación de la solución osmótica.

Fuente: Elaboración propia

- Las muestras fueron sumergidas en una solución de sacarosa con una concentración de 60°Brix durante un tiempo de 3 horas. La proporción de frutos de aguaymanto:solución se fijó en 1:5 (p/p) durante todo el experimento. El medio osmótico y el contenido se agitaron a 105 rpm constantemente para evitar la dilución localizada de la solución de sacarosa, tal como se observa en la figura 12. Después del tratamiento de deshidratación osmótica, las muestras se retiraron de la solución y se transfirieron con papel de seda para eliminar la solución de azúcar adherida. (Maldonado, Santapaola, Singh, Torrez, & Garay, 2008).



**Figura 12.** Proceso de osmodeshidratado del aguaymanto.

Fuente: Elaboración propia

### **3.6.3. Optimización de las variables respuestas por metodología de superficie de respuesta**

El proceso de optimización se desarrolló en base al esquema experimental de la figura 13, tabla 5 y el diagrama de proceso del Anexo 2, permitiendo obtener el aguaymanto osmodeshidratado.

Los procedimientos de investigación empleados para optimizar las variables respuestas, Variación del color ( $\Delta C$ ), % Retención del ácido ascórbico (%RAA) y % de retención de carotenos totales (%RCA), fueron las siguientes:

#### **a) Determinación del color mediante el colorímetro Minolta**

Se evaluaron los parámetros L (luminosidad), a (enrojecimiento) y b (amarillamiento) con el colorímetro Minolta (modelo CR-400, Japón). El parámetro “L” varía desde 100 para un blanco perfecto a cero para el negro; “a” representa el color rojo cuando toma valores positivos, gris cuando es cero y verde cuando toma valores negativos. El parámetro “b” representa el color amarillo cuando toma valores positivos, gris cuando es cero y azul cuando toma valores negativos.

Para la calibración se utilizó el patrón blanco que provee el equipo (Y=93,2; x=0,3133; y=0,3192), para la cual se utilizó la escala Hunter. El colorímetro se programó de modo que cada destello sea un disparo y las muestras fueron dispuestas de modo que cubrieran toda la pantalla del colorímetro.

El cambio total de color después de la deshidratación por métodos combinados (DO+UPV) se evaluó de acuerdo a la ecuación 1. (Chen & Ramaswamy, 2002)

$$\Delta C = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \dots\dots (1)$$

Donde:

$\Delta C$ : es la variación total del color; las variaciones de  $\Delta L$ ;  $\Delta a$  y  $\Delta b$  fueron calculadas con respecto a los valores iniciales de las muestras, es decir, en el fruto fresco ( $L_0$ ;  $a_0$ ;  $b_0$ ).

#### **b) Determinación de la retención del ácido ascórbico y carotenos totales**

Para este caso se determinó el contenido de ácido ascórbico y carotenos totales de los 20 tratamientos mostrados en la tabla 5, después de haber sido sometidos al aguaymanto a los tratamientos de osmodeshidratado con ultrasonido y pulsos de vacío, por espectrofotometría. El porcentaje de retención de ácido ascórbico y carotenos totales se determinó según la ecuación 2:

$$\%_{rc} = \frac{[Compuesto_{muestra OD}]}{[Compuesto_{muestra SOD}]} \times 100 \dots\dots (2)$$

Donde;

$\%_{rc}$ : Porcentaje de retención del compuesto (ácido ascórbico y carotenos totales).

$[Compuesto_{MOD}]$ : Concentración del compuesto en la muestra osmodeshidratada.

$[Compuesto_{MSOD}]$ : Concentración del compuesto en la muestra sin osmodeshidratado.

### c) Determinación de la respuesta global optimizada

Se determinó con la finalidad de identificar el área experimental que permita maximizar las propiedades estudiadas, fue establecida una nueva variable dependiente, basada en los modelos desarrollados por (Silva y Borsato, 1985 citado por Larrea, 2013). La expresión matemática de esa función respuesta global fue:

$$Z_g = \frac{(\text{Producto de respuestas positivas})}{(\text{Producto de respuestas negativas})} \dots\dots (3)$$

Para obtener la respuesta global optimizada (RGO) fue necesario calcular el logaritmo decimal de  $Z_g$ .

#### 3.6.4. Análisis de la cinética de la deshidratación osmótica

Para comprobar el efecto de los solutos sobre la osmodeshidratación del aguaymanto se escogió el modelo fenomenológico, donde no trata de explicar el mecanismo de la transferencia de materia a través de un modelo fisicoquímico, sino que solo intenta relacionar pérdida de agua (WL) y ganancia de sólidos (SG).

Se calculó la pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL) y la ganancia de sólidos (SG). La pérdida de agua se determinó gravimétricamente y el contenido sólido del aguaymanto osmodeshidratado con ultrasonido y pulsos de vacío (ODUPV) se evaluó durante todo el proceso. (AOAC, 2007), cuyas mediciones se tomaron por triplicado.

La pérdida de peso (WR), la pérdida de agua (WL) y la ganancia sólida (SG) se determinó de acuerdo con las Ecs. (4), (5), (6) y (7). (Cabrera, Panadés, & Viera, 2008).

$$WR\% = \frac{W_i - W_t}{W_i} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

$$SG\% = \frac{SS_i - SS_t}{W_i} \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

$$WL\% = SG\% + WR\% \dots\dots\dots(6)$$

$$WL\% = \frac{M_i - M_t}{W_i} \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

Los parámetros evaluados se expresaron de la siguiente forma:

WR= Reducción o pérdida de peso (g.100 g-1 MF).

Wi = Peso de la muestra inicial en g

Wt = Peso de la muestra al tiempo t en minutos m

SG= Ganancia de sólidos (g sólidos.100 g-1 MF).

SSi = Sólidos solubles iniciales (°Brix) expresados en g sólidos.100 g-1 MF

SSt = Sólidos solubles al tiempo t (°Brix) expresados en g sólidos.100 g-1 MF

WL: Pérdida de agua [g agua.100 g-1 MF]

Mi = Humedad inicial expresada en g H<sub>2</sub>O.100 g<sup>-1</sup> MF

Mt = Humedad al tiempo t expresada en g H<sub>2</sub>O.100 g<sup>-1</sup> MF

MF= Muestra fresca inicial

Al aguaymanto osmodeshidratado se realizó un seguimiento cada 30 minutos durante 6 horas, retirando muestras, las cuales fueron pesadas y sometidas a la determinación de humedad. Cada muestra estuvo constituida por tres frutos y se realizaron tres repeticiones.

### **3.6.5. Análisis físico químico**

Se realizó para determinar los cambios en el contenido de ácido ascórbico-vitamina C (por espectrofotometría) y de los Carotenos totales-β carotenos. (AOAC, 2007), considerados como los principales componentes del aguaymanto, luego de ser sometido a la osmodeshidratación con el tratamiento óptimo.

### **3.6.6. Evaluación sensorial**

El aguaymanto osmodeshidratado obtenido en la condición optima de proceso mediante la respuesta global optimizada (P1) y la muestra de aguaymanto osmodeshidratado (P2), fueron sometidos a un análisis sensorial mediante la prueba afectiva para medir la preferencia o el grado de aceptación, utilizando una escala hedónica estructurada de siete opciones, varada en los extremos por los términos "7 - Me gustó muchísimo" y "1- Me disgusta muchísimo".

Hernández, (2005) recomienda aplicar la prueba afectiva en la evaluación sensorial con la finalidad de medir la preferencia o el grado de aceptación, especialmente cuando se mejora el producto.

Se empleó una ficha de evaluación sensorial por aceptación (Anexo 5) y un panel de catación de 18 jueces no adiestrados para evaluar las muestras correspondientes. Cada panelista recibió 20 g de cada muestra debidamente codificada (P1 deshidratadas osmóticamente con ultrasonido y presión de vacío y P2 deshidratadas osmóticamente) y se les preguntó para indicar su preferencia por cada muestra, basados en la calidad de algunos atributos como aceptabilidad del producto.

Los resultados fueron evaluados estadísticamente por el análisis de varianza (ANOVA) y cuando hubo significancia se efectuaron comparaciones de medias por la prueba de rangos múltiples de Tukey.

### **3.7. Análisis de datos**

Como estrategia de control y metodología cuantitativa para analizar los datos se empleó lo siguiente:

#### **3.7.1. Diseño de la investigación**

En la tesis doctoral se empleó el tipo de investigación experimental, porque el investigador manipulo tres variables independientes (Ultrasonido PU, Pulsos de vacío PV y tiempo TU); ejerciendo el máximo control con la variable dependiente (calidad), en la que se midió la variación de color ( $\Delta C$ ), la retención de compuestos activos (% retención de ácido ascórbico y % retención

de  $\beta$  carotenos) y la aceptabilidad, para obtener los datos cuantitativamente, a través de un proceso sistemático y de aproximación científica.

El diseño de investigación utilizado fue el Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR), que comprende el factorial  $2^2$  compuesto por 4 (cuatro) replicados del punto central que estudió el efecto de los factores experimentales o variables independientes (Potencia del ultrasonido (PU), Presión de vacío (PV), tiempo de ultrasonido (TU)) en 5 niveles (+1.68, +1, 0, -1, -1.68), más seis puntos axiales a una distancia  $a = 1,68$ , denominada "planificación estrella", en 20 ejecuciones (n).

Las respuestas o variables dependientes para verificar los efectos individuales y de interacción en las características del aguaymanto osmodeshidratado fueron variación de color ( $\Delta C$ ), % retención de compuestos activos (ácido ascórbico y  $\beta$  carotenos) y la aceptación sensorial en términos de aceptabilidad.

Todo es diseño está enmarcado bajo la metodología de análisis de superficie de respuesta (RSM). La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) es una estrategia experimental que permite mediante modelación encontrar las condiciones óptimas de operación de un proceso, y por lo tanto optimizarlo a un menor costo de experimentación. (Montgomery, 2001; Gutiérrez & De la Vara, 2008). Los valores de las variables independientes codificadas y no codificadas se exhiben en la Tabla 4.

**Tabla 4***Niveles de las variables del proceso codificada y sin codificar*

Niveles codificados	Niveles sin codificar		
	Potencia de ultrasonido (watts)	Potencia de vacío (mmHg)	Tiempo (min)
-1	30	50	10
0	40	100	20
1	50	150	30

*Fuente:* Elaboración propia

El modelo propuesto para cada respuesta se describió mediante el ajuste de los datos experimentales a la siguiente ecuación polinomial de segundo orden (Ecuacion 8):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 \dots\dots\dots(8)$$

donde sólo se consideró la influencia de los factores significativos ( $p < 0,05$ ).

**Y :** Representa la respuesta experimental o variable dependiente  
( $Y_1 =$  Variación del color ( $\Delta C$ ),  $Y_2 =$  % Retención de compuestos activos (ácido ascórbico y  $\beta$  carotenos),  $Y_3 =$  Aceptabilidad).

**X :** Representa las variables independientes codificadas  
( $X_1 =$  Potencia de ultrasonido (Watts),  $X_2 =$  Presión de vacío (mmHg) y  $X_3 =$  tiempo de ultrasonido (min))

**B<sub>0</sub>:** Representa la razón o el valor de la respuesta ajustado en el punto central.

**B<sub>i</sub>:** Representa el coeficiente de regresión lineal.

**B<sub>ii</sub>:** Representan los coeficientes de regresión cuadrático y

**B<sub>ij</sub>:** Representan los coeficientes de regresión de las interacciones.

Para cada respuesta se desarrolló un modelo polinomial de segundo orden, utilizando regresión lineal múltiple. El diseño experimental junto con los valores de las respuestas analizadas se expone en la Tabla 5.

**Tabla 5**

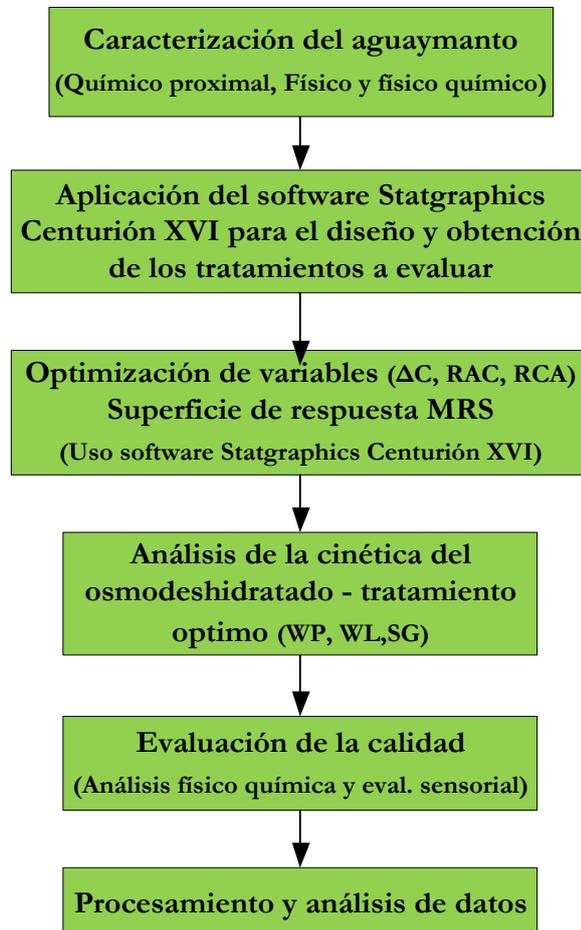
*Diseño experimental codificado de las variables del proceso.*

Tratamientos	Factores evaluados		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	0	-1,682	0
2	1	1	-1
3	-1	1	1
4	1	-1	1
5	0	0	-1,682
6	0	0	1,682
7	-1	-1	-1
8	1	1	1
9	-1,682	0	0
10	1	-1	-1
11	-1	-1	1
12	-1	1	-1
13	1,682	0	0
14	0	1,682	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0

*Fuente:* Elaboración propia

Un alto valor absoluto para los coeficientes  $B_i$ , podría indicar una importante contribución de  $X_i$  sobre la predicción de  $Y_n$ ; efecto contrario se observa para los pequeños valores absolutos de  $B_i$ .

El diseño experimental se desarrolló de acuerdo al plan experimental de la figura 13 y el Anexo 2.



**Figura 13.** Diseño experimental del osmodeshidratado de aguaymanto.

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2. Análisis estadístico

La base de datos obtenida de las variables respuestas del estudio: variación de color ( $\Delta C$ ), % retención de compuestos activos (ácido ascórbico y  $\beta$  carotenos) y la aceptación sensorial (aceptabilidad) fueron procesados en el paquete estadístico Statgraphics Plus. Centurion

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de cada variable respuesta para ver su grado de significancia, así como su grado de correlación entre variables, Posteriormente se tabulo y grafico los resultados, con los gráficos se identificó los efectos principales entre los factores (Ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo), así como sus interacciones, para finalmente analizar los efectos principales y su interacción en las variables respuestas

Concluido el análisis, se identificó el nivel óptimo de cada factor, y se buscó una respuesta global optimizada que ayude a una menor variación del color y una mayor retención de ácido ascórbico y  $\beta$ -carotenos, así como mayor aceptabilidad.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Contrastación de hipótesis

La contrastación de la hipótesis en el estudio se realizó en las tres variables respuestas (Variación de color ( $\Delta C$ ), Retención de ácido ascórbico (%RAC) y Retención de carotenos totales (%RCA), cuyos resultados se muestran en los cuadros siguientes.

#### 4.1.1. Análisis de variancia (ANOVA) de la variación del color

En la Tabla 6 se muestran aquellas variables que resultaron significativas ( $p < 0,05$ ) para la variación del color ( $\Delta C$ ) en el aguaymanto osmodeshidratado.

**Tabla 6.**

*ANOVA para la variación del color ( $\Delta C$ ) según el DCCR*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:PU	0,28716	1	0,28716	67,1800	0,00000
B:PV	0,50171	1	0,50171	117,3700	0,00000
C:TU	0,42599	1	0,42599	99,6500	0,00000
AA	0,00274	1	0,00274	0,6400	0,44160
AB	0,00006	1	0,00006	0,0100	0,90630
AC	0,00001	1	0,00001	0,0000	0,96350
BB	0,00008	1	0,00008	0,0200	0,89670
BC	0,00005	1	0,00005	0,0100	0,92000
CC	0,00124	1	0,00124	0,2900	0,60150
Error total	0,04275	10	0,00427		
Total (corr.)	1,53665	19			

*Fuente:* Elaboración propia

En el análisis de variancia (ANOVA) aplicado a los factores en estudio, se muestra el Valor P, que es la probabilidad de obtener bajo la distribución de Fisher – Snedecor un valor igual o mayor que el resultante, es decir si el valor  $P > 0,05$ , aquí se observa que la totalidad de términos lineales de las variables de proceso tales como el factor (A), el factor (B) y el factor (C) tienen valores inferiores a ( $p < 0,05$ ), este resultado nos indica que todas las variables tienen un efecto significativo sobre la variación del color ( $\Delta C$ ), es decir son significativamente diferentes de 0,05 al 95% del nivel de confianza.

Resultaron no significativos los términos cuadráticos (AA, BB y CC) y las interacciones (AB, AC y BC) sobre la respuesta evaluada.

De acuerdo al  $R^2$  indica que el modelo alcanza un 97,22% de variabilidad del color ( $\Delta C$ ) en el deshidratado de aguaymanto, el estadístico  $R^2$  ajustado (ajustada por g.l.) es de 94,71%, un error estándar del est. = 0,0653, un error absoluto medio = 0,004 y un Estadístico Durbin-Watson = 0,9937 ( $P = 0,0103$ ).

#### **4.1.2. Análisis de variancia (ANOVA) del % de retención de ácido ascórbico**

El análisis de varianza (ANOVA) de la tabla 7, explica la variabilidad del contenido de ácido ascórbico con respecto a los factores independientes (Potencia de ultrasonido (PU), Presión de vacío (PV) y Tiempo de ultrasonido (TU)), probando la significancia estadística de cada efecto, comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental.

En la tabla 7 se observa el análisis de variancia a las respuestas significativas ( $p < 0,05$ ), ahí se observa que los términos lineales de Presión de vacío (B) y

Tiempo de ultrasonido (C) y en los términos cuadráticos la variable Potencia de ultrasonido (AA) ejercen una influencia significativa en el % de retención de ácido ascórbico, es decir su valor-p es menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

Los términos lineales como la variable Potencia de ultrasonido (A), los términos cuadráticos como (BB) y (CC), así como los términos cruzados o interacciones (AB), (AC) y (BC) no son significativas, es decir su valor-p es mayor que 0,05, por lo que cada uno de estos factores en estudio pudieron actuar de forma independiente.

**Tabla 7**

*ANOVA del porcentaje de retención de ácido ascórbico según el DCCR*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:PU	0,2503	1	0,2503	2,67	0,1333
B:PV	40,7298	1	40,7298	434,42	0,0000
C:TU	67,8120	1	67,8120	723,27	0,0000
AA	3,0997	1	3,0997	33,06	0,0002
AB	0,1521	1	0,1521	1,62	0,2315
AC	0,1883	1	0,1883	2,01	0,1868
BB	0,2639	1	0,2639	2,82	0,1243
BC	0,3398	1	0,3398	3,62	0,0861
CC	0,0960	1	0,0960	1,02	0,3354
Error total	0,9376	10	0,0938		
Total (corr.)	281,7940	19			

*Fuente:* Elaboración propia

De acuerdo a los resultados del ANOVA el estadístico  $R^2$  indica que el modelo, así ajustado, implica el 99,67% de la variabilidad en el porcentaje de la retención del ácido ascórbico (%RAC). El estadístico  $R^2$  ajustado de 99,37%, es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,3062. El estadístico de Durbin-Watson (DW) fue de 2,207 ( $P=0,6489$ ) no existiendo una correlación significativa.

#### **4.1.3. Análisis de variancia (ANOVA) del % de retención de carotenos**

Para realizar el análisis de superficie de repuesta del % de retención de carotenos totales (%RCA) en el aguaymanto osmodeshidratado se realizó el análisis de variancia (ANOVA), cuyos resultados de la tabla 8, indican la variabilidad del (%RCA) con respecto a los factores independientes.

En el análisis de variancia (ANOVA) de la tabla 8, se analizó la variabilidad de los resultados del % de Retención de carotenos totales (%RCA), con respecto a los factores independientes en estudio, observándose que las variables Potencia de ultrasonido (A), Presión de vacío (B) y Tiempo de ultrasonido (C), tienen un valor p menos a 0,05 indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%, por lo tanto influyen en la retención de carotenos totales ( $\beta$  carotenos) en el aguaymanto osmodeshidratado.

De acuerdo a estos resultados de la tabla 8 se obtuvo un  $R^2 = 97,51\%$ , un  $R^2$  (ajustada por g.l.) = 95,27%, un error estándar del est. = 1,0445, un error absoluto medio = 0,5228 y un Estadístico Durbin-Watson = 2,3162 ( $P=0,7306$ ).

**Tabla 8***ANOVA del porcentaje de la retención de carotenos totales según el DCCR*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:PU	10,3583	1	10,3583	9,49	0,0116
B:PV	28,7464	1	28,7464	26,35	0,0004
C:TU	61,8734	1	61,8734	56,71	0,0000
AA	4,5613	1	4,5613	4,18	0,0681
AB	0,9683	1	0,9683	0,89	0,3683
AC	0,9353	1	0,9353	0,86	0,3763
BB	0,3667	1	0,3667	0,34	0,5749
BC	1,6962	1	1,6962	1,55	0,2409
CC	3,4008	1	3,4008	3,12	0,1079
Error total	10,9099	10	1,0910		
Total (corr.)	438,1080	19			

*Fuente:* Elaboración propia**4.1.4. Análisis de variancia (ANOVA) de la respuesta global optimizada**

En el ANOVA de la tabla 9 particiona la variabilidad de RGO en piezas separadas para cada uno de los efectos, por ello se analizó la variabilidad de la respuesta global optimizada, con respecto a los factores independientes en estudio (Potencia de ultrasonido (PU), Presión de vacío pulsante (PV) y tiempo de ultrasonido (TU)).

En este caso, 3 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%, aquí se observó que las relaciones lineales (A), (B) y (C) tienen valores p inferiores a 0,05, estos resultados nos indican que son significativamente diferentes de cero al 95,0% del nivel de confianza, por lo tanto influyen en maximizar la

respuesta global optimizada (RGO), estos resultados se observan en la tabla 9.

**Tabla 9**

*ANOVA para la respuesta global optimizada (RGO)*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:PU	0,01019	1	0,01019	86,2200	0,0000
B:PV	0,03461	1	0,03461	292,8100	0,0000
C:TU	0,04184	1	0,04184	353,9200	0,0000
AA	0,00020	1	0,00020	1,7000	0,2212
AB	0,00009	1	0,00009	0,7300	0,4115
AC	0,00016	1	0,00016	1,3400	0,2735
BB	0,00009	1	0,00009	0,7300	0,4138
BC	0,00019	1	0,00019	1,5900	0,2361
CC	0,00003	1	0,00003	0,2800	0,6093
Error total	0,00118	10	0,00012		
Total (corr.)	0,14779	19			

*Fuente:* Elaboración propia

La Tabla 9 muestra que los efectos cuadráticos e interacción no son significativos sobre la respuesta global optimizada (RGO). El RGO se ve afectada positivamente en el proceso de osmodeshidratado por los factores B: Presión de vacío pulsante, ya que todos los parámetros son positivos, lo que demuestra que su aumento provoca una mejora en el RGO.

De acuerdo a estos resultados el coeficiente de determinación para el modelo seleccionado fue de  $R^2 = 99,20\%$ , lo que indica el 99,20% de la variación de la respuesta es expresada por el modelo seleccionado siendo significativo y suficiente para simbolizar la representación existente entre la respuesta global

optimizada (RGO) y las variables en estudio (PU, PV, TU).

Para el caso del  $R^2$  ajustado (ajustada por g.l.) el valor alcanzado fue de 98,48%, el cual es cercano a 100% por lo que el grado de correlación entre los valores observados y predichos es alto. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0108725, un error absoluto medio = 0,049 y un Estadístico Durbin-Watson = 1,339 (P=0,07).

En referencia al coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ adj), (Cornell, 2002, citado por Andrade (2012)), menciona el uso en reemplazo de  $R^2$  como una medida de bondad de ajuste de la ecuación de regresión a las observaciones experimentales, mencionando que cuando su valor es cercano a 1, el grado de correlación entre los valores observados y predichos por el modelo es alto.

#### 4.1.5. Análisis de variancia (ANOVA) de la evaluación sensorial

Realizado el análisis de variancia y la prueba F, se encontró que hubo diferencias significativas a nivel de tratamientos (productos) en cuanto a la evaluación del atributo “Aceptabilidad” en aguaymanto osmodeshidratado.

**Tabla 10**

*ANOVA del atributo “Aceptabilidad” del aguaymanto osmodeshidratado optimizado*

<b>F.V</b>	<b>G.L</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Sig.</b>
Panelistas	17	8,556	0,503	1,88	ns
Productos	1	13,444	13,444	50,17	**
Error Experimental	17	4,556	0,268		
Total	35	26,556			

*Fuente:* Elaboración propia C.V. 16,16%

Para determinar cuál es el mejor producto, se sometió a la prueba de comparación Tuckey  $\alpha= 0,05$ , cuyos resultados se presenta en la tabla 11, en ella se muestra que existe diferencia estadística entre el Producto P1 (Aguaymanto osmodeshidratado) y el P2 (Aguaymanto osmodeshidratado con ultrasonido y pulso de vacío). Asimismo, resulto ser el P2 (Aguaymanto osmodeshidratado con ultrasonido y pulso de vacío) la que alcanzó el mayor promedio de aceptabilidad (6,00 puntos) en la escala hedónica en cuanto al atributo “Aceptabilidad”.

**Tabla 11**

*Prueba de Tuckey para el atributo aceptabilidad*

<b>Ord.</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Significación</b>
1	Aguaymanto OD optimizado (P2)	6,00	a
2	Aguaymanto OD (P1)	4,78	b

*Fuente:* Elaboración propia

## **4.2. Análisis e interpretación**

### **4.2.1. Caracterización de los frutos de aguaymanto**

A los frutos frescos de aguaymanto o capulí se les determinó su caracterización a través del análisis químico proximal, físico y físico químico que se detallan a continuación.

#### **a) Análisis químico proximal**

En la tabla 12, se muestra los valores de los principales componentes de los frutos de aguaymanto utilizados en el análisis, los resultados obtenidos de los

macro componentes fueron el promedio de tres repeticiones y se muestran en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Composición químico proximal del aguaymanto fresco (g/ 100 g muestra)*

<b>Componentes</b>	<b>(g)</b>	<b>SD</b>
Humedad	81,98	±0,752
Proteínas	0,74	±0,015
Grasa	0,40	±0,012
Ceniza	0,72	±0,012
Fibra	0,63	±0,006
Carbohidratos	14,99	±0,112

*Fuente:* Elaboración propia

Con estos resultados podemos decir que el aguaymanto fresco es un fruto compuesto básicamente de agua con un  $81,98 \pm 0,752$  g característico de las frutas en estado fresco, por lo que nos indica que es un fruto susceptible a sufrir deterioro por ataque de microorganismos, seguido por los carbohidratos con un  $14,99 \pm 0,112$  g y proteínas en un  $0,74 \pm 0,015$  g.

#### **b) Análisis físico**

Para determinar las características físicas del aguaymanto fresco o capulí se tomó 25 bayas de aguaymanto en forma aleatoria, los resultados obtenidos en este estudio se observan en la tabla 13.

**Tabla 13***Análisis físico del aguaymanto fresco*

<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>	<b>Promedio</b>	<b>SD</b>
Diámetro	cm	40,94	1,640	0,348
Peso con cáliz	g	128,23	6,412	0,873
Peso cáliz	g	9,95	0,498	0,124
Peso pericarpio	g	113,23	5,662	0,872
Peso semillas	g	5,05	0,252	0,054

*Fuente:* Elaboración propia

Se puede observar que el diámetro promedio de las bayas de aguaymanto fue de  $1,64 \pm 0,348$  cm; el peso del pericarpio es de  $5,66 \pm 0,872$  g que representa el 88,30%, el cáliz  $0,49 \pm 0,124$  g representando el 7,76%, y el peso de las semillas constituye el 3,94%. De acuerdo a estos resultados obtenidos se puede apreciar que el peso del aguaymanto sin cáliz es superior a los ecos tipos de Ecuador y Colombia. (CYTED, 2014).

Las muestras utilizadas en el estudio presentaron muy buena uniformidad, con características físicas aceptables para el uso industrial, con coeficientes de variabilidad ( $\sigma \cdot 100 / X$ ) menores al 21,28%, tal como se puede observar en el anexo 6.

### **c) Análisis físico químico**

Se tomó aproximadamente, 5 kg de aguaymanto, adquirido a la Asociación de productores APARU, las cuales presentó las siguientes características físicas y químicas.

Los frutos de aguaymanto frescos fueron caracterizados teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos: pH, Sólidos solubles (°Brix), % de acidez, índice de madurez, contenido de ácido ascórbico y contenido de carotenos totales. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y los resultados se detallan en la tabla 14 respectivamente

**Tabla 14**

*Composición físico químico del aguaymanto*

<b>Componente</b>	<b>Unidades</b>	<b>SD</b>
pH	3,52	0,085
Sólidos solubles (°Brix)	11,53	0,074
% Acidez	1,49	0,026
Índice de Madurez (°Brix/Acidez)	7,74	0,182
Ácido ascórbico (mg Ac.Ascorb/100 g.)	37,64	0,229
Carotenos totales (mg $\beta$ caroteno/100 g.)	2,64	0,035

*Fuente:* Elaboración propia

En cuanto al análisis físico químico podemos decir que el estado de madurez de fruto es un factor muy importante a tener en cuenta a la hora de planificar la cosecha. Tal es así que en cuanto al contenido de solidos solubles los frutos de aguaymanto alcanzaron el valor de  $(11,53 \pm 0,074$  °Brix) y en cuanto al % de acidez alcanzo un valor de  $(1,49 \pm 0,026$  %), determinando un índice de madurez de 7,74. La gran mayoría de frutos de aguaymanto se consume con un índice de madurez entre 7 y 8, lo cual corresponde a estados de madurez 4 o 5, los valores de índice de madurez reportados está dentro de este rango.

Los valores de pH ( $3,52\pm 0,085$ ) es adecuado para evitar el crecimiento de los microorganismos, el contenido de ácido ascórbico ( $37,64\pm 0,229$  mg de ácido ascórbico/100 g) y carotenos totales ( $2,64\pm 0,035$  mg  $\beta$  caroteno/100 g) representando un valor mayor a frutos como fresas y uvas.

#### **4.2.2. Optimización de la variable respuesta por MSR**

Para optimizar el proceso de osmodeshidratado, las condiciones de operación se tomaron del Anexo 2 y los tratamientos de la tabla 5 se relacionaron mediante RSM con cada una de las variables dependientes en estudio como: parámetros de calidad nutricional (Variación del color, Vitamina C y  $\beta$ -Caroteno). Las ecuaciones de los modelos ajustados y las superficies de respuestas estimadas correspondientes se muestran a continuación.

##### **a. Variación del color ( $\Delta C$ )**

Después de realizada las 20 combinaciones de los experimentos siguiendo el flujo de procesamiento presentado en el anexo 2, y según las variables presentadas en la tabla 5, se evaluó la variación del color ( $\Delta C$ ) para poder analizar y determinar los efectos de las variables independientes.

Los resultados de cada tratamiento realizado resulto del promedio de tres repeticiones, los cuales se muestran en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Variación del color para las combinaciones de Potencia de ultrasonido (PU), Presión de Vacío pulsante (PV) y Tiempo de ultrasonido (TU) según el DCCR*

Trat.	Con Código			Sin Código			$\Delta C$
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	PU	PV	TU	
1	0	-1,68	0	40,0	10,0	100,0	2,40
2	1	1	-1	45,9	25,9	70,3	3,47
3	-1	1	1	34,1	25,9	129,7	2,67
4	1	-1	1	45,9	14,1	129,7	2,62
5	0	0	-1,68	40,0	20,0	50,0	3,25
6	0	0	1,68	40,0	20,0	150,0	2,47
7	-1	-1	-1	34,1	14,1	70,3	2,60
8	1	1	1	45,9	25,9	129,7	3,08
9	-1,68	0	0	30,0	20,0	100,0	2,46
10	1	-1	-1	45,9	14,1	70,3	3,01
11	-1	-1	1	34,1	25,9	129,7	2,67
12	-1	1	-1	34,1	25,9	70,3	3,06
13	1,68	0	0	50,0	10,0	100,0	2,81
14	0	1,68	0	40,0	10,0	100,0	2,60
15	0	0	0	40,0	10,0	100,0	2,60
16	0	0	0	40,0	10,0	100,0	2,60
17	0	0	0	40,0	10,0	100,0	2,60
18	0	0	0	40,0	10,0	100,0	2,60
19	0	0	0	40,0	10,0	100,0	2,60
20	0	0	0	40,0	10,0	100,0	2,60

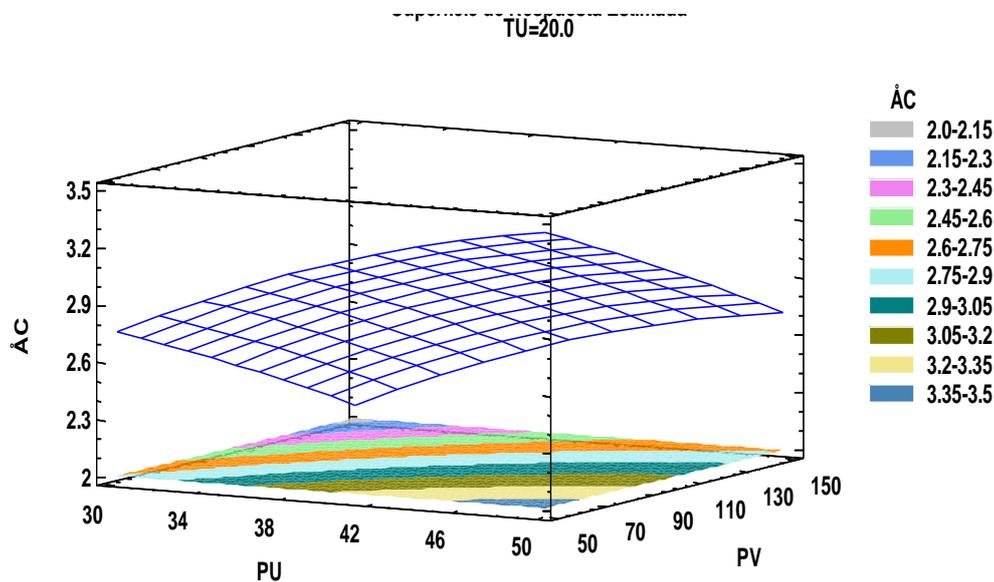
*Fuente:* Elaboración propia

De los resultados obtenidos de la tabla 15, se puede concluir que los tratamientos centrales fueron los que alcanzaron los menores valores de variación de color entre  $\Delta C$  (2,40 – 3,47).

El aguaymanto osmodeshidratado por las diferentes condiciones de proceso dio como resultado la variación del color, tal es así que la luminosidad ( $L^*$ ) y el enrojecimiento ( $a^*$ ) fueron afectadas por las variables en estudio ( $p < 0,05$ ), incrementando la variación del color. Los cambios en la amarillez ( $b^*$ ) del aguaymanto osmodeshidratado no fueron afectadas por las variables en estudio, siendo favorecidas al mejorar sus valores.

Las variables de proceso, tuvieron un efecto en la variación del color, siendo las de mayor efecto las variables tiempos de ultrasonido (TU) y potencia de ultrasonido (PU), quienes ejercieron un efecto más prominente sobre la variación del color del aguaymanto osmodeshidratado.

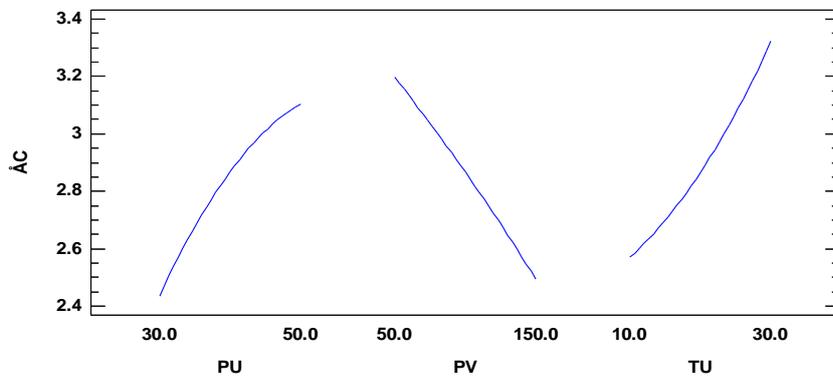
De los resultados de la tabla 16, se graficó el modelo de superficie de respuesta, en ella se observó que al incrementa la potencia de ultrasonido se prolonga las curvas de nivel o contornos de la superficie (Figura 14).



**Figura 14.** Superficie de respuesta, de la variación del color ( $\Delta C$ ) en la osmodeshidratación de aguaymanto.

*Fuente:* Elaboración propia

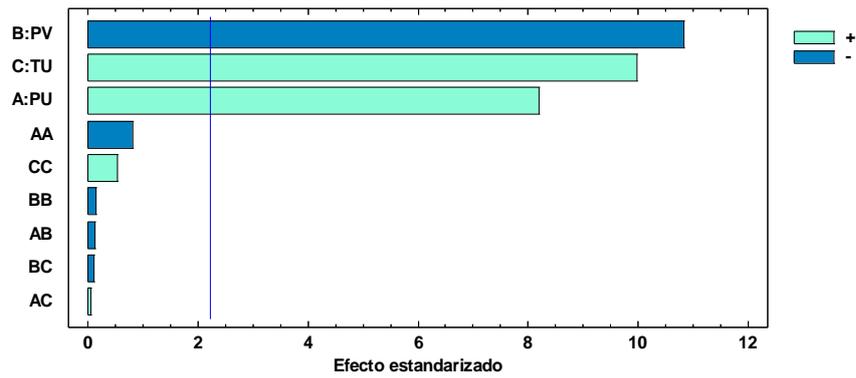
Los efectos que ejercen las variables en estudio sobre la variación del color ( $\Delta C$ ), se muestran en la figura 15, determinándose que el factor  $X_3$  (Tiempo de ultrasonido) afecta en un mayor grado a la variación del color ( $\Delta C$ ), seguido por el factores  $X_1$ (Potencia de ultrasonido). El factor  $X_2$  (Presión de vacío pulsante) es la variable que cuando su valor se incrementa su efecto minimiza la variación del color ( $\Delta C$ ), conservándolo hasta cierto grado en comparación con una muestra fresca de aguaymanto.



**Figura 15.** Efecto de los factores sobre la variación del color ( $\Delta C$ ) en el aguaymanto osmodeshidratado.

*Fuente:* Elaboración propia

En la figura 16 se aprecia el gráfico de Pareto estandarizado, donde la variable tiempo de ultrasonido (TU) y la variable potencia de ultrasonido (PU) tiene un efecto positivo para la variación del color ( $\Delta C$ ), es decir contribuyen al incremento de la variación el color. La variable presión de vacío pulsante (PV) tiene un efecto negativo, es decir contribuye a minimizar el incremento de la variación del color ( $\Delta C$ ), lo cual es favorable para el estudio.



**Figura 16.** Gráfico de Pareto estandarizado para la variación del color ( $\Delta C$ ) en el aguaymanto osmodeshidratado.

*Fuente:* Elaboración propia

Del gráfico de superficie de respuesta (Figura 15) se obtiene los coeficientes de regresión para la variación del color, los cuales se detallan en la tabla 16.

**Tabla 16**

*Coficiente de regresión para la  $\Delta C$*

<i>Coficiente</i>	<i>Estimado</i>
Constante	0,0870
A:PU	0,1121
B:PV	-0,0043
C:TU	0,0057
AA	-0,0010
AB	-0,00002
AC	0,00004
BB	0,00001
BC	-0,00002
CC	0,0008

*Fuente:* Elaboración propia

A partir de la figura 15 y de la tabla 16 se obtuvo la ecuación polinomial codificado de superficie de respuesta del modelo ajustado, siendo el siguiente:

$$\Delta C = 0,0870 + 0,1121.PU - 0,0043.PV + 0,0057.TU - 0,0010.PU^2 - 0,00002.PU.PV + 0,00004PU.TU - 0,00001 PV^2 - 0,00002PV.TU + 0,0008 TU^2$$

De acuerdo a la metodología de superficie de respuesta, para encontrar los niveles óptimos de los tres factores o variables que maximicen los valores de variación de color en el aguaymanto osmodeshidratado, se procedió a derivar el modelo polinomial determinado, en función a cada uno de las variables o factores (PU, PV y TU), obteniendo un sistema de ecuaciones, las cuales fueron llevadas de valores codificados a valores reales. Los valores óptimos encontrados que maximizan la variación del color se muestran en la tabla 17.

**Tabla 17**

*Valores óptimos que maximizan la variación del color ( $\Delta C$ )*

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
PU (Potencia de ultrasonido)	30,0	50,0	49,93
PV (Presión de vacío)	50,0	150,0	50,00
TU (Tiempo de ultrasonido)	10,0	25,9	25,90

*Fuente:* Elaboración propia

Los resultados óptimos de acuerdo a la tabla 17 para el factor X<sub>1</sub> (PU) 49,93 watts, para el factor X<sub>2</sub> (PV) 50 mmHg y para el factor X<sub>3</sub> (TU) el valor optimo fue de 25,90 minutos; con estos valores óptimos se obtienen una variación estimada de Y = 3,69.

## b. Retención del ácido ascórbico

Los resultados del porcentaje de retención del ácido ascórbico (%RAC) en el aguaymanto osmodeshidratado, según los tratamientos ajustados a la superficie de respuesta de segundo grado inherente al DCCR, se muestran en la tabla 18.

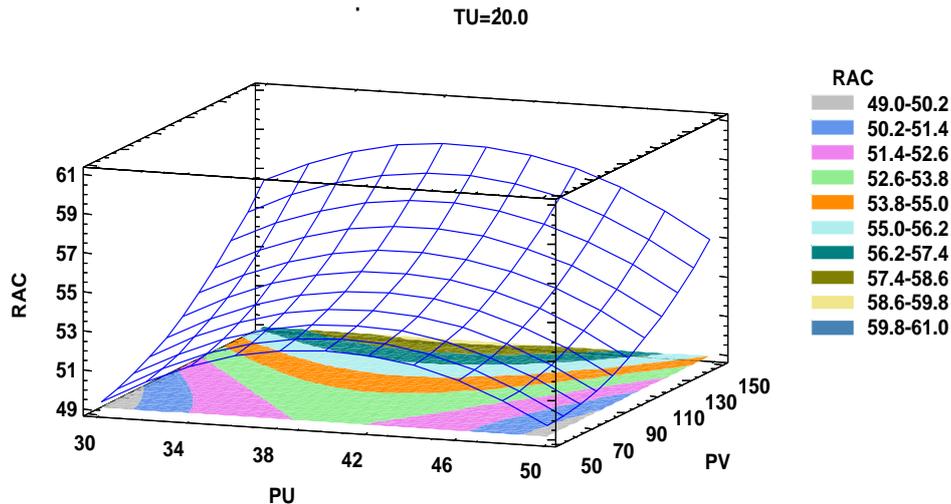
**Tabla 18**

*% de retención del ácido ascórbico para las combinaciones de Potencia de ultrasonido (PU), Presión de Vacío (PV) y Tiempo de ultrasonido (TU) según el DCCR*

Trat.	CÓDIGO			SIN CÓDIGO			%RAC
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	PU	PV	TU	
1	0	-1,68	0	40,0	100,0	10,00	59,97
2	1	1	-1	45,9	70,3	25,95	49,60
3	-1	1	1	34,1	129,7	25,95	52,97
4	1	-1	1	45,9	129,7	14,05	58,12
5	0	0	-1,68	40,0	50,0	20,00	52,97
6	0	0	1,68	40,0	150,0	20,00	59,12
7	-1	-1	-1	34,1	70,3	14,05	54,47
8	1	1	1	45,9	129,7	25,95	53,11
9	-1,68	0	0	30,0	100,0	20,00	51,97
10	1	-1	-1	45,9	70,3	14,05	54,61
11	-1	-1	1	34,1	129,7	25,95	52,97
12	-1	1	-1	34,1	70,3	25,95	49,60
13	1,68	0	0	50,0	100,0	10,00	55,97
14	0	1,68	0	40,0	100,0	10,00	60,12
15	0	0	0	40,0	100,0	10,00	59,97
16	0	0	0	40,0	100,0	10,00	60,12
17	0	0	0	40,0	100,0	10,00	59,97
18	0	0	0	40,0	100,0	10,00	60,12
19	0	0	0	40,0	100,0	10,00	59,97
20	0	0	0	40,0	100,0	10,00	60,12

*Fuente:* Elaboración propia

Los resultados de la tabla 18 permitieron obtener una ecuación polinomial de segundo grado correspondiente a los tres factores de estudio: Potencia de ultrasonido (PU), Presión de vacío pulsante (PV) y tiempo de ultrasonido (TU). El efecto de las variables en estudio (PU, PV, TU) sobre la variable respuesta (Y=Retención de ácido ascórbico), se puede observar en la figura 17



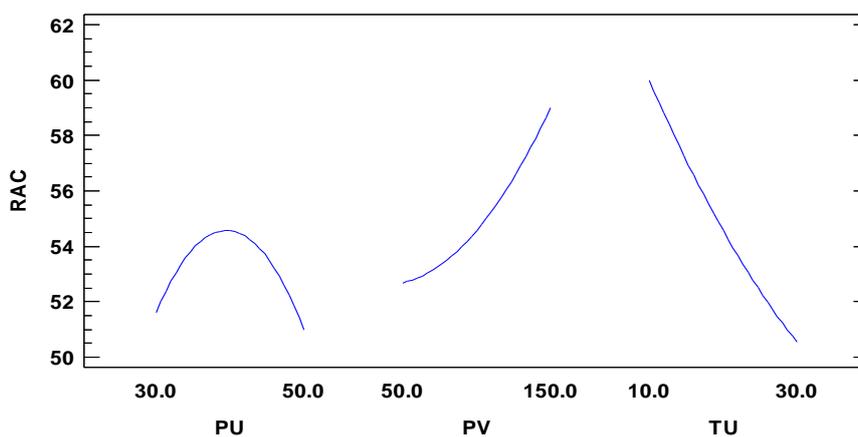
**Figura 17.** Gráfico de superficie de respuesta para la retención de ácido ascórbico (%RAC) en aguaymanto osmodeshidratado.

*Fuente:* Elaboración propia

En la figura 17 se aprecia que a medida que los valores de la presión de vacío se incrementan, este mejora el % de retención del ácido ascórbico (%RAC). Este comportamiento se cumple parcialmente para el caso de la variable Potencia de ultrasonido (PU), el cual cuando utiliza valores mínimos y máximos este genera menor % de retención del ácido ascórbico, pero a medida que los valores de la variable PU se incrementan hasta alcanzar valores intermedios, este tiende a incrementar el % de retención del ácido ascórbico. Este comportamiento se da en los tratamientos con ultrasonido en frutas debido al fenómeno de cavitación, el cual mediante la implosión de las burbujas de

gas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) internas de la fruta son liberadas, reduciéndose el fenómeno de pérdida del ácido ascórbico.

En la figura 18, se observa los efectos que ejercen los factores analizados sobre el % de retención de ácido ascórbico en el aguaymanto osmodeshidratado, determinándose que el factor  $X_2$ (Presión de vacío pulsante) y  $X_3$ (Tiempo de ultrasonido) afecta en forma acentuada en una mayor retención del ácido ascórbico, siendo este factor el que más efecto género en la retención de ácido ascórbico cuando menor es el tiempo, mientras que el factor  $X_1$ (Potencia de vacío) su influencia es mínima.

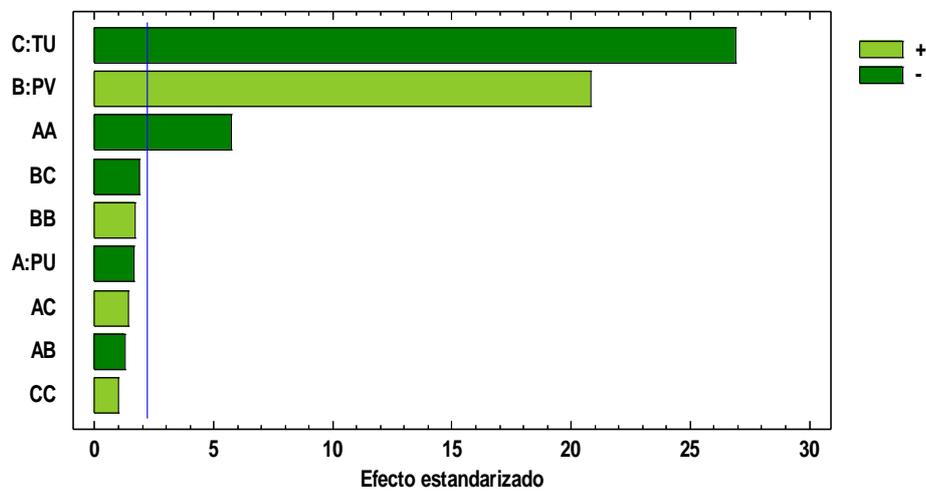


**Figura 18.** Efecto de los factores sobre el % de retención de ácido ascórbico (%RAC) en el aguaymanto osmodeshidratado.

*Fuente:* Elaboración propia

La significación de las variables y su interacción en el % de retención de ácido ascórbico (%RAC) en el aguaymanto osmodeshidratado se pueden apreciar en la figura 19; carta estandarizada de Pareto, donde se observa que los valores que sobrepasan la línea estandarizada son los factores significativos en la variable respuesta y en esta figura se muestra que el tiempo de ultrasonido (TU) es el factor con mayor efecto negativo sobre el % de retención de ácido

ascórbico (%RAC). Para el caso del factor Presión de vacío pulsante (PV) aplicado como pulso de vacío tuvo un efecto positivo sobre la variable respuesta, es decir contribuyó a incrementar los % de retención de ácido ascórbico, debido a que los pulsos de vacío al restaurar la presión atmosférica produce la succión de la solución osmótica el cual protege la pérdida del ácido ascórbico.



**Figura 19.** Gráfico de Pareto estandarizado para el % de retención de ácido ascórbico (%RAC) en el aguaymanto osmodeshidratado.

*Fuente:* Elaboración propia

Los coeficientes de regresión del porcentaje de retención de ácido ascórbico (%RAC) necesarios para obtener la ecuación polinómica de optimización se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19***Coefficiente de regresión para el %RAC*

<i>Coefficiente</i>	<i>Estimado</i>
Constante	12,5611
A:PU	2,5622
B:PV	0,0245
C:TU	-0,8263
AA	-0,0326
AB	-0,0009
AC	0,0052
BB	0,0005
BC	-0,0013
CC	0,0070

*Fuente:* Elaboración propia

Mediante el gráfico de superficie de respuesta de la figura 18 y a partir de los coeficientes de regresión significativos estimados del modelo de superficie de respuesta codificado desarrollado para ( $p \leq 0,05$ ) (Tabla 19), para las variables PU, PV y TU, se obtuvo la siguiente ecuación polinómica del modelo ajustado para el % de retención de ácido ascórbico (%RAC).

$$\begin{aligned} \%RAC = & 12.5609 + 2.5622.PU + 0.0244.PV - 0.8263.TU - 0.0325.PU^2 \\ & - 0.0009PU.PV + 0.0052PU.TU + 0.0005PV^2 - 0.0013PV.TU \\ & + 0.0070TU^2 \end{aligned}$$

Para encontrar los niveles óptimos de los tres factores que maximicen el % de retención de ácido ascórbico en el aguaymanto osmodeshidratado, se procedió a derivar el modelo polinomial, en función a cada uno de las variables

(factores), obteniendo un sistema de ecuaciones, las cuales fueron llevadas de valores codificados a valores reales. Los valores óptimos que maximizan el % de retención de ácido ascórbico ( $Y = 65,22\%$ ), se muestra en la tabla 20.

**Tabla 20**

*Valores óptimos para la maximización del % de retención de ácido ascórbico (%RAC) en el aguaymanto osmodeshidratado*

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
PU (Potencia de ultrasonido)	30,0	50,0	37,49
PV (Presión de vacío)	50,0	150,0	150,00
TU (Tiempo de ultrasonido)	10,0	25,9	10,00

*Fuente:* Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 20, los resultados óptimos alcanzados en el % de retención de ácido ascórbico (%RAC) para el factor  $X_1$  (PU) fue de 37,49 watts, para el factor  $X_2$  (PV) fue 150 mmHg y para el factor  $X_3$  (TU) el valor óptimo fue de 10 minutos; con estos valores óptimos se obtienen una pérdida de ácido ascórbico estimada de  $Y = 65,22\%$ .

### **c. Retención de carotenos totales - $\beta$ Carotenos**

La Tabla 21 resume la distribución del porcentaje de retención de los carotenos totales (%RCA) en el aguaymanto osmodeshidratado a partir del modelo matemático según los tratamientos ajustados a la superficie de respuesta de segundo grado, estos resultados muestran los efectos de los tres variables.

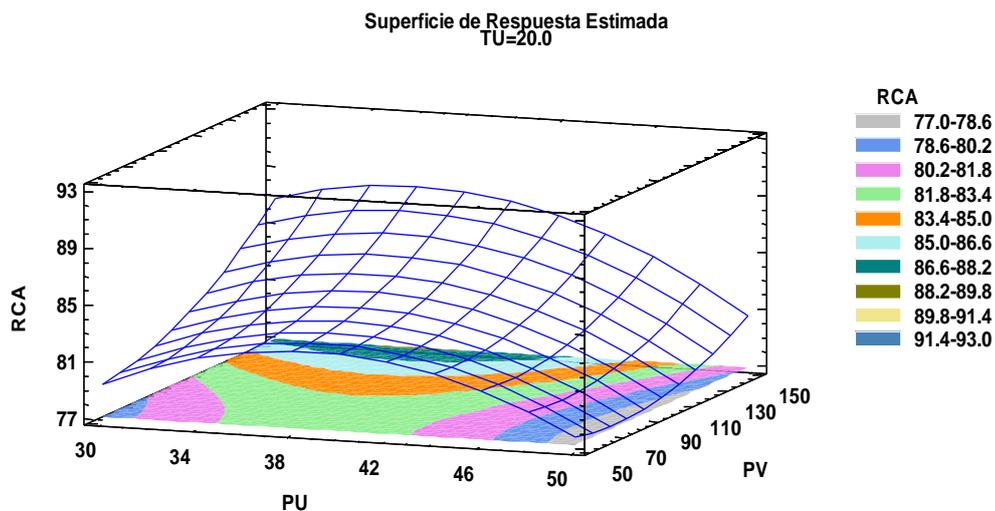
**Tabla 21**

*% de Retención de carotenos totales para las combinaciones de Potencia de ultrasonido (PU), Presión de vacío pulsante (PV) y Tiempo de ultrasonido (TU) según el DCCR*

Trat.	Con código			Sin código			%RCA
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	0	-1,68	0	40,0	100,0	10,0	92,31
2	1	1	-1	45,9	70,3	25,9	79,24
3	-1	1	1	34,1	129,7	25,9	83,46
4	1	-1	1	45,9	129,7	14,1	86,21
5	0	0	-1,68	40,0	50,0	20,0	84,09
6	0	0	1,68	40,0	150,0	20,0	87,48
7	-1	-1	-1	34,1	70,3	14,1	84,09
8	1	1	1	45,9	129,7	25,9	82,40
9	-1,68	0	0	30,0	100,0	20,0	82,83
10	1	-1	-1	45,9	70,3	14,1	83,04
11	-1	-1	1	34,1	129,7	25,9	83,46
12	-1	1	-1	34,1	70,3	25,9	80,50
13	1,68	0	0	50,0	100,0	10,0	85,36
14	0	1,68	0	40,0	100,0	10,0	92,55
15	0	0	0	40,0	100,0	10,0	92,31
16	0	0	0	40,0	100,0	10,0	92,55
17	0	0	0	40,0	100,0	10,0	92,31
18	0	0	0	40,0	100,0	10,0	92,55
19	0	0	0	40,0	100,0	10,0	92,31
20	0	0	0	40,0	100,0	10,0	92,55

*Fuente:* Elaboración propia

Con los resultados obtenidos del % de retención de carotenos totales (mg de  $\beta$  carotenos/100 g) según los tratamientos en estudio de la tabla 21, permitió obtener la ecuación polinomial de segundo grado ajustado cuyo grafico de superficie de respuesta se puede observar en la figura 20.



**Figura 20.** Gráfico de superficie de respuesta para la retención de carotenos totales (%RCA) en aguaymanto osmodeshidratado.

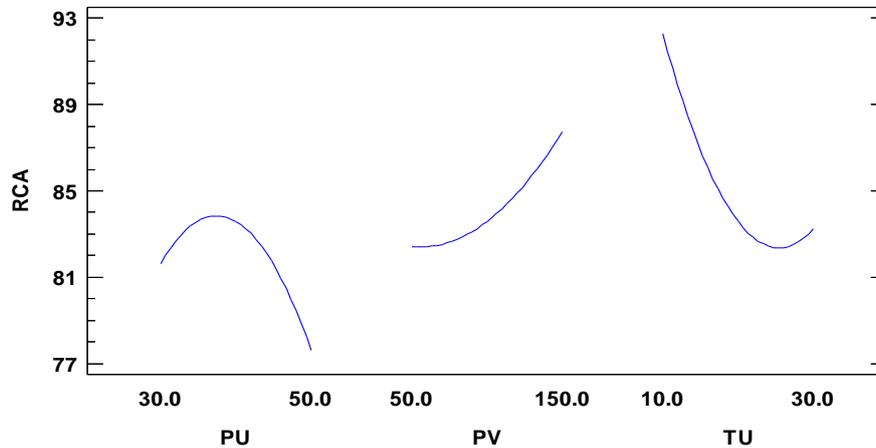
*Fuente:* Elaboración propia

En la figura 20 se observa el gráfico de superficie de respuesta en función de las variables Potencia de ultrasonido (PU), Presión de vacío pulsante (PV) y Tiempo de ultrasonido (TU), de acuerdo al comportamiento del gráfico utilizando valores máximos y mínimos de las variables es estudio se puede alcanzar % de retenciones de carotenos totales del orden de 92,55% en contraste con las pérdidas que alcanzaron el orden del 7,45%.

Las variables potencia de ultrasonido (PU) y presión de vacío (PV), a medida que se incrementan su valor genera mayores porcentajes de retención de carotenos (%RCA), esto unido a otros factores como la pérdida de agua del aguaymanto a través de la osmodeshidratación y al efecto protector de la solución azucarada mejoran los porcentajes de retención de carotenos (%RCA).

En la figuras 21, se observa los efectos que ejercen los factores analizados sobre el % de retención de carotenos totales (%RCA), determinándose que el

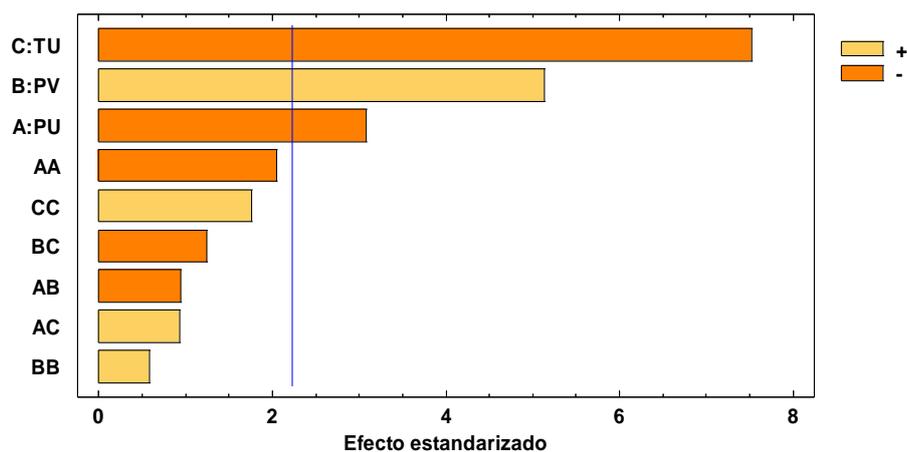
factor  $X_3$  (Tiempo de ultrasonido) afecta en forma muy acentuada, siendo los factores  $X_1$ (Potencia de ultrasonido) y  $X_2$  (Presión de vacío pulsante) los que menos efecto genera en la retención de carotenos totales.



**Figura 21.** Efecto de los factores sobre el % de retención de carotenos totales (%RCA) en el aguaymanto osmodeshidratado.

*Fuente:* Elaboración propia

En el gráfico de Pareto estandarizado de la figura 22, se contrasta que la variable tiempo de ultrasonido (TU) tiene el mayor efecto negativo para el % de retención de carotenos totales, la variable potencia de ultrasonido (PU) tiene un efecto menor y la variable presión de vacío pulsante (PV) tiene un efecto positivo, es decir coadyuva en incrementar los % de retención de carotenos totales.



**Figura 22.** Gráfico de Pareto estandarizado para el % de retención de carotenos totales.

*Fuente:* Elaboración propia

Para determinar con los datos experimentales la ecuación del modelo ajustado, se empleó los coeficientes de regresión del % de retención de carotenos (%RCA), los cuales se muestran en la tabla 22.

**Tabla 22**

*Coefficiente de regresión para el %RCA*

<i>Coefficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	48,9296
A:PU	2,9580
B:PV	0,0843
C:TU	-2,2831
AA	-0,0395
AB	-0,0023
AC	0,0115
BB	0,0006
BC	-0,0030
CC	0,0418

*Fuente:* Elaboración propia

La ecuación del modelo ajustado para las variables en estudio que maximiza el % de retención de carotenos totales ( $Y = 99,05\%$ ), es la siguiente:

$$\begin{aligned} \%RCA = & 48.9296 + 2.9580.PU + 0.0843.PV - 2.2831.TU - 0.0395.PU^2 \\ & - 0.0023PU.PV + 0.0115PU.TU + 0.0006PV^2 - 0.0030PV.TU \\ & + 0.0417TU^2 \end{aligned}$$

Esta ecuación determina con exactitud la combinación de variables para poder alcanzar una respuesta optimizada, para ello se procedió a derivar el modelo polinomial, en función a cada uno de las variables (factores), a partir de ella se alcanzó una respuesta optimizada del % de retención de carotenos totales (%RCA), el cual se muestra en la tabla 23.

**Tabla 23**

*Valores óptimos para la maximización del % de retención de carotenos totales en el aguaymanto osmodeshidratado*

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
PU (Potencia de ultrasonido)	30,0	50,0	34,79
PV (Presión de vacío)	50,0	150,0	150,00
TU (Tiempo de ultrasonido)	10,0	25,9	10,03

*Fuente:* Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 23, se alcanzaron los resultados óptimos para el factor  $X_1$  (PU) 37,79 watts, para el factor  $X_2$  (PV) 150,00 mmHg y para el factor  $X_3$

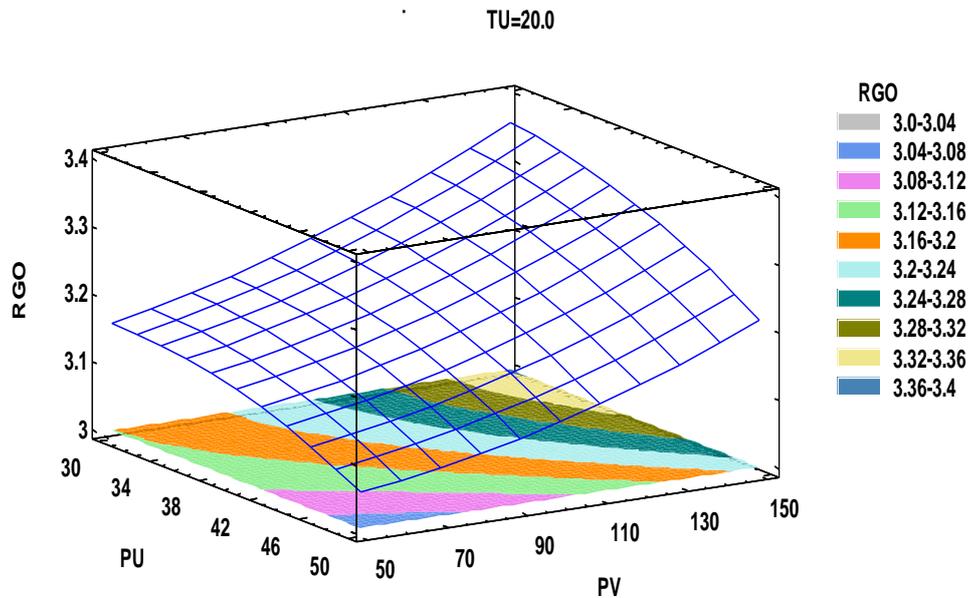
(TU) el valor optimo fue de 10,03 minutos; con estos valores óptimos se obtienen un porcentaje de retención de carotenos totales estimado de  $Y = 99,05\%$ .

#### **d. Respuesta global optimizada**

La metodología de superficie de respuesta es una herramienta muy efectiva para la optimización de los parámetros de proceso. Los modelos óptimos experimentales obtenidos por efecto de las variables en estudio sobre la variación del color ( $\Delta C$ ), % de retención de ácido ascórbico (%RAC) y el % de retención de carotenos totales (%RCA) permitió establecer la nueva variable dependiente de respuesta global optimizada (RGO), el cual se basó en los modelos desarrollados por (Silva y Borsato, 1985 citado por Larrea, 2013). Los resultados obtenidos se muestran en el anexo 10.

Los diagramas de contorno para todas las respuestas se superpusieron, y las regiones que mejor satisfacían todas las restricciones se seleccionaron como condiciones óptimas. En la figura 23 se puede observar el diagrama de superficie de respuesta correspondiente a la Respuesta Global Optimizada (RGO), el cual se graficó con la finalidad de identificar el área experimental que permitiera minimizar la variación de color ( $\Delta C$ ) y de maximizar el porcentaje de retención de ácido ascórbico (%RAC), porcentaje de retención de los carotenos totales (%RCA) en el aguaymanto osmodeshidratado con métodos combinados de potencia de ultrasonido (PU), Presión de vacío pulsante (PV) y tiempo de ultrasonido (TU). De acuerdo al modelo matemático completo, se puede observar que el máximo valor de la respuesta global

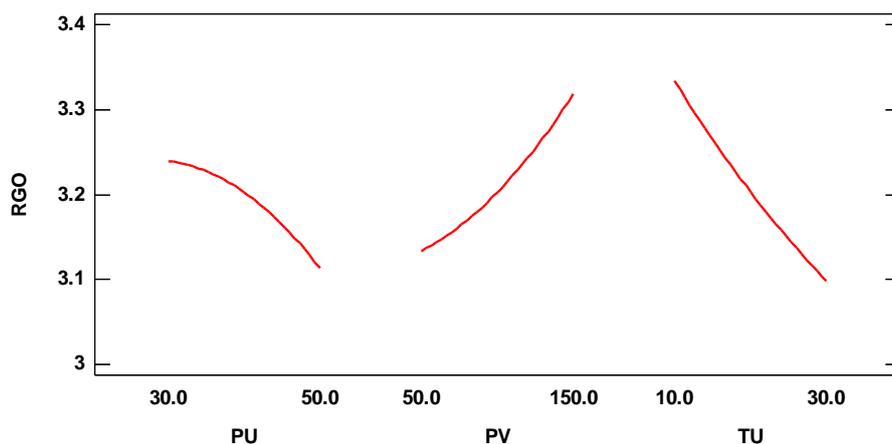
optimizada (RGO) fue de 3,53; este valor tiende a incrementarse a medida que la presión de vacío pulsante (PV) crece y la potencia de ultrasonido (PU) y tiempo de ultrasonido (TU) decrecen.



**Figura 23.** Gráfico de superficie de respuesta para la respuesta global optimizada (RGO) en aguaymanto osmodeshidratado.

*Fuente:* Elaboración propia

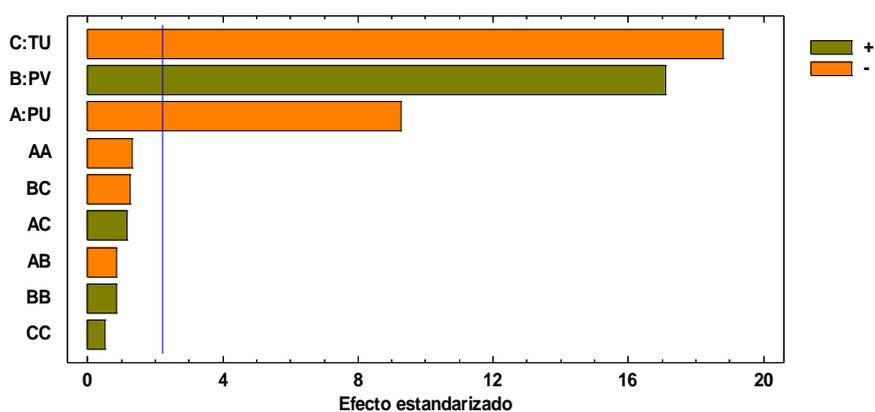
El efecto de los factores sobre la respuesta global optimizada (RGO) se aprecia en la figura 24, en ella los factores  $X_1$ (PU) y  $X_3$ (TU) tienen efectos negativos al incrementarse su valor, influyendo en la reducción del valor de RGO. El factor  $X_2$ (Presión de vacío), muestra un efecto positivo, contribuyendo a incrementar los valores de la respuesta global optimizada (RGO).



**Figura 24.** Efecto de los factores sobre la respuesta global optimizada (RGO) en el aguaymanto osmodeshidratado.

*Fuente:* Elaboración propia

En la figura 25 se presenta la optimización individual de cada factor, donde se expresan las interacciones que presentaban diferencias significativas (Diagrama de Pareto); ahí se observa los efectos que ejercen los factores analizados sobre la respuesta global optimizada (RGO), determinándose que el factor  $X_3$ (Presión de vacío) al incrementarse su valor afecta en forma muy acentuada en el valor de la respuesta global optimizada (RGO).



**Figura 25.** Gráfico de Pareto estandarizado para la respuesta global optimizada (RGO).

*Fuente:* Elaboración propia

Para describir la ecuación del modelo ajustado que describa el comportamiento de la respuesta global optimizada (RGO), se empleó los coeficientes de regresión los cuales se muestran en la tabla 24.

**Tabla 24**  
*Coefficiente de regresión para la RGO*

<b>Coefficiente</b>	<b>Estimado</b>
Constante	3,19939
A:PU	0,01385
B:PV	0,00150
C:TU	-0,01979
AA	-0,00026
AB	-0,00002
AC	0,00015
BB	0,00001
BC	-0,00003
CC	0,00013

*Fuente:* Elaboración propia

La ecuación que describe el modelo ajustado se presenta a continuación, presentando un coeficiente de determinación ajustado de 98,48%.

$$RGO = 3,1994 + 0,0138.PU + 0,0015.PV - 0,0198.TU - 0,0003.PU^2 - 0,00002PU.PV + 0,0002PU.TU + 0,000009 PV^2 - 0,00003PV.TU + 0,00013 TU^2$$

El modelo propuesto fue el cuadrático que para las variables estudiadas PU (Potencia de ultrasonido), PV (Presión de vacío pulsante) y TU (Tiempo de ultrasonido), incluye un término lineal, otro cuadrático y uno correspondiente a las interacciones entre variables. Las variables con mayor coeficiente son las que influyen más significativamente sobre la respuesta global optimizada (RGO). Los coeficientes lineales resultaron mayores que los cuadráticos en

valor absoluto y la interacción (AB y BC) exhibió un coeficiente menor que el obtenido por las variables analizadas de manera aislada (término lineal y cuadrático) y la interacción (AC) resulto superior respecto del coeficiente del término cuadrático (BB y CC) e inferior que los coeficiente del término lineal (en valor absoluto).

Esta ecuación determino con exactitud la combinación de variables para poder alcanzar una respuesta optimizada, para ello se procedió a derivar el modelo polinomial, en función a cada uno de las variables (factores), a partir de ella se alcanzó una respuesta global optimizada (RGO), el cual se muestra en la tabla 25.

**Tabla 25**

*Valores óptimos para la maximización de la respuesta global optimizada (RGO), en el aguaymanto osmodeshidratado*

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
PU (Potencia de ultrasonido)	30,0	50,0	30,00
PV (Presión de vacío)	50,0	150,0	149,83
TU (Tiempo de ultrasonido)	10,0	25,9	10,00

*Fuente:* Elaboración propia

Al adoptar la técnica de respuesta global optimizada (RGO) basado en los modelos desarrollados por (Silva y Borsato, 1985 citado por Larrea, 2013), se logró la ecuación de la superficie, a partir de ella se alcanzó un valor óptimo para la maximización de la respuesta global optimizada (RGO) de 3,525.

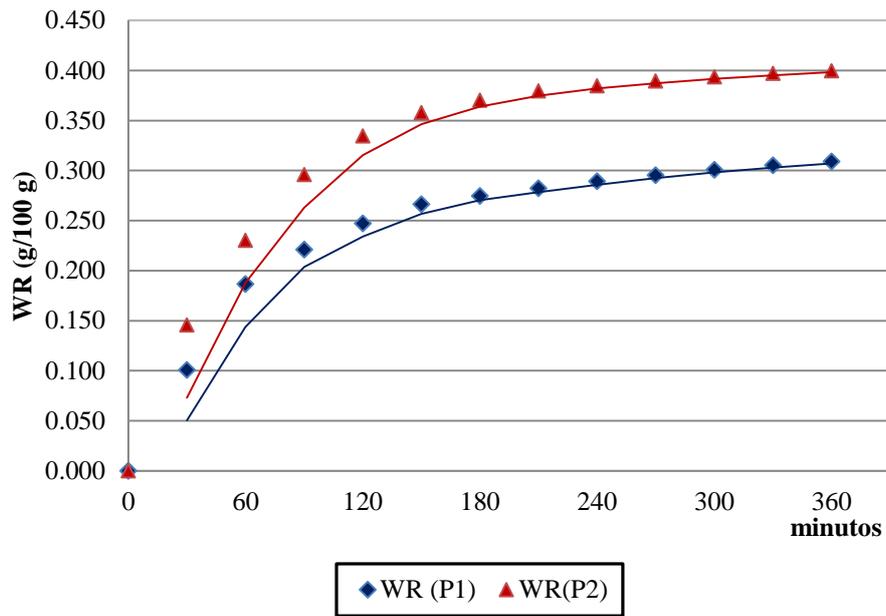
Los factores que maximizan la respuesta global optimizada (RGO) están dados

por 30 watts de potencia de ultrasonido (PU), 149,83 mmHg de presión de vacío pulsante (PV) y 10 minutos como tiempo de ultrasonido (TU), representando las condiciones óptimas de operación para el osmodeshidratado de aguaymanto con métodos combinados con las características de calidad esperadas.

#### **4.2.3. Análisis de la cinética de la deshidratación osmótica**

En las figuras 27, 28 y 29 se presentan la cinética de pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL) y ganancia de sólidos (SG) del aguaymanto osmodeshidratado sin tratamiento - testigo (P1) y la tratada con ultrasonido y presión de vacío pulsante - optimizada (P2).

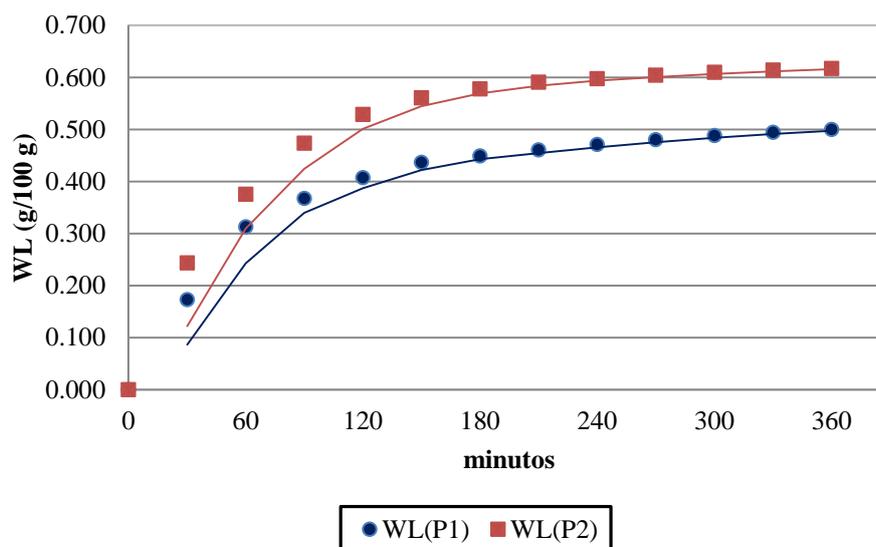
En la figura 26 se observa la pérdida de peso (WR) del aguaymanto por efecto del osmodeshidratado sin tratamiento (P1), así como por efecto del osmodeshidratado con ultrasonido y presión de vacío pulsante (P2), de acuerdo a este resultado podemos apreciar que el tratamiento (P2) presenta mayores valores de pérdida de peso (40%), se aprecia que hubo un fuerte incremento de la pérdida de peso (WR) en los primeros 120 minutos del proceso osmótico, y posteriormente se aproximaba a un pseudoequilibrio, este comportamiento es debido a la rápida pérdida de agua por efecto del ultrasonido y por la presión de vacío pulsante, siendo superior en un 10% en relación al tratamiento (P1).



**Figura 26.** Pérdida de peso (WR) del aguaymanto osmodeshidratado en solución de sacarosa 60% p/p.

*Fuente:* Elaboración propia

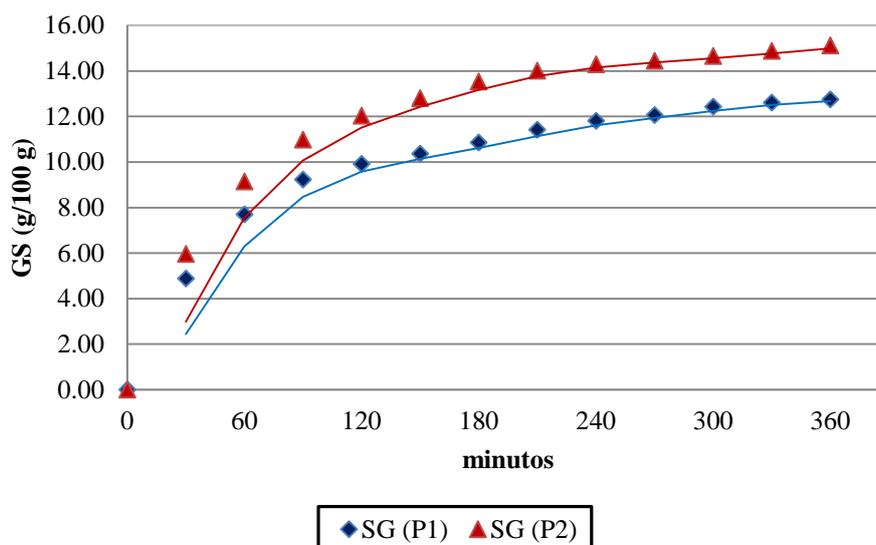
En comportamiento de la pérdida de agua (WL) de la figura 27, resultado similar a la pérdida de peso (WR). La pérdida de agua de las muestras del aguaymanto durante el proceso de osmodeshidratación se intensifica durante 90 minutos, sin embargo la muestra (P2) alcanzo un 48,70% de pérdida de agua superior en 12,90% a (P1), esto se debió a las propiedades del tejido de la muestra principalmente su porosidad, unido al fenómeno de cavitación producido por el ultrasonido que mejora la transferencia de masa y la variación de la presión generado por el vacío que promueve el flujo de agua desde el interior de la fruta.



**Figura 27.** Pérdida de agua (WL) del aguaymanto osmodeshidratado en solución de sacarosa 60% p/p.

*Fuente:* Elaboración propia

Dentro de los resultados obtenidos en la osmodeshidratación del aguaymanto, en la figura 28, se observa que el ingreso de los sólidos en los primeros 30 minutos del proceso un crecimiento considerable, incrementando la cantidad de sólidos ganados a medida que la muestra fue perdiendo agua, este comportamiento a partir de los 60 minutos disminuyó hasta llegar a mantenerse constante debido al equilibrio alcanzado entre los potenciales químicos del aguaymanto y la solución osmótica, alcanzando una relación directa entre la ganancia de sólidos y la pérdida de agua. En este proceso la muestra (P2) alcanzó un 15,00% de ganancia de sólidos, siendo superior al 12,75% alcanzado por la muestra (P1).



**Figura 28.** Ganancia de sólidos (GS) del aguaymanto osmodeshidratado en solución de sacarosa 60% p/p.

*Fuente:* Elaboración propia

#### 4.2.4. Análisis físico químico del aguaymanto osmodeshidratado

Los resultados obtenidos en el análisis físico químico del aguaymanto como fruto fresco y en estado de osmodeshidratado optimizado sometido a potencia de ultrasonido y presión de vacío pulsante se muestran en la tabla 26.

**Tabla 26**

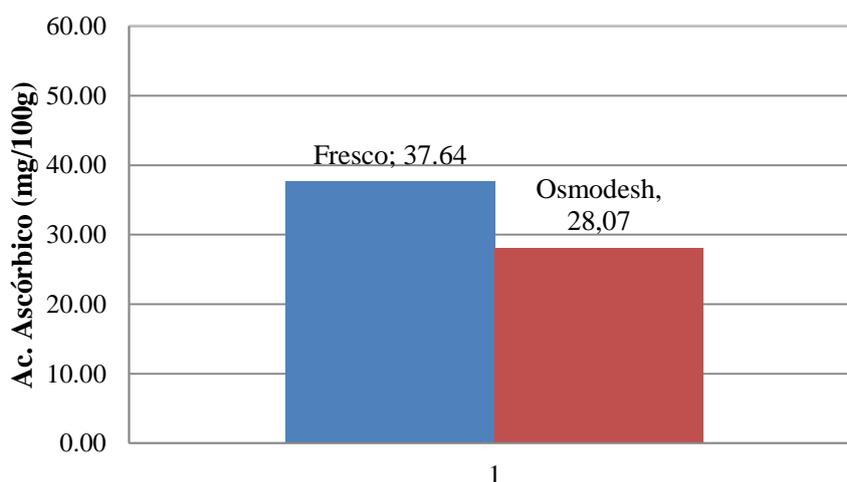
*Análisis físico químico en el aguaymanto osmodeshidratado optimizado*

Componente	Aguaymanto	
	Fresco	Osmodeshidratado
Ácido ascórbico (mg Ac.Ascorb/100 g.)	37,64	28,07
Carotenos totales (mg $\beta$ caroteno/100 g.)	2,64	2,44

*Fuente:* Elaboración propia

La disminución del valor de ácido ascórbico en el aguaymanto respecto a la fruta fresca comparada con la osmodeshidratada optimizada (PU: 30 w, PV:

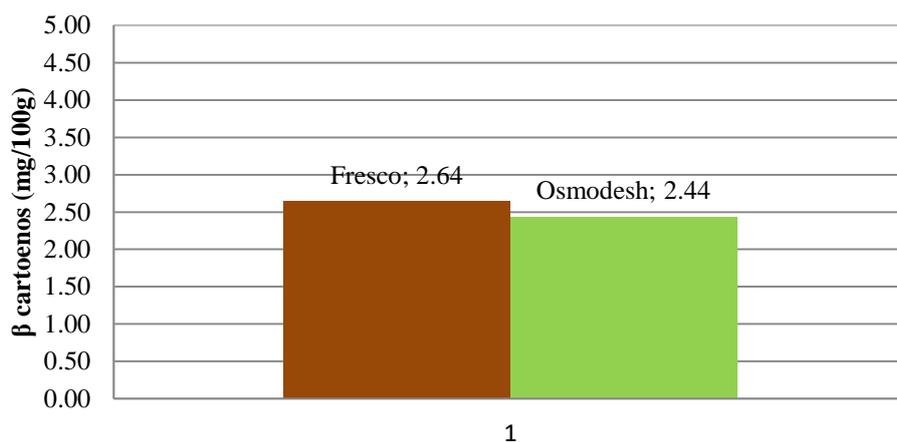
149,83 mmHg y TU: 10 minutos) se observa en la figura 29 un descenso en el contenido de ácido ascórbico, el cual varía de un contenido de 37,64 mg Ac.asc/100 g para la muestra de fruta fresca a 28,07 mg Ac.asc/100 g muestra para fruta osmodeshidratada optimizada.



**Figura 29.** Variación del contenido de ácido ascórbico del aguaymanto osmodeshidratado optimizado.

*Fuente:* Elaboración propia

Al comparar los contenidos de  $\beta$ -caroteno en el aguaymanto fresco (2,64 mg/100 g) y osmodeshidratado optimizada (2,44 mg/100g) al finalizar el proceso, se observó en la figura 30 un porcentaje de pérdida del  $\beta$  Caroteno de 7,82% en el aguaymanto, resultado un valor no significativo debido al efecto protector de la solución osmótica, al impregnarse en la superficie de la fruta, reduciendo el ingreso de oxígeno al tejido de la fruta, esto unido al efecto del ultrasonido y el uso de presión de vacío pulsante que acelera la transferencia de masa, de esta manera se reduce la degradación de la provitamina A ( $\beta$  caroteno) dentro de la matriz del fruto de aguaymanto por efectos de oxidativo.

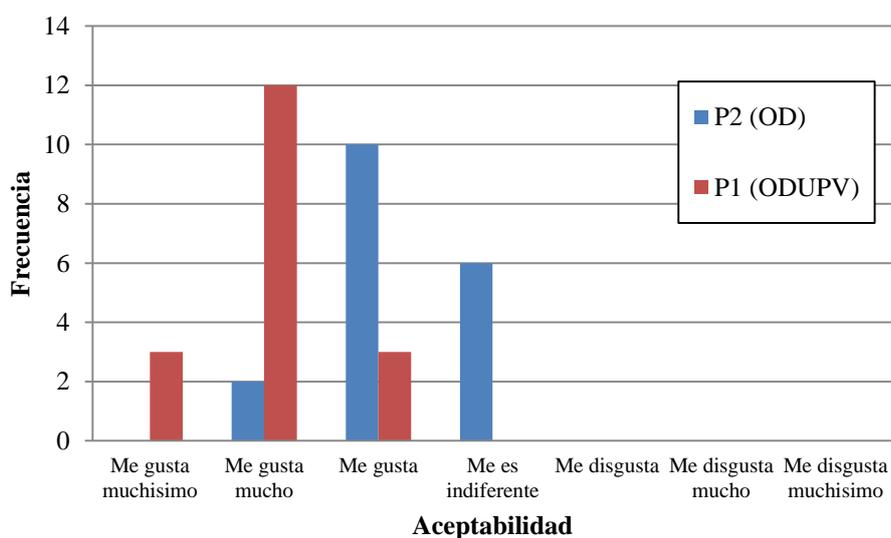


**Figura 30.** Variación del contenido de β carotenos del aguaymanto osmodeshidratado optimizado.

*Fuente:* Elaboración propia

#### 4.2.5. Evaluación sensorial

Las muestras de la deshidratación osmótica fueron sometidas a un análisis sensorial mediante un test de aceptabilidad, con 18 jueces, con el objetivo de conocer la posible reacción de los consumidores ante este nuevo producto y poder verificar la aceptación, cuyos resultados se observan en la figura 31.



**Figura 31.** Resultados del test de aceptabilidad para el aguaymanto osmodeshidratado.

*Fuente:* Elaboración propia

En general, las muestras en las dos condiciones analizadas (Osmodeshidratadas con ultrasonido y presión de vacío pulsante (P1) y Osmodeshidratadas (P2) y fueron bien aceptadas por los evaluadores con notas medias superiores a 5,39 en el atributo de aceptabilidad. El aguaymanto tratado con deshidratación osmótica con ultrasonido y pulso de vacío (P1=6,0) fueron las que presentaron mayores valores en el atributo analizado, debido a que el aguaymanto utilizado era de grado de madurez igual a 5, es decir, aún no totalmente madura y un poco ácida, las muestras procesadas fueron mejor aceptadas, ya que la deshidratación osmótica causó un ablandamiento del producto y un aumento del contenido de azúcar, lo cual mejoro su aceptabilidad.

## **CAPÍTULO V: DISCUSION DERESULTADOS**

### **5.1. Discusión**

#### **5.1.1. Caracterización de los frutos de aguaymanto**

##### **a. Análisis proximal**

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 12, podemos afirmar que el contenido de humedad (81,98 g), proteína (0,74 g) y grasa (0,40 g) se encuentran por debajo al reportado por Fisher, (2000) citado por (Isla, 2016). Para el caso del contenido de ceniza (0,72 g), fibra (0,63 g) y carbohidratos (14,99 g) estos valores son superiores a los reportados por Fisher, (2000) citado por (Isla, 2016). Sin embargo todos los valores reportados se encuentran dentro del rango reportado por Erkaya et al, (2012) citado por (Aparcana & Villarreal, 2014)

Estas diferencias en la composición química es debido quizás por los distintos eco tipos del fruto que existen en toda la región de los andes. (Encina, 2006).

##### **b. Análisis físico**

En el estudio se evidenció que el peso promedio de 6,41 g alcanzado, resultado superior al 4,61 g mostrado por (Mendoza, Dejmek, & Aguilera, 2006) y al 2,62 g reportado por (Hernández, 2013). Estos resultados prueban la variación de la calidad de las bayas de aguaymanto, cuyos factores de influencia son las labores culturales, fertilización, condiciones edafoclimáticas y otros realizadas, lo cual permite alcanzar mayor peso, mayor diámetro, coloración o sabor más intenso o viceversa. (Bray, Bailey, & Weretilnyk, 2000).

Este resultado se complementa con lo que busca el fruticultor, quien a través de la manipulación de los mecanismos busca aumentar la productividad de la planta en cosecha, garantizando su producción y calidad satisfactoria.

### **c. Análisis físico químico**

De acuerdo al resultado del índice de madurez alcanzado por las bayas de aguaymanto en estudio (7,74), podemos indicar que está dentro del rango de 7 - 8 de Índice de madurez recomendado por la Norma Técnica Colombiana (NTC 4580). Aunque las normas técnicas no señalan índices de madurez mínimos de consumo si sirven de referencia para conocer las preferencias de los consumidores. El Codex Stan 226-2001 recomienda que el capulí o aguaymanto presente como mínimo un estado de madurez de 3 (NTC 4580) para su exportación.

Sin embargo el parámetro físico más utilizado para evaluar la madurez es el color de la fruta dado que es un método sencillo, rápido y económico, pero no muy confiable, por lo cual debe combinarse con algún otro parámetro para tener mayor confiabilidad sobre el estado de madurez de la fruta. (CYTED, 2014).

Los valores de pH (3,52) y contenido de ácido ascórbico (43,78 mg ac.asc./100 g) son superiores a los reportados por (Borda & Caicedo, 2013; Málaga, Guevara, & Araujo, 2013; Isla, 2016). Debido a este resultado el aguaymanto constituye una excelente fuente de ácido ascórbico, toda vez que este se requiere para el crecimiento y reparación de tejidos en todas las partes del cuerpo, es necesario para formar el colágeno, el tejido cicatricial, los tendones,

los ligamentos y los vasos sanguíneos, además es un antioxidante y como tal es un nutriente que bloquea parte del daño causado por los radicales libres. (Encina, 2006).

El contenido de carotenos totales (2,64 mg de  $\beta$  caroteno/100 g), resulto similar a los reportados por (Restrepo, 2008), pero superior a los valores (1,77 mg de  $\beta$  caroteno/100 g) reportados por (Encina, 2006), e inferior a los valores (2,94 mg de  $\beta$  caroteno/100 g) obtenidos por (Málaga, et al., 2013).

Esta variación en el contenido de los componentes es debido posiblemente a las distintas condiciones de cultivo, al estado de madurez de la fruta, labores culturales y otros (CYTED, 2014).

### **5.1.2. Optimización de variable respuesta por metodología de superficie de respuesta**

#### **a. Discusión variación del color**

Uno de los principales parámetros de nuestro estudio fue la variación del color ( $\Delta C$ ) en el osmodeshidratado de aguaymanto por efecto de las variables en estudio, siendo el valor de variación del color de un grado moderado ( $\Delta C=3,69$ ); sin embargo en procesos de osmodeshidratación de frutas se pueden generar reacciones catalizadas por enzimas oxidasas como la polifenoloxidasas y, en consecuencia, da lugar a la formación de pigmentos de color café, debido principalmente a la reacción de Maillard. Estas variaciones del color son dependientes de la temperatura, disponibilidad de oxígeno, pH y actividad del producto (Fennema, 2010).

De acuerdo a los resultados podemos indicar que el parámetro

L\*(Luminosidad) decae en promedio (-1.79), a\*(Cromaticidad-roja) sube en promedio (+2.02) y b\*(Cromaticidad-amarilla) decae en promedio (-0.43), estos valores nos indican que al decaer la cromaticidad amarilla se formó pequeñas cantidades de pigmentos color café en el aguaymanto osmodeshidratado por presencia de enzimas como la polifenoloxidasas. Generalmente el ultrasonido al generar el fenómeno de cavitación dilata los canales hidrofílicos, incrementando la salida de agua de las células vegetales, por consiguiente compuestos nutritivos y enzimas, esto genera reacciones enzimáticas con cambios de color por la formación de pequeñas concentraciones de compuestos marrones; sin embargo el ultrasonido después de unos microsegundos forma especies muy reactivas tales como los radicales hidroxilos ( $\bullet\text{OH}$ ), hidroxiperoxilo ( $\bullet\text{OOH}$ ) y el peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), los cuales cumplen su labor de inhibir la actividad enzimática deteniendo el cambio de color (Ashokkumar & Mason, 2007; Arora, et al., 2004; Herrero & Romero de Avila, 2006).

De acuerdo al análisis de los resultados podemos interpretar que la variación del color en el aguaymanto osmodeshidratado es pequeña por que se empleó una solución acuosa (Solución azucarada) que no tuvo un efecto significativo en la pérdida de los carotenos, estos resultados concuerdan con los estudios realizados por Pereira et al, (2004), en guayabas cuyas características de color de la fruta fresca no fueron alteradas por la deshidratación osmótica realizada con una solución de sacarosa a 60°Brix y a 40°C.

Rodrigues, Cunha, & Hubinger, (2003), trabajando con pedazos de papaya, también verificaron el descenso de la luminosidad con el proceso osmótico y el

aumento del croma, mostrando la intensificación del color. Las autoras explican esa intensificación del color como resultado de la concentración y de la ganancia de sólidos que la fruta sufre en el proceso osmótico.

#### **b. Discusión ácido ascórbico**

En relación al contenido de ácido ascórbico, de acuerdo a la tabla 18, el valor máximo del % de retención de ácido ascórbico fue ( $Y = 65,22\%$ ), este valor está por encima del 36,96% de retención de ácido ascórbico obtenido en aguaymanto osmodeshidratado en solución osmótica de 80°Brix, en un tiempo de 48 horas de osmodeshidratado sin pre tratamiento (Borda & Caicedo, 2013). Al comparar el % de retención de ácido ascórbico (65,22% RAC) del aguaymanto osmodeshidratado con otras investigaciones, el porcentaje de retención de ácido ascórbico es mayor al 36,94% ( $34,00 \pm 1,00$  mg de ácido ascórbico/100 g) en aguaymanto osmodeshidratado reportado por (Borda & Caicedo, 2013), o al 56,35% ( $19,26 \pm 0,26$  mg de ácido ascórbico/100 g) en zumo pasteurizado reportado por (Hernández, 2013), o al 50,54% de retención ( $14,43 \pm 0,02$  mg de ácido ascórbico/100 g) en conserva de aguaymanto publicado por (Encina, 2006) o al 52,85% de retención en puré de aguaymanto reportado por (Málaga, et al., 2013).

La deshidratación osmótica en soluciones azucaradas es una pre etapa al secado de frutas, por lo tanto se presenta como una alternativa prometedora, favoreciendo la retención y la estabilidad del ácido ascórbico o vitamina C, por la impregnación de solutos principalmente azúcares durante el tratamiento osmótico, este efecto beneficioso se debe a que la solución osmótica cuenta

con sacarosa el cual tiene ejerce un efecto protector del efecto de la luz y el oxígeno en el proceso oxidativo del ácido ascórbico, mitigando en cierta manera el efecto directo, tal como lo indica (Torreggiani & Bertolo, 2001).

El uso de ultrasonido y pulsos de vacío en el proceso de osmodeshidratado es beneficioso en la forma en que no se produce calentamiento es decir minimiza el daño térmico a los nutrientes (Ácido ascórbico) por que se lleva a cabo a temperatura ambiente, por lo que la degradación del producto se reduce al mínimo (Ahmed, et al., 2016; Silva & Stojanovic, 2007).

El ácido ascórbico se degrada fácilmente a ácido deshidroascórbico, el cual es menos estable y sufre una reacción rápida e irreversible, formándose el ácido 2,3-dicetogulónico, que carece de actividad vitamínica; esto se da como consecuencia de la lesión mecánica que sufren los tejidos vegetales, que da lugar a la liberación y acción de la ascórbico oxidasa, al oxígeno, la luz, la presencia de trazas metálicas, soluciones acuosas y alcalinas y la actividad de agua, que también incrementan la velocidad de reacción. Además la reacción de degradación del ácido ascórbico es lenta en productos con pH ácido. (Coultate, 2007; Fennema, 2010).

Estos resultados confirman la sensibilidad del ácido ascórbico frente a tratamientos térmicos o inmersiones en soluciones acuosas; sin embargo son de menor magnitud en comparación con los procesos empleados en las investigaciones indicadas, por tanto se debe tener en cuenta esta condición en la obtención de aguaymanto osmodeshidratado, dado que las pérdidas en ácido ascórbico serían menores, evitando la disminución significativamente de su calidad nutricional.

### **c. Discusión de la variación de los carotenos totales**

El color característico del aguaymanto le da los pigmentos conocidos como carotenoides cuyo color varia de amarillo a anaranjado y rojo, los cuales son insolubles en el agua, son moderadamente termoestables, pierden el color por oxidación por presencia de ácidos o la luz. (Fennema, 2010; Rastogi, et al., 2002).

El resultado obtenido (99,45% RCA) de retención de carotenos totales resulta alentador al ser comparado con la osmodeshidratación con pulsos de vacío del mango (Ito, 2007), quien reporto un 90,13% de retención de carotenos totales. Al ser comparado con tecnologías tradicionales como en el deshidratado del aguaymanto a 65°C, se logró el 32,25% de retención de carotenos totales (Morante, 2017), en puré de aguaymanto se alcanzó el 38,91% (Málaga, et al., 2013) y en conserva de aguaymanto un 89,83% de retención (Encina, 2006), se puede observar que la aplicación de ultrasonido y pulsos de vacío mejora significativamente la retención de carotenos totales en el aguaymanto osmodeshidratado.

Además el uso de ultrasonido y los pulsos de vacío en el proceso de osmodeshidratado del aguaymanto no genero temperaturas mayores a la temperatura ambiente (20°C), debido a que el fenómeno de cavitación dura unos cuantos microsegundos, este fenómeno estimula una serie rápida de expansiones y compresiones alternativas, formando canales microscópicos, lo que resulta en la eliminación de la humedad y proporciona un efecto tipo esponja (Kapturowska, et al., 2011; Fernandes, et al., 2009), por lo que en nuestro estudio los carotenoides no sufrieron un alto grado de isomeración con

la consiguiente alta pérdida de carotenoides.

#### **d. Discusión de la respuesta global optimizada**

Para efectuar la optimización por la metodología de múltiples respuestas en una respuesta global optimizada (RGO), se requiere considerar las restricciones que se deben cumplir para aproximarse a la mejora de la calidad del aguaymanto osmodeshidratado en estudio.

Para ello se requiere que el aguaymanto osmodeshidratado con métodos combinados tenga la menor variación del color ( $\Delta C$ ) y alcance la mayor retención de ácido ascórbico (%RAC) y mayor retención de carotenos totales (%RCA), para que el empresario en la industria alimentaria no tenga tanta reducción de la calidad en su producto.

Aunque se han realizado trabajos de optimización con respuestas múltiples o por respuesta global optimizada (RGO) en diversos tipos de alimentos (Larrea, 2013; Muñoz, 2012; Ito, 2007) no se pueden hacer comparaciones con los resultados obtenidos en dichas investigaciones y en este estudio porque son procesos diferentes y por consiguiente la modelación y optimización no son comparables.

Sin embargo en los modelos ajustados de los resultados, al analizar como variables independientes, la variable tiempo de ultrasonido (TU) es el factor con mayor efecto para lograr la optimización, siendo el valor óptimo para maximizar el RGO de 10 minutos, este resultado concuerda con lo recomendado por (Delgado, 2011), quien utilizando ultrasonido con una frecuencia de 20 khz determino 10 minutos de tratamiento como máximo en

frutas.

Para el caso de la variable potencia de ultrasonido (PU), este factor alcanzo un efecto significativo en la maximización de la RGO, siendo su efecto en menor grado que la variable (TU), por lo que contribuyó a reducir su valor; este resultado concuerdan con lo reportado por (Nowacka, et al., 2014), cuyos resultados obtenidos indicaron la influencia de las ondas de ultrasonido en la reducción del contenido de compuestos bioactivos como el ácido ascórbico en los arándanos.

Para el factor presión de vacío pulsante (PV), el valor óptimo que maximiza la respuesta global optimizada (RGO) fue de 149,83 mmHg, este valor al ser comprado con los 100 mbar reportados en la osmodeshidratación con pulsos de vacío en mango (Ito, 2007), resulto superior, este comportamiento se basa en las propiedades estructurales de la fruta, es decir la porosidad de los materiales pueden tener mayor importancia en los efectos del ultrasonidos y de la presión de vacío (Bohuon, et al., 2002; Ito, 2007).

### **5.1.3. Discusión sobre la cinética de la osmodeshidratación del aguaymanto**

La aligerada pérdida de peso (WR) de 40% y la perdida de agua (WL) de 48,78% al inicio del proceso de osmodeshidratado se debió aparentemente a una alta diferencia de concentración entre el aguaymanto (11,5 °Brix) y el medio hipertónico adyacente (60 °Brix) que incremento la gradiente de presión osmótica y suministró la fuerza motriz necesaria para la transferencia de masa de agua y sólidos de la fruta (Azoubel & Murr, 2004).

Sin embargo la mejora del comportamiento de la curva de pérdida de agua (WL) en la muestra (P2) se fundamenta en la aplicación de la onda de ultrasonido que genero un movimiento oscilatorio, provocando una transmisión acústica que conduce a la mejora de la transferencia de masa, unido a la presión de vacío pulsante aplicado que genero la diferencia de potencial promoviendo el flujo de agua desde el interior de la fruta (Ciurzynska, et al., 2014; Bellary, et al., 2011; Tortoe, 2010).

Además es importante indicar que la onda de ultrasonido mejora la porosidad efectiva y capilaridad de la fruta, lo que acelera la perdida de agua por su menor peso molecular en el proceso de osmodeshidratación alcanzando entre un 20-30%, de mejora, dependiente de la porosidad de la materia prima, la cual es una característica intrínseca de cada especie. (Sluka, 2015).

Este comportamiento de la curva se asemeja a otras curvas similares para la deshidratación osmótica de otros alimentos como yacón (Maldonado, et al., 2008); en kiwi (Sanjinez-Argandoña, et al., 2010).

En el caso de la comparación de los resultados de la ganancia de solidos (SG) de 15% y la pérdida de agua (WL) de 48% en el aguaymanto osmodeshidratado, podemos observar que se produce una diferencia porcentual significativa, este comportamiento se fundamenta de que a pesar del incremento de la porosidad efectiva y la capilaridad de la fruta por efecto de la cavitación del ultrasonido y por la presión de vacío pulsante, la solución osmótica constituida por sacarosa de mayor peso molecular permanece principalmente en el espacio extracelular ingresando de manera limitada al

interior de la célula, generando por consiguiente una menor ganancia de sólidos. (Sacchetti, Gianotti, & Dalla Rosa, 2001; Torres, et al., 2005).

#### **5.1.4. Discusión del análisis físico químico del aguaymanto osmodeshidratado**

La variación del contenido de ácido ascórbico de la figura 30 y la variación del contenido de  $\beta$  carotenos de la figura 31 se basa en ciertos supuestos, siendo el principal de ellos la semipermeabilidad de la membrana celular del aguaymanto, este fenómeno se da por tres tipos de flujo: agua del producto para la solución; soluto de la solución para el producto; y los solutos naturales del producto, como ácidos orgánicos (Ácido ascórbico), minerales y vitaminas( $\beta$ -carotenos) para la solución hipertónica desde los materiales alimenticios con la consiguiente alteración de su composición química. El uso de métodos combinados en la osmodeshidratación como ultrasonido y presión de vacío pulsante ejerce un efecto protector posibilitando la obtención de productos con mejor calidad, en términos de retención de vitamina C y carotenoides totales (Ito, 2007; Barbosa-Cánovas, et al., 2000).

Esta transferencia es insignificante cuantitativamente pero es esencial en términos de composición del producto (Tortoe, 2010; Phisut, 2012).

#### **5.1.5. Discusión de la evaluación sensorial**

En la evaluación sensorial realizada por 18 panelistas, se determinó que la muestra (P1-ODUPV) alcanzo un puntaje de 6,0 siendo este valor superior a

(P2-OD) que alcanzo el valor de 4,78 presentando diferencia significativa a ( $p < 0,05$ ) en cuanto al atributo de aceptabilidad.

Este resultado nos indica que los frutos de aguaymanto osmodeshidratado sometido a ultrasonido y presión de vacío pulsante (P1-ODUPV) han mejorado su aceptabilidad frente a los panelistas, este comportamiento concuerda con lo reportado en rebanadas de mango tratadas con deshidratación osmótica a pulso de vacío, los cuales presentaron mayores valores en todos los atributos sensoriales analizados (Ito, 2007; Sahin & Kemal, 2016), reportaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los resultados de la evaluación sensorial entre los higos secos no pre tratados y pre tratados (osmodeshidratados con pulsos de vacío) para el color, la textura y la aceptabilidad general. En consecuencia, las propiedades sensoriales de los higos secos pre tratados pueden mejorarse cambiando las condiciones de pre tratamiento osmótico tal como usar diferentes tipos de azúcar, relaciones de concentración, temperaturas de la solución, relación de masa de solución / fruta, niveles de presión de vacío, ultrasonido y también tiempo de impregnación.

De igual manera en rebanadas de kiwi osmodeshidratadas y secas reportada por (Allaeddini & Djomeh, 2004), indica que la impregnación de la sacarosa, en el pre tratamiento osmótico, favoreció la aceptación del producto en comparación con la fruta sin pre tratamiento, siendo evaluado como dulce y de sabor agradable. Similar resultado fue obtenido en rebanadas de manzana osmodeshidratadas y secas (Falade & Igbeka, 2007).

El efecto de la aplicación de ultrasonido y pulso de vacío al inicio del proceso de osmodeshidratado, genera la cavitación de los poros a bajas temperaturas y

la eliminación de parte del aire presente en el interior de los poros y la entrada de la solución osmótica en esos poros, acortando el tiempo de proceso, lo cual parece contribuir efectivamente en mejorar las características sensoriales de los productos obtenidos a través de la mayor retención de los pigmentos, de la incorporación de azúcar y de la menor alteración en la textura en comparación con los productos sin uso de ultrasonido y pulso de vacío. (Ito, 2007; Musielak, Mierzwa, & Kroehnke, 2016).

Así, la evaluación sensorial, siendo un análisis de calidad obtenida por nuestras sensaciones, es tan importante como los análisis físicos, químicos y microbiológicos de los alimentos.

## 5.2. Conclusiones

De acuerdo con los objetivos de la tesis se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Se logró determinar la incidencia del ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo en el color del aguaymanto osmodeshidratado, determinándose a través de la metodología de superficie de respuesta (RSM) que el tratamiento optimo, ultrasonido (PU=30 w), la presión de vacío (PV=149,83 mmHg) y tiempo (TU=10 minutos) permitió obtener una menor variación del color ( $\Delta C=3,69$ ), en las muestras estudiadas, mejorando su calidad.
2. Se evaluó la incidencia del ultrasonido, pulsos de vacío y tiempo en el contenido de ácido ascórbico y carotenos totales en el aguaymanto osmodeshidratado, para ello primeramente se determinó el contenido de ácido ascórbico (43,78 mg Ac.Asc./100 g) y de  $\beta$  carotenos (2,64 mg  $\beta$  carotenos/100 g. Concluyendo que el tratamiento optimo, ultrasonido (PU=30 w), la presión de vacío (PV=149,83 mmHg) y tiempo (TU=10 minutos), permitió una mayor retención de ácido ascórbico (%RAC=65,22%) y carotenos totales (%RCA=99,05%) mejorando la calidad nutricional.
3. El aguaymanto osmodeshidratado con el tratamiento optimo, ultrasonido (PU=30 w), la presión de vacío (PV=149,83 mmHg) y tiempo (TU=10 minutos), favoreció la aceptabilidad sensorial, alcanzando un valor de (P2=6,00 puntos), resultando superior a la muestra osmodeshidratada (P1=4,78 puntos) sin tratamiento. El ultrasonido y la presión de vacío favoreció la intensidad del color, y la sacarosa impregnado en el fruto de aguaymanto permitiendo obtener productos menos rígidos con mejor color

y aroma, más dulces y más suaves que el aguaymanto osmodeshidratado sin pre tratamiento.

4. La incidencia de las variables de estudio ultrasonido (PU=30 w), la presión de vacío (PV=149,83 mmHg) y tiempo (TU=10 minutos), de manera general mejoro la calidad de aguaymanto osmodeshidratado, al reducir la variación del color ( $\Delta C=3,69$ ), mejorar la retención de ácido ascórbico (%RAC=65,22%) y carotenoides totales (%RCA=99,05%), permitiendo obtener un efecto beneficioso y protector de la calidad nutricional, además de mejorar la calidad sensorial al incrementar la aceptabilidad del aguaymanto osmodeshidratado.

### 5.3. Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos en esta tesis se puede sugerir continuar investigando en los siguientes aspectos:

- 1) Evaluar otros parámetros de calidad en el aguaymanto osmodeshidratado como la textura, la capacidad de rehidratación y el contenido de antioxidantes principalmente los withanólidos como grupo de lactonas esteroides C<sub>28</sub> naturales y sean realizados en productos de igual valor de humedad.
- 2) Profundizar en el estudio de la influencia del ultrasonido con mayores potencias (> 100 w) e intensidades (> 40 khz) para ver su efecto en el fruto de aguaymanto con el fin de analizar la influencia de la porosidad sobre los parámetros cinéticos de los modelos.
- 3) Determinar la porosidad y difusibilidad del fruto de aguaymanto.
- 4) Establecer en el modelo matemático de la cinética de degradación de los withanólidos compuesto con alta capacidad antioxidante.

## VI. Referencias

- Afsah, A. F. (2015). Survey of insects & mite associated Cape gooseberry plants (*Physalis peruviana* L.) and impact of some selected safe materials against the main pests. *Annals of Agricultural Science*, 2 pp.
- Ahmed, I., Qazy, I., & Jamal, S. (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 38(2016), 68-75.
- Allaeddini, B., & Djomeh, Z. E. (2004). Formulation and quality improvement of dried kiwifruit slices using an osmotic pre-treatment. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, (págs. 2127-2132). São Paulo, Brazil.
- AOAC. (2007). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (18th ed.). Gaithersburg: Editorial William Horwitz.
- Aparcana, I., & Villarreal, L. (2014). *Evaluación de la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos del fruto de Physalis peruviana "aguaymanto" de diferentes lugares geográficos del Perú (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú.
- Arora, M., Claus-Dieter, O., & Knud, M. (2004). Cavitation inception on microparticles: A self-propelled particle accelerator. *Physical Review Letters*, 92(17).
- Ashokkumar, M., & Mason, T. J. (2007). *Sonochemistry. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons.
- Atares, L., Chiralt, A., & Gonzales-Martinez, C. (2008). Effect of solute on osmotic dehydration and rehydration of vacuum impregnated apple cylinders (cv. Granny Smith). *Journal of Food Engineering*(89), 49-56.
- Azoubel, P. M., & Murr, F. E. (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 61, 291-295.
- Barat, J. M., Fito, P., & Chiralt, A. (2001). Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. *Journal of Food Engineering*(49), 77-85.
- Barbosa-Cánovas, G., & Vega-Mercado, H. (2000). *Deshidratación de Alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Bellary, A., Sowbhagya, H., & Rastogui, N. (2011). Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. *J. Food Eng.*, 105(3), 453-459.
- Bohuon, P., & Raoult-Wack, A. L. (2002). Procédé de deshydratation osmotique. (S. D. Le Meste M., Ed.) *Lavoisier Tec et Doc*, 405-428.

- Borda, C., & Caicedo, O. (2013). Cambios en el contenido nutricional de la uchuva (*Physalis peruviana*) frente a la osmodeshidratación como método de conservación. *Perspectivas en nutrición humana*, 15(2), 149-156.
- Bórquez, R. M., Canales, E. R., & Redon, J. P. (2010). Osmotic dehydration of raspberries with vacuum pretreatment followed by microwave-vacuum drying. *Journal of Food Engineering*, 99(2), 121-127.
- Bravo, K., Sepulveda, S., Lara, O., Navas, A., & Osorio, E. (2015). Influence of cultivar and ripening time on bioactive compounds and antioxidant properties in Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(7), 1562-1569.
- Bray, E., Bailey, J., & Weretilnyk, E. (2000). Responses to abiotic stresses. (B. Buchanan, W. Gruissem, & R. Jones, Edits.) *Biochemistry and molecular biology of plants*. American Society of Plant Physiologists, 35-42.
- Briones, V., Giovagnoli, C., Figueroa, P., Quispe, I., & Pérez, M. (2013). Extraction of  $\beta$ -Carotene, Vitamin C and Antioxidant Compounds from *Physalis peruviana* (Cape gooseberry) Assisted by High Hydrostatic Pressure. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 109-118.
- Cabrera, R. E., Panadés, A. G., & Viera, C. L. (2008). Secado convectivo de guayaba deshidratada. *La Alimentación Latinoamericana*(276), 80-84.
- Cameron, T., McMaster, M., & Britz, L. (2008). Electron microscopic analysis of dairy microbes inactivated by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15, 960-964.
- Capilla, P., Artigas, J. M., Pujol, I., & Ramo, J. (2002). Fundamentos de Colorimetría. Valencia, España: Universidad de Valencia. Obtenido de [http://books.google.com.co/books?id=f8u6BLhkoaMC&pg=PA131&dq=espectrofotómetro&hl=es&sa=X&ei=TgftU9\\_](http://books.google.com.co/books?id=f8u6BLhkoaMC&pg=PA131&dq=espectrofotómetro&hl=es&sa=X&ei=TgftU9_)
- Cárcel, J. A., Garcia- Perez, J. V., Riera, E., Rosello, C., & Mulet, A. (2014). Drying assisted by power ultrasound. (E. Tsotsas, & A. S. Mujumdar, Edits.) *Modern drying technology*, pp 237,278.
- Cháfer, M., González-Martínez, C., Ortolá, M. D., Chiralt, A., & Fito, P. (2001). Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. *Journal of Food Process Engineering*, 24, 273-289.
- Chasquibol, S. N., López, G. J., Cárdenas, O. R., & Rodríguez, V. M. (2006). Estudio y cuantificación de carotenoides por métodos espectroscópicos del fruto del níspero de la sierra y su valoración como alimento funcional. *Rev. Per. Quím. Ing.*, 9(1), 3-9.

- Chen, C. R., & Ramaswamy, H. S. (2002). Color and texture change kinetics in ripening bananas. *Lebnsnsm-Wiss Technology*, 35(5), 415-419.
- Ching, Y., Chiu, C., Chang, F., Chen, J., Hwang, C., Hseu, J., & Yang, H. (2010). 4 $\beta$ -Hydroxywithanolide E from *Physalis Peruviana*. Inhibits Growth of Human Lung Cancer Cells Through DNA Damage, Apoptosis and G2/M Arrest. *BMC Cance*, 10, 10-46.
- Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., Martínez-Monzón, J., Talens, P., Moraga, G., Ayala, A., & Fito, P. (2001). Changes in mechanical properties throughout osmotic processes cryoprotectant effect. *Journal of Food Engineering*, 49, 129-135.
- Chua, K. J., Mujumdar, A. J., Chou, S. K., Hawlader, M. N., & Ho, J. C. (2000). Convective Drying of Banana, Guava and Potato Pieces: Effect of Cyclical Variations of Air Temperature on Drying Kinectics and Color Change. *Drying Technology*, 18, 907-936.
- Chwastek, A. (2014). Methods to increase the rate of mass transfer during osmotic dehydration of foods. *Acta Sci. Pol., Technol.*, 13(4), 341-350.
- Ciurzynska, A., Lenart, A., & Greda, K. J. (2014). Effect of pre-treatment conditions on content and activity of water and colour of freeze-dried pumpkin. *LWT-Food Sci. Technol*, 59(2014), 1075-1081.
- Clark, S., Costello, M., Drake, M., & Bodyfelt, F. W. (2009). *The sensory evaluation of dairy products* (2da ed., Vol. XV). New York: NY:Springer.
- Contreras, C. (2006). *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas (Tesis Doctoral)*. Universidad Politécnica de Valencia, Tecnología de los Alimentos, Valencia-España.
- Correa, J. L., Pereira, L. M., Vieira, G. S., & Hubinger, M. D. (2010).
- Coultate, T. P. (2007). *Manual de química y bioquímica de los alimentos* (3era ed.). Zaragoza- España: Acribia.
- CYTED. (2014). *Physalis peruviana L.: Fruta andina para el mundo*. España: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED.
- Dalla, R., & Giroux, F. (2001). Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. *Journal of Food Engineering*, 49, 223-226.
- Delgado, J. O. (2011). Aplicación del ultrasonido en la industria de los alimentos. *Revista especializada en ingeniería de procesos en alimentos y biomateriales*, 142-152.

- Della, R. P. (2010). *Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente*. Tesis de maestría en Tecnología de los alimentos, Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires. Argentina.
- Deng, Y., & Zhao, Y. (2008). Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmo pretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). *Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie*, 41, 1575-1585.
- Dolatowski, Z. J., Stadnik, J., & Stasiak, D. (2007). *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6(3), 89–99.
- Encina, C. (2006). *Influencia del descerado y composición del almíbar en la optimización del tratamiento térmico de la conserva de aguaymanto (Physalis peruviana, linnaeus, 1753) para la mayor retención de ácido ascórbico (Tesis de maestria)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.
- Espinosa, M. J. (2007). *Evaluación sensorial de los alimentos*. Ciudad de La Habana, El vedado, Cuba: Editorial Universitaria.
- Falade, K. O., & Igbeka, J. C. (2007). Osmotic dehydration of tropical fruits and vegetables. *Food Reviews Internationa*, 23(4), 373-405.
- Farhaninejad, Z., Fathi, M., Shahedi, M., & Sadeghi, M. (2015). Osmotic dehydration of banana slices using direct and indirect sonication: optimization and microstructure analysis. *Journal of Food Process Engineering*.
- Fawzy, M. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): An overview. *Food Research International*, 44(7), 1830-1836.
- Fennema, O. (2010). *Química de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Fernandes, F. A., & Rodrigues, S. (2008). Dehydration of sapotas (*Achras sapota* L.) using ultrasound as pretreatment. *Drying Technology*, 26, 1232–1237.
- Fernandes, F. A., Gallão, M. I., & Rodrigues, S. (2009). Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*, 90, 186–190.
- Ferrari, C. C., Arballo, J. R., Mascheroni, R. H., & Hubinger, M. D. (2011). Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(2), 436-443.
- Figuroa, P. G. (12 de 2003). Optimización de una superficie de respuesta utilizando JMP in. *Mosaicos Matemáticos*, 2003(11), 3-7.

- Flores, E., Pascual, L. A., Jiménez, M., & Beristain, C. I. (2013). Efecto de la proteína de suero de leche-sacarosa en la deshidratación osmótica de manzana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(3), 415-424.
- Giese, J. (2000). Color measurement in foods as a quality parameter. *Food Technology*, 54(2), 62-63.
- 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, 33-43.
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México D.F, México: Mc Graw Hill.
- Heredia, A., Peinado, I., Barrera, C., & Grau, A. (2009). Influence of process variables on colour changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 285-294.
- Hernández, T. C. (2013). *Desarrollo de productos tratados por procesos térmicos y no térmicos a partir del fruto Physalis Peruviana Linnaeus*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile. .
- Herrero, A., & Romero de Avila, M. (2006). Innovaciones en el procesado de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Medica universitaria Navarra*, 50, 71-74.
- Hiwilepo-van Hal , P., Bosschaart , C., van Twisk, C., Verkerk, R., & Dekker, M. (2012). Kinetics of thermal degradation of vitamin C in marula fruit (*Sclerocarya birrea* subsp. *caffra*) as compared to other selected tropical fruits. *LWT - Food Science and Tech. LWT - Food Science and Technology*, 49(2), 188–191.
- Huaman, K. B., & Ninahuanca, B. A. (2017). *Evaluación de la pérdida de  $\beta$ -carotenos en la osmodeshidratación de aguaymanto (*Physalis peruviana* L) con una solución de stevia*. Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Ingeniería Química, Huancayo.
- International Commission on Illumination. (2004). Libro blanco de la gestión del color 3. Espacios de color y conversión de colores. Francia. Recuperado el 05 de 10 de 2017, de [https://www.lacie.com/download/whitepaper/wp\\_colormangement\\_3\\_es.pdf](https://www.lacie.com/download/whitepaper/wp_colormangement_3_es.pdf)
- Isla, F. (2016). *Control biológico del Meloidogyne incógnita en aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) por bacterias promotoras de crecimiento y hongos endomicorrícicos*. Tesis de pregrado para optar el título de Biólogo, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

- Islam, M. N., Zhang, M., & Adhikari, B. (2014). The inactivation of enzymes by ultrasound-A review of potential mechanisms. *Food Reviews International*, 30, 1–21.
- Ispir, A., & Togrul, D. T. (2009). Osmotic dehydration of apricot: kinetics and the effect of process parameters. *Chemistry of Engineering Research and Design*, 87, 166-180.
- Ito, A. P. (2007). *Estudo do processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo (PVOD) para manga. Tese de doutorado em engenharia de alimentos*. Tese de doutorado em engenharia de alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Jarén, C. (2005). Perfil del consumidor de frutas, hábitos y tendencia. *Fruticultura Professiona*, 149.
- Jayaraman, K. S., & Das Gupta, D. K. (2006). *Drying of fruits and vegetables. Handbook of Industrial Drying* (3era ed.). (A. S. Mujumdar, Ed.) Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- Jongen, W. (2002). *Fruit and vegetable processing: Improving quality*. England: Woodhead Publishing Limited.
- Kapturowska, A., Stolarzewicz, I., Chmielewska, I., & Białecka-Florjańczyk, E. (2011). Ultradźwięki - narzędzie do inaktywacji komórek drożdży oraz izolacji białek wewnątrzkomórkowych [Ultrasounds – a tool to inactivate yeast and to extract intracellular protein]. *Żywność. Nauka Technol. Jakość*, 6(67), 140-149.
- Kek, S. P., Chin, N. L., & Yusof, Y. A. (2013). Direct and indirect power ultrasound assisted preosmotic treatments in convective drying of guava slices. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 495–506.
- Keqing, D. X. (2004). *Optimización del secado por aire caliente de pera (Variedad Blanquilla)*. Tesis doctora, Universidad politécnica de Valencia.
- Khan, M. R. (2012). Osmotic dehydration technique for fruits preservation-A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22(2), 71-85.
- Kong, Q., He, G., Chen, Q., & Chen, F. (2004). Optimization of medium composition for cultivating *Clostridium butyricum* with response surface methodology. *Journal Food Science*, 69(7), 163-168.
- Kowalski, S. J., Mierzwa, D., & Śronek, B. (2009). Drying of osmotically dehydrated biological materials. *Chemical Process Eng.*, 559-568.
- Kutyla-Olesiuk, A., Nowacka, M., Wesoly, M., & Ciosek, P. (2013). Evaluation of organoleptic and texture properties of dried apples by hybrid electronic tongue. *Sensors & Actuators B: Chemical*, 187, 234-240.

- Larrea, M. (2013). Efecto del tiempo y concentración de peróxido de hidrogeno alcalino (11202) en las propiedades funcionales de la cáscara de uva Italia (*Vitis vinifera* L.) proveniente de la elaboración de vino blanco. *Ciencia & Desarrollo*, 78-82.
- Lazarides, H. N. (2001). Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. En P. Fito, A. Chiralt, J. M. Barat, W. E. Spiess, & D. Behsnilian, *Osmotic dehydration and vacuum impregnation: Applications in food industries* (págs. 33-42). USA: Techmonic Publication Corporation.
- Lazarides, H. N. (2004). Osmotic preconcentration: Developments and prospects. En R. P. Singh, F. A. Oliveira, R. P. Singh, & F. A. Oliveira (Edits.), *Minimal Processing of foods and process optimization* (pág. 89). CRS Press.
- Lee, K. S., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20, 207-220.
- Leites, C., Deyse, P., & Damasceno Ferreira, L. (2015). Osmotic dehydration of physalis (*Physalis peruviana* L.): Evaluation of water loss and sucrose incorporation and the quantification of carotenoids. *LWT - Food Science and Technology*, 1(9).
- López, A. M. (2015). *Optimización estadística del tiempo de vida de anaquel del litchi y el Nopal*. Tesis de posgrado en ciencias, Universidad Autonoma Metropolitana, México.
- Lopez-Camelo, A., & Gómez, A. P. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, 22(3), 534-537.
- Luchese, C. L., Gurak, P. D., & Ferreira Marczak, L. D. (2015). Short Communication: Osmotic Dehydration of Physalis – Influence of Ultrasound Pretreatment. *Food Engineering Reviews*, 7, 193-197.
- Madriñan, C. (2010). *Caracterización morfológica de accesiones de Physalis peruviana L. del banco de germoplasma de la Universidad de Colombia sede Palmir*. Tesis de maestría en Ciencias, Universidad de Colombia.
- Málaga, R., Guevara, A., & Araujo, M. (2013). Efecto del procesamiento de puré de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), sobre los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante. *Rev Soc Quím Perú*, 79(2).
- Maldonado, S., Santapaola, J. E., Singh, J., Torrez, M., & Garay, A. (marzo de 2008). Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Ciência y Tecnología de Alimentos*, 28(1), 251-256.

- Matusek, A., Czukor, B., & Meresz, P. (2008). Comparison of sucrose and fructooligosaccharides as osmotic agents in apple. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 365-373.
- Meléndez-Martínez, A. J., Vicario, I. M., & Heredia, F. J. (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *ALAN*, 54(2), 149-155.
- Mendoza, F., Dejmek, P., & Aguilera, J. M. (2006). Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 285-295.
- MINAGRI. (2014). Recuperado el 20 de 09 de 2014, de <http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/sectoragrario/agricola/lineasde cultivosemergentes/AGUAYMANTO.pdf>
- Molina, A., Ayala, A., & Ormaza, A. M. (2014). Aplicación de Pulsos de Vacío en la Osmodeshidratación. *Rev.Fac.Nal.Agr.*, 67(2), 185-187.
- Montgomery, D. C. (2001). *Design and analysis of experiments*. Nueva York, EUA: Wiley.
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. D., & Vásquez, G. (2007). Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 1507-1514.
- Möser, M., & Barros, J. (2009). *Ingeniería acústica. Teoría y aplicaciones*. (2da ed.). Nueva York: Springer.
- Musielak, G., Mierzwa, D., & Kroehnke, J. (2016). Food drying enhancement by ultrasound. *Trends in Food Science & Technology*, 56(2016), 126-141.
- NIST/SEMATECH. (2012). *e-Handbook of Statistical Methods*. Recuperado el 11 de diciembre de 2015, de <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>
- Noor, A. I., Mokhta, M. H., Rafiqul, Z. K., & Pramod, K. M. (2012). Understanding Color Models. *ARPJ Journal of Science and Technology*, 2(3), 265–275.
- Nowacka, M., Tylewicz, U., Laghi, L., Dalla Rosa, M., & Witrowa-Rajchert, D. (2014). Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration. *Food Chemistry*, 144, 18-25.
- Nuncio-Jáuregui, N., Calin-Sánchez, A., Carbonell-Barrachina, A., & Hernández, F. (2014). Changes in quality parameters, proline, antioxidant activity and color of pomegranate (*Punica granatum L.*) as affected by fruit position within tree, cultivar and ripening stage. *Scientia Horticulturae*, 165, 181-189.
- O'Sullivan, L., Ryan, L., & O'Brien, N. (2007). Comparison of the uptake and secretion of carotene and xanthophyll carotenoids by Caco-2 intestinal cells. *Br J Nutr* 2007, 98(1), 38-44.

- Olivares, M. L., Dekker, M., Verkerk, R., & van Boekel, M. A. (2016). Healthpromoting compounds in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): Review from a supply chain perspective. *Trends in Food Science & Technology*, *57*, 83-92.
- Ordoñez-Santos, L., Martínez-Girón, J., & Arias-Jaramillo, M. (2017). Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice. *Food Chemistry*(2017).
- Ormaza, A. M., & Ayala, A. (2014). Deshidratación Osmótica de Banano Bocadillo (*Musa acuminata* Colla). *Rev.Fac.Nal.Agr.*, *67*(2), 62-64.
- Ortega, K. J., & Velez, C. A. (2016). Cinéticas de deshidratación osmótica de melón (*Cucumis melo*) y efecto sobre su calidad. *Vitae* *23*(Supl. 1), 208-211.
- Panadés, G., & Fito, P. (2006). Osmotic dehydration of guaba: influence of operating parameters on process kinetics. *Journal Food Engineering*, *72*, 383-389.
- Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal*, *19*(1), 7-18.
- Prada, G., Gamboa, E., & Jaime, M. (2006). Representaciones sociales sobre alimentación saludable en población vulnerable. *Salud UIS*, *38*(3), 181-188.
- Puente, L. A., Pinto, C. A., Castro, E. S., & Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit A review. *Food Research International*, *44*(7), 1733-1740.
- Quijano, C., Pino, J., Chiralt, A., & Martinez, N. (2012). Evolución de la composición de volátiles durante la deshidratación osmótica de la guayaba pera palmira ICA-I. *Alimentos Hoy*, *21*(25), 3-16.
- Rabie, M., Soliman, A., Diaconeasa, Z., & Constantin, B. (2015). Effect of Pasteurization and Shelf Life on the Physicochemical Properties of *Physalis peruviana* L.) Juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, *39*(6), 1051–1060.
- Rahman, M. S., & Perera, C. O. (2007). *Drying and Food Preservation* (2da ed.). CRC Press.
- Ramadan, M. F. (2012). *Physalis peruviana* pomace suppresses high-cholesterol diet-induced hypercholesterolemia in rats. *Grasas Aceites* , *63*(2012), 411-422.
- Ramiro, A. J. (2013). *Modelado y simulación de la deshidratación combinada osmótica-microondas de frutihortícolas*. Tesis doctoral en Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, La Plata.
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S., Niranjana, K., & Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, *13*, 48-59.

- Restrepo, A. (2008). *Nuevas perspectivas de consumo de frutas: Uchuva (Physalis peruviana L.) y Fresa (Fragaria vesca L.) minimamente procesadas fortificadas con vitamina E*. Tesis de maestría en ciencia y tecnología de alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín.
- Rivero, R. (ISSN 1692-7125 de 2011). Influencia de la concentración de la sacarosa sobre la osmodeshidratación de la fresa (*fragaria chiloensis duch*) entera variedad chandler. @LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA, 9(1), 74-82.
- Rodrigues, A. C., Cunha, R. L., & Hubinger, M. D. (2003). Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering*(59), 129-135.
- Rosenthal, A. (2001). *Textura de los alimentos: medida y percepción*. Zaragoza, España: Acribia.
- Rossi, D., Fuentes, R., Pardo, F., Reyes, D., Tirado, R., Urbina, E., & Vega, J. (2012). Efecto de la temperatura y sinergismo de sacarosa, sacarina y sugar light en la deshidratación osmótica de aguaymanto (*Physalis peruviana*). *Agroind Science*, 1(2012), 100-109.
- Rossia, D., Fuentes, R., Pardo, F., Reyes, R., Tirado, R., Urbina, E., & Vega, J. (2012). Efecto de la temperatura y sinergismo de sacarosa, sacarina y sugar light en la deshidratación osmótica de aguaymanto (*Physalis peruviana*). *Agroind Sci*, 1(2012), 100-109.
- Rzȃca, M., Witrowa-Rajchert, D., Tylewicz, U., & Dalla Rosa, M. (2009). Wymiana masy w procesie osmotycznego odwadniania owoców kiwi (Mass exchange in osmotic dehydration process of kiwi fruits. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 6(67), 140-149.
- Sacchetti, G., Gianotti, A., & Dalla Rosa, M. (2001). . Sucrose-salt combined effects on mass transfer Kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatments. *Journal of Food Engineering*, 49, 163-173.
- Sahin, U., & Kemal, H. Ö. (2016). Effects of pulsed vacuum osmotic dehydration (PVOD) on drying kinetics of figs (*Ficus carica L*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 36(2016), 104-111.
- Sang-ngern, M., Joung, Y. U., Park, E., Kondratyuk, T., Simmons, C., Wall, M., . . . Chee, C. L. (2016). *Withanolides derived from Physalis peruviana (Poha) with potential anti-inflammatory activity*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.bmcl.2016.04.077>
- Sanjinez-Argandoña, E. J., Branco, I. G., & Takito, S. Y. (2010). Influencia de la deshidratación osmótica y de la adición de cloruro de calcio en la

- conservación de kiwis minimamente procesados. *Ciência y Tecnología de Alimentos*, 30(Supl.1), 20.
- Schössler, K., Thomas, T., & Knorr, D. (2012). Modification of cell structure and mass transfer in potato tissue by contact ultrasound. *Food Research International*, 49(1), 425-431.
- Shamaei, S., Emam-Djomeh, Z., & Moini, S. (2011). Ultrasoundassisted osmotic dehydration of cranberries: effect of fi nish drying methods and ultrasonic frequency ontextural properties. *Journal of texture studies*, 43, 133-141.
- Shi, J., & Xue, J. S. (2009). *Application and development of osmotic dehydration technology in food processing*. (R. C, Ed.) USA: CRC Press.
- Sierra Exportadora. (2012). *Estudio de pre factibilidad para la producción y comercialización de aguaymanto en condiciones de valles andinos*. Lima, Perú.
- Sierra Exportadora. (30 de 10 de 2017). <http://agraria.pe/noticias>. Obtenido de <http://www.agraria.pe/noticias>
- Silva, J. L., & Stojanovic, J. (2007). Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chemistry*, 101, 898-906.
- Silva, W. P., Silva, C. M., & Lins, M. A. (2014). Osmotic dehydration of pineapple (Ananas comosus) pieces in cubical shape described by diffusion models. *LWT-Food Science and Technolog*, 55, 1-8.
- Sluka, E. F. (2015). Conserva de mango (Mangífera indica L.) por deshidratación combinada. *Agron. Noroeste Argent.*, 35(1), 45-49.
- Stone, H., & Sidel, J. L. (2004). *Sensory evaluation practices* (Vol. XIV). Amsterdam: Boston: Elsevier Academic Press.
- Tiwari, R. B. (2005). Application of osmo air dehydration for processing of tropical fruits in rural areas. *Indian Food Industry*, 6, 62-69.
- Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetables processing. *Food Res. Int*, 26, 27-44.
- Torreggiani, D., & Bertolo, G. (2001). Osmotic pretreatments in fruit processing:Chemical,physical and structure effects. *Journal of Food Engineering*, 49(2001), 247-253.
- Torres, J. (2007). *Optimización de las condiciones de operación de tratamientos osmóticos destinados al procesado mínimo de mango (Mangífera indica L.)*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Tecnología de los Alimentos, Valencia España.

- Torres, J. D., Talens, P., & Chiralt, A. (2005). Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 240-246.
- Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4(6), 303-324.
- Ulloa, J. A., Rosas, U. P., Ramírez, J., & Ulloa, B. (2013). Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. *Revista Fuente nueva época*, 14, Julio-Setiembre.
- Utkucan, S., & Kemal, H. (2016). Effects of pulsed vacuum osmotic dehydration (PVOD) on drying kinetics of figs (*Ficus carica* L). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 36, 104-111.
- Viana, A. D., Corrêa, J. L., & Justus, A. (2013). Optimisation of the pulsed vacuum osmotic dehydration of cladodes of fodder palm. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 726-732.
- Vieira, M. C., Teixeira, A. A., & Silva, C. L. (2000). Mathematical modeling of the thermal degradation kinetics of vitamin C in cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) nectar. *Journal of Food Engineering*, 43, 1-7.
- Wu, S., Huang, Y., Lin, D., & Wang, S. (2005). Antioxidant activities of *Physalis peruviana*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 6, 963-966.
- Zamora, E. (2007). *Evaluación Objetiva de la Calidad Sensorial de Alimentos procesados*. La Habana: Universitaria.
- Zhao, Y., & Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 434-451.
- Zhou, P., & Regenstein, J. M. (2004). Optimization of extraction conditions for Pollock skin gelatin. *Journal Food Science*, 69(5), 393-398.

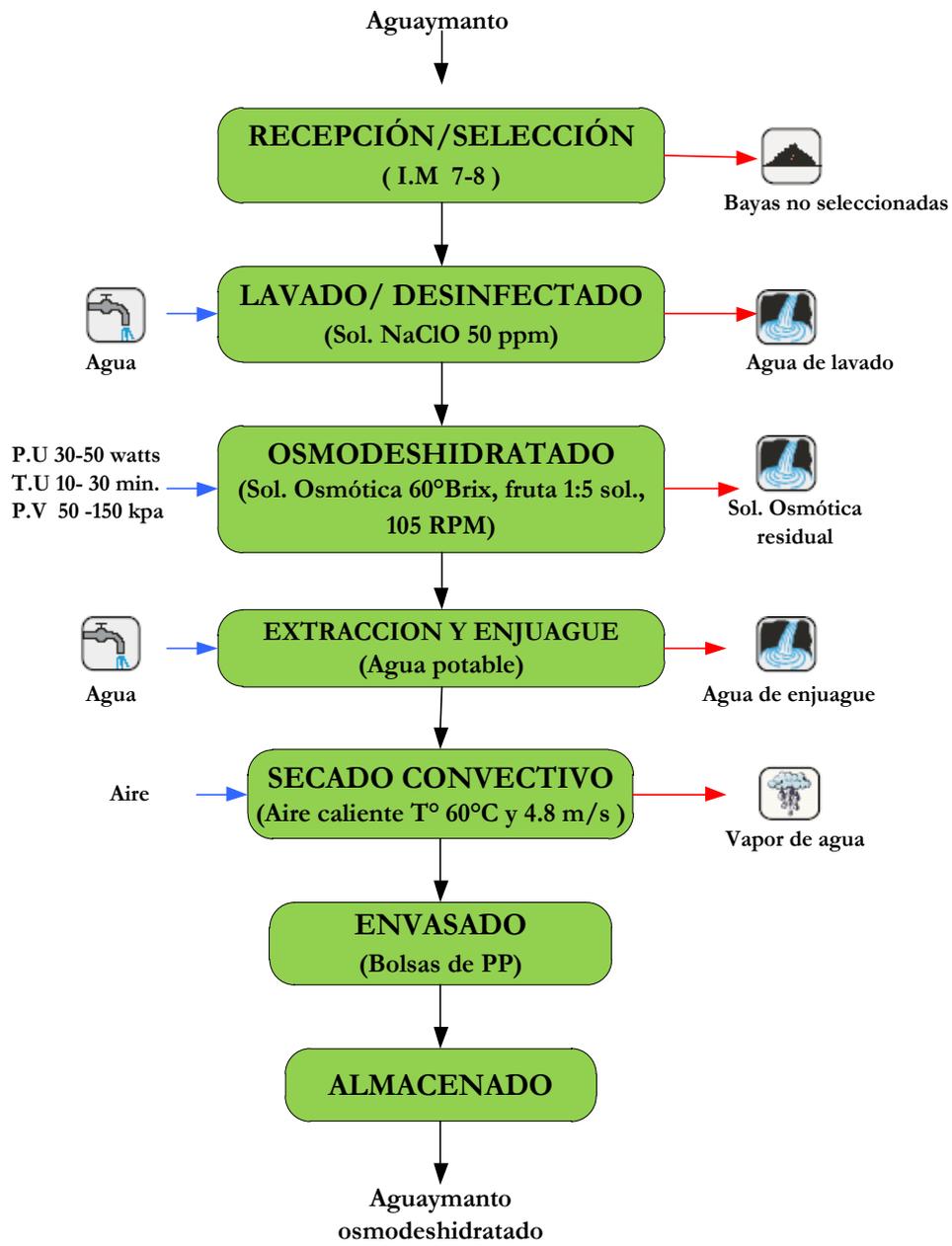
## ANEXOS

**Anexo 1.** Caracterización del índice de madurez- grado de madurez del aguaymanto.

Color	Aspecto externo del fruto	°Bx mínimo	% de ácido cítrico máximo	Índice de madurez (°Bx/% ácido)
Cero	Fruto fisiológicamente desarrollado, color verde oscuro	9,4	2,69	3,5
Uno	Fruto de color verde un poco más claro	11,4	2,7	4,2
Dos	El color verde mantiene en la zona cercana al cáliz y hacia el centro del fruto aparecen unas tonalidades anaranjadas.	13,2	2,56	5,2
Tres	Fruto de color anaranjado claro con visos verdes hacia la zona de cáliz.	14,1	2,34	6,0
Cuatro	Fruto de color anaranjado claro	14,5	2,03	7,1
Cinco	Fruto de color anaranjado.	14,8	1,83	8,1
Seis	Fruto de color anaranjado intenso.	15,1	1,68	9,0

*Fuente:* Norma técnica colombiana NTC 4580 de 1999.

**Anexo 2.** Diagrama de flujo para la obtención de aguaymanto osmodeshidratado



*Fuente:* Elaboración propia

### **Anexo 3. Determinación espectrofotométrica de la vitamina C**

#### **FUNDAMENTO**

La determinación de análisis cuantitativo por espectrofotometría debe realizarse a una longitud de onda específica, a fin de que los datos a obtenerse sean precisos y exactos.

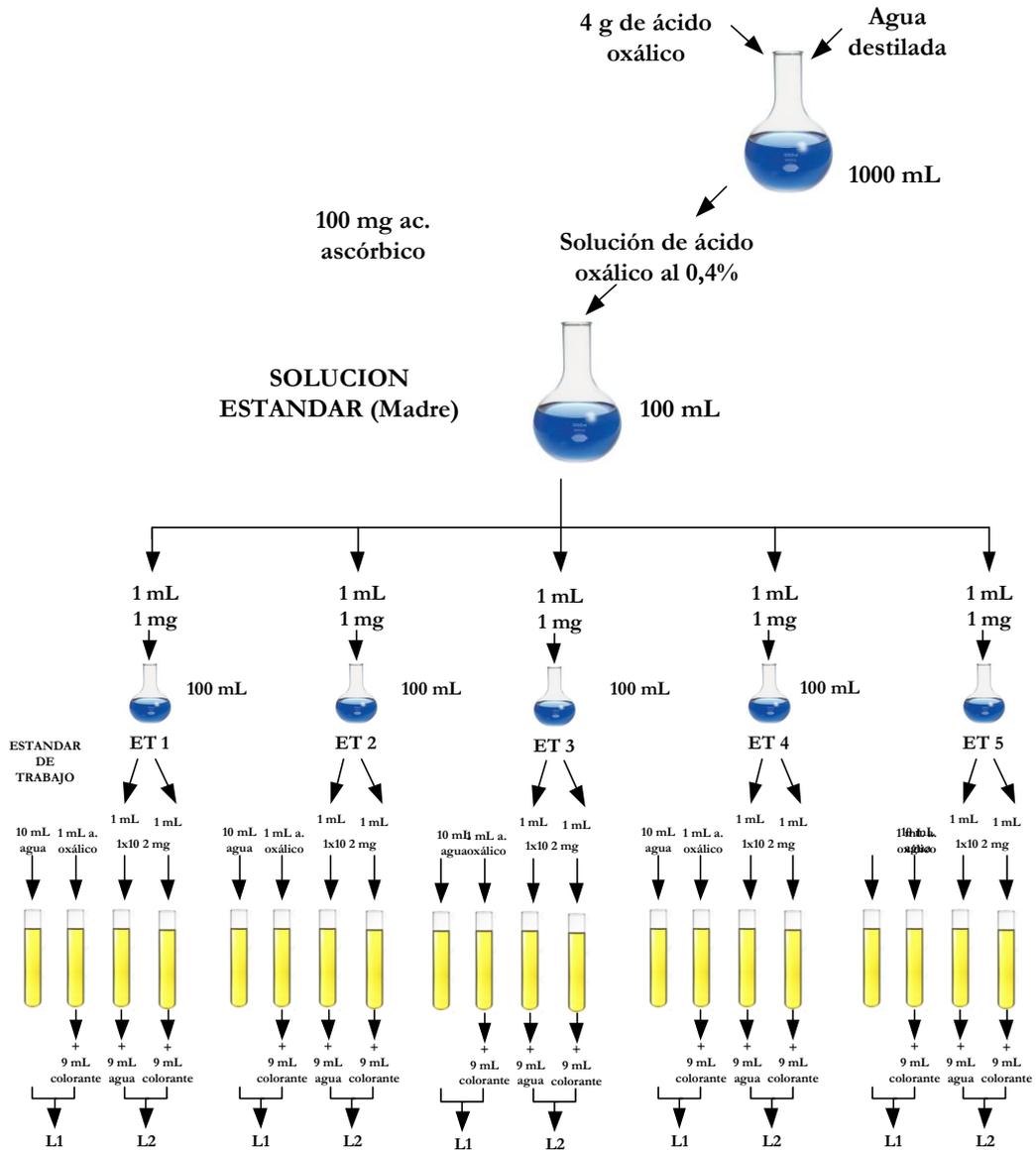
La determinación del contenido de ácido ascórbico en frutas y vegetales puede realizarse por diversos métodos, siendo uno de ellos el espectrofotométrico propuesto por el departamento de Agricultura de Canadá. Se basó en la reducción del colorante 2,6-Diclorofenol por efecto de la solución del ácido ascórbico. El contenido de ácido ascórbico es directamente proporcional a la capacidad de un extracto de la muestra para reducir una solución estándar de colorante; esta capacidad es determinada espectrofotométricamente.

El valor del reactivo 2,6-DFIF se verá limitado por la presencia de sustancias reductoras como sales ferrosas, sulfitos, compuestos sulfhídricos entre otros. Estas sustancias podrían estar presentes en ciertos productos que hayan sufrido un prolongado tratamiento térmico o almacenamiento.

#### **Método: Preparación de la muestra**

- a) Triturar 50 g de muestra fresca con 350 mL de una solución de ácido oxálico al 0,4% en una licuadora por 3 min y luego filtrar.
- b) Determinar L1 como se describió anteriormente (paso 3 c).
- c) En el tubo III colocar 1 mL del filtrado (muestra) + 9 mL de agua, ajustar al cero la absorbancia.

- d) Luego, en el tubo IV colocar 1 mL del filtrado (muestra) + 9 mL del colorante y registrar la absorbancia (L2) después de 15 segundos.
- e) Calcular (L1-L2) y obtener la concentración de ácido ascórbico a partir de la curva estándar.



Fuente: (AOAC, 2007).

#### Anexo 4. Cuantificación de carotenoides en aguaymanto

La determinación de carotenoides se hizo mediante el **Método Talcott y Howard**, que se detalla continuación:

1. En condiciones semi oscuras, añadir dentro de un matraz 2 g. de muestra fresca con 20 mL de una solución de acetona:etanol (1 :1) que contenga 200 mg/L BHT.
2. Mezclar con el homogenizador hasta una consistencia uniforme.
3. Lavar el remanente del homogenizador con la menor cantidad posible del solvente.
4. Filtrar el homogenizado a través de un papel filtro y lavar con el solvente acetona:etanol hasta que no se observe más cambio en el color. Evitar excederse de un volumen de 100 mL.
5. Transferir el filtrado a una fiola de 100 mL y añadir el solvente hasta obtener un volumen final de 100 mL.
6. Transferir la solución a un frasco de plástico que tenga una capacidad de 150 mL
7. Añadir 50 mL de hexano a la mezcla y agitar vigorosamente.
8. Dejar la solución en reposo para 20-30 minutos hasta que ocurra una separación. Añadir 25 mL de agua destilada y mezclar la solución
9. Dejar la solución en reposo hasta una separación de fases.
10. Llevar el espectrofotómetro hasta cero usando el solvente (hexano) como estándar.
11. Colocar una alícuota de la solución de carotenoides que es la que se encuentra encima de la solución (fase hexano) en una cubeta de vidrio. Golpear la cubeta para desprender las burbujas y llevar al espectrofotómetro a una lectura de 470 nm.
12. Si la absorbancia es por encima de 0.7, diluir la muestra con el solvente (hexano).
13. Calcular la concentración de carotenos usando la curva estándar y la ecuación siguiente (La concentración total de carotenoides será

expresado en base al Equivalente de  $\beta$ -caroteno):

Equivalente  $\beta$ -caroteno =  $(a+bX)(\text{mL hexano/g muestra})$  (Factor de dilución)  
(100)

Y se expresa en:

Equivalente  $\beta$ -caroteno = mg equivalente  $\beta$ -caroteno /100 g de muestra

- a. El término  $a + bX$  viene de la curva estándar. También puede ser en la forma  $bx$ .
- b. El término  $X$  se refiere a la absorbancia a 470 nm
- c. El término mL hexano, se refiere al volumen del solvente hexano usado.
- d. El término g de muestra, es el peso de la muestra original usado en el ensayo.
- e. Si la lectura de la absorbancia es la fase hexano es superior a 0.7, entonces se considera un factor de dilución. Por ejemplo, si 1 mL de la muestra es diluido a 10 mL de solución final, entonces el factor de dilución será 10.

*Fuente:* Elaboración propia

**Anexo 5.** Ficha de evaluación sensorial para la prueba de Aceptación

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre del producto: \_\_\_\_\_

Frente a usted hay dos muestras de aguaymanto osmodeshidratado, pruébelas una a una y marque con una (X) la escala de la muestra que usted prefiera en cuanto a su aceptabilidad.

Valor	ESCALAS	MUESTRAS	
		572	327
7	Me gusta muchísimo		
6	Me gusta mucho		
5	Me gusta		
4	Me es indiferente		
3	Me disgusta		
2	Me disgusta mucho		
1	Me disgusta muchísimo		

**COMENTARIOS.**

---

---

---

---

**Muchas Gracias!!!!**

*Fuente:* Elaboración propia

**Anexo 6. Análisis físico químico del aguaymanto**

<b>N°</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Peso</b>	<b>Peso cáliz</b>	<b>Peso pericarpio</b>	<b>Peso semillas</b>
1	2,00	7,73	0,53	6,93	0,27
2	1,22	5,30	0,31	4,75	0,24
3	1,35	6,30	0,41	5,65	0,24
4	1,24	5,74	0,32	5,15	0,27
5	1,21	5,54	0,59	4,70	0,25
6	1,22	5,62	0,36	5,04	0,22
7	1,95	7,32	0,55	6,57	0,20
8	1,91	7,19	0,50	6,45	0,24
9	1,85	6,06	0,70	5,14	0,22
10	1,20	5,49	0,59	4,68	0,22
11	1,25	5,96	0,55	5,15	0,26
12	2,00	7,40	0,54	6,64	0,22
13	1,88	7,13	0,35	6,40	0,38
14	1,15	4,53	0,43	3,88	0,22
15	1,89	6,22	0,71	5,25	0,26
16	1,89	6,87	0,68	5,95	0,24
17	2,01	7,52	0,36	6,75	0,41
18	1,87	6,86	0,45	6,15	0,26
19	1,88	6,99	0,57	6,20	0,22
20	1,82	6,46	0,45	5,80	0,21
21	1,83	6,52	0,50	5,75	0,27
22	1,16	4,52	0,50	3,75	0,27
23	1,87	6,96	0,40	6,24	0,32
24	2,02	7,16	0,39	6,42	0,35
25	1,27	6,00	0,34	5,38	0,28
<b>Total</b>	<b>40,94</b>	<b>128,23</b>	<b>9,95</b>	<b>113,23</b>	<b>5,05</b>
<b>Desv St.</b>	<b>0,348</b>	<b>0,873</b>	<b>0,124</b>	<b>0,872</b>	<b>0,054</b>
<b>Media</b>	<b>1,640</b>	<b>6,412</b>	<b>0,498</b>	<b>5,662</b>	<b>0,252</b>

*Fuente:* Elaboración propia

**Anexo 7.** Parámetros del color del aguaymanto osmodeshidratado por métodos combinados evaluados mediante el colorímetro Minolta.

Trat.	Luminosidad		Cromaticidad		Cromaticidad	
	L	$\sigma$	a	$\sigma$	b	$\sigma$
1	58,695	$\pm 0,0246$	13,824	$\pm 0,0115$	57,435	$\pm 0,0113$
2	57,943	$\pm 0,0158$	13,616	$\pm 0,0247$	58,163	$\pm 0,0256$
3	58,545	$\pm 0,0117$	13,758	$\pm 0,0076$	57,652	$\pm 0,0279$
4	58,545	$\pm 0,0268$	13,778	$\pm 0,0249$	57,585	$\pm 0,0124$
5	58,093	$\pm 0,0253$	13,662	$\pm 0,0114$	58,013	$\pm 0,0063$
6	58,695	$\pm 0,0175$	13,804	$\pm 0,0315$	57,524	$\pm 0,0314$
7	58,545	$\pm 0,0211$	13,778	$\pm 0,0252$	57,563	$\pm 0,0168$
8	58,244	$\pm 0,0178$	13,687	$\pm 0,0204$	57,919	$\pm 0,0316$
9	58,695	$\pm 0,0348$	13,807	$\pm 0,0254$	57,502	$\pm 0,0258$
10	58,244	$\pm 0,0175$	13,713	$\pm 0,0147$	57,830	$\pm 0,0122$
11	58,545	$\pm 0,0113$	13,762	$\pm 0,0047$	57,652	$\pm 0,0082$
12	58,244	$\pm 0,0082$	13,693	$\pm 0,0254$	57,896	$\pm 0,0264$
13	58,394	$\pm 0,0135$	13,753	$\pm 0,0077$	57,702	$\pm 0,0177$
14	58,394	$\pm 0,0262$	13,824	$\pm 0,0259$	57,435	$\pm 0,0302$
15	58,394	$\pm 0,0176$	13,824	$\pm 0,0081$	57,435	$\pm 0,0099$
16	58,394	$\pm 0,0314$	13,824	$\pm 0,0261$	57,435	$\pm 0,0263$
17	58,394	$\pm 0,0201$	13,824	$\pm 0,0425$	57,435	$\pm 0,0098$
18	58,394	$\pm 0,0134$	13,824	$\pm 0,0116$	57,435	$\pm 0,0221$
19	58,394	$\pm 0,0101$	13,824	$\pm 0,0083$	57,435	$\pm 0,0260$
20	58,394	$\pm 0,0064$	13,824	$\pm 0,0265$	57,435	$\pm 0,0255$

*Fuente:* Elaboración propia

**Anexo 8.** Porcentaje de retención de ácido ascórbico (%RAC) en aguaymanto osmodeshidratado por métodos combinados.

Trat.	mg de ácido ascórbico/100 g			Promedio	%RAC
	R1	R2	R3		
1	22,584	22,336	22,799	22,573	59,97
2	18,632	18,893	18,486	18,670	49,60
3	19,949	19,730	20,139	19,939	52,97
4	21,831	22,137	21,661	21,876	58,12
5	19,949	19,730	20,139	19,939	52,97
6	22,208	22,519	22,034	22,253	59,12
7	20,514	20,288	20,709	20,504	54,47
8	19,949	20,228	19,794	19,990	53,11
9	19,573	19,357	19,759	19,563	51,97
10	20,514	20,801	20,354	20,556	54,61
11	19,949	19,730	20,139	19,939	52,97
12	18,632	18,893	18,486	18,670	49,60
13	21,078	20,847	21,279	21,068	55,97
14	22,584	22,900	22,408	22,631	60,12
15	22,584	22,336	22,799	22,573	59,97
16	22,584	22,900	22,408	22,631	60,12
17	22,584	22,336	22,799	22,573	59,97
18	22,584	22,900	22,408	22,631	60,12
19	22,584	22,336	22,799	22,573	59,97
20	22,584	22,900	22,408	22,631	60,12

*Fuente:* Elaboración propia

**Anexo 9.** Porcentaje de retención de carotenos totales (%RCA) en aguaymanto osmodeshidratado por métodos combinados.

Tratam.	mg de $\beta$ carotenos/100 g			Promedio	$\sigma$	%RCA
	R1	R2	R3			
1	2,438	2,411	2,461	2,437	0,025	92,31
2	2,050	2,080	2,150	2,093	0,051	79,24
3	2,300	2,200	2,090	2,197	0,105	83,46
4	2,280	2,350	2,200	2,277	0,075	86,21
5	2,320	2,210	2,120	2,217	0,100	84,09
6	2,305	2,337	2,287	2,309	0,025	87,48
7	2,100	2,320	2,240	2,220	0,111	84,09
8	2,280	2,220	2,050	2,183	0,119	82,40
9	2,188	2,164	2,208	2,187	0,022	82,83
10	2,100	2,180	2,280	2,187	0,090	83,04
11	2,204	2,180	2,225	2,203	0,023	83,46
12	2,100	2,230	2,070	2,133	0,085	80,50
13	2,260	2,100	2,380	2,247	0,140	85,36
14	2,438	2,480	2,400	2,439	0,040	92,55
15	2,340	2,510	2,460	2,437	0,087	92,31
16	2,438	2,472	2,419	2,443	0,027	92,55
17	2,520	2,360	2,440	2,440	0,080	92,31
18	2,438	2,472	2,419	2,443	0,027	92,55
19	2,490	2,360	2,460	2,437	0,068	92,31
20	2,438	2,472	2,419	2,443	0,027	92,55

*Fuente:* Elaboración propia

**Anexo 10.** Respuesta global optimizada (RGO) en aguaymanto osmodeshidratado por métodos combinados.

<b>Trat.</b>	<b>RGO<sub>1</sub></b>	<b>RGO<sub>2</sub></b>	<b>RGO<sub>3</sub></b>	<b>RGO<sub>prom</sub></b>	<b><math>\sigma</math></b>
1	3,363	3,352	3,373	3,362	0,011
2	3,045	3,059	3,060	3,055	0,009
3	3,237	3,212	3,202	3,217	0,018
4	3,282	3,302	3,261	3,282	0,021
5	3,156	3,129	3,123	3,136	0,018
6	3,318	3,332	3,310	3,320	0,011
7	3,222	3,258	3,256	3,245	0,020
8	3,173	3,169	3,121	3,154	0,029
9	3,244	3,233	3,254	3,244	0,011
10	3,159	3,183	3,189	3,177	0,016
11	3,219	3,208	3,229	3,219	0,011
12	3,110	3,143	3,098	3,117	0,024
13	3,232	3,194	3,261	3,229	0,033
14	3,328	3,343	3,316	3,329	0,014
15	3,310	3,334	3,338	3,328	0,015
16	3,328	3,342	3,320	3,330	0,011
17	3,343	3,308	3,334	3,328	0,018
18	3,328	3,342	3,320	3,330	0,011
19	3,337	3,308	3,338	3,328	0,017
20	3,328	3,342	3,320	3,330	0,011

*Fuente:* Elaboración propia

**Anexo 11.** Resultados de la evaluación sensorial atributo “Aceptabilidad”

<b>N°</b>	<b>Panelistas</b>	<b>572</b>	<b>327</b>
1	José Campuzano Osorio	5,00	5,00
2	Tapia Maurio, Wilmer	5,00	6,00
3	Badajos Arones, Deysi, Carolina	5,00	7,00
4	Palomino Rayme, Mark	6,00	7,00
5	Casaico Condori, Maricarmen	6,00	6,00
6	Yucra Rua, Diana	4,00	6,00
7	Villanueva Bellido Wilmer	5,00	6,00
8	Curo Escalante, Vanessa	4,00	6,00
9	Moreno Casavilca, Julio Cesar	5,00	7,00
10	Medrano Calle, Jhon Kennedy	4,00	6,00
11	Beltrán Cahuana, Ruth Daniela	5,00	6,00
12	Chancos Huacachi, Tulia	5,00	5,00
13	Enciso López, Liz Danesa	5,00	6,00
14	Chávez Soto, Liz Pamela	4,00	6,00
15	Sánchez Quispe, Edison	5,00	6,00
16	Meneses Cuadros, Hugo	4,00	5,00
17	Álvaro Sotelo Fernández	4,00	6,00
18	Alcca Chaupin, Ruth Nery	5,00	6,00
	<b>Promedio</b>	<b>4,78</b>	<b>6,00</b>

*Fuente:* Elaboración propia

**Anexo 12.** Fotos realizadas de la investigación.



**Foto 1:** Pesado del aguaymanto

*Fuente:* Elaboración propia



**Foto 2:** Proceso de osmodeshidratado combinado (ODUPV)

*Fuente:* Elaboración propia