

**CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y NUTRICIONAL DE PASABOCAS DE CHONTADURO (*Bactris gasipaes*) EMPLEANDO PARA SU ELABORACIÓN DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE SECADO**

**YURANY MONTEALEGRE RAMÍREZ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y BIOMATERIALES  
FLORENCIA, CAQUETÁ**

**2020**

**CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y NUTRICIONAL DE PASABOCAS DE  
CHONTADURO (*Bactris gasipaes*) EMPLEANDO PARA SU ELABORACIÓN  
DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE SECADO**

**YURANY MONTEALEGRE RAMÍREZ**

**Trabajo de grado para optar el título de especialista en procesos de  
alimentos y biomateriales**

**DIRECTOR**

**Mg. BEATRIZ GUEVARA GUERRERO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y BIOMATERIALES  
FLORENCIA, CAQUETÁ**

**2020**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

Ciudad y fecha:

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

El autor de la presente propuesta manifiesta que conoce el contenido del Acuerdo 06 de 2008, Estatuto de Propiedad Intelectual de la UNAD, Artículo 39 referente a la cesión voluntaria y libre de los derechos de propiedad intelectual de los productos generados a partir de la presente propuesta. Asimismo, conoce el contenido del Artículo 40 del mismo Acuerdo, relacionado con la autorización de uso del trabajo para fines de consulta y mención en los catálogos bibliográficos de la UNAD.

Yurany Montealegre Ramírez.

## **DEDICATORIA**

A Dios quien todo me lo ha dado.

A mi esposo José Mauricio y mis hijos Juan Diego e Isabela por ser mi apoyo incondicional. Gracias por la paciencia y la motivación.

A mis amados padres, Alberto y Cielo, por amarme como a la niña de sus ojos.

## GLOSARIO

**Capacidad Antioxidante:** es la capacidad de un compuesto para inhibir la degradación oxidativa. Los compuestos fenólicos son los principales antioxidantes de los alimentos. En los aceites vegetales y grasas, estos compuestos son básicamente monofenólicos, principalmente tocoferol (vitamina E); mientras que en productos con alta actividad del agua como frutas, vegetales, grano de café fresco, vino, entre otros estos compuestos son típicamente hidrosolubles (Thaiponga et al., 2006).

**Chontaduro:** El *Bactris gasipaes* es un vegetal de la familia de las arecáceas, cultivado artesanalmente en el trópico cálido húmedo de América Latina. El fruto es un conjunto de drupas (una semilla por fruto), que tienen forma cónica, ovoide o elipsoidal, cubiertas con una capa amilácea de espesura variable, acomodadas en racimos con colores diversos: rojo, amarillo, anaranjado, jaspeado (Escobar et al., 1998).

**Osmodeshidratación:** es el proceso mediante el cual se introduce un producto alimenticio en una solución con alta presión osmótica, creando un gradiente de concentración entre el agua contenida en el alimento y el agua en la solución, originando la transferencia de agua desde el interior del producto, para igualar los potenciales químicos en ambos lados de las membranas de las células del vegetal. Estas membranas son semipermeables, permiten el paso del agua y en menor cantidad de solutos, generando como efecto neto, la pérdida de agua por parte del producto (Molano et al., 1996).

**Secado:** es la aplicación de calor en condiciones controladas para evaporar el agua de los alimentos. Su principal propósito es aumentar la vida útil de los alimentos mediante la reducción de la actividad del agua, inhibiendo el crecimiento microbiano y la actividad enzimática (Sharma, et al., 2003).

## RESUMEN

El chontaduro (*Bactris gasipaes*) es una de las frutas exóticas más importantes para Colombia con 8428 ha sembradas que arrojaron una producción de 49041 ton durante el 2018. Su importancia alimentaria radica en el valor nutritivo del fruto, representado en altos niveles de fibra, ácidos grasos, proteínas, vitaminas, minerales y bajo contenido de sodio y azúcares (Yuyama et al., 2003); a tal punto de ser considerado el más balanceado de todos los alimentos del trópico.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar fisicoquímicamente, nutricionalmente el pasaboca de chontaduro obtenido por tres métodos diferentes de secado: liofilización (L), ventana de refractancia (VR) y convección forzada (CF); utilizando la osmodeshidratación como proceso previo. Se evaluó el efecto del método de secado sobre el contenido de humedad, fibra dietaria, vitaminas A y C, capacidad antioxidante y fuerza de fractura del pasaboca de chontaduro. Se encontró que los métodos de secado por (L), (VR) y (CF) presentaron diferencias significativas ( $\alpha=0,05$ ) sobre las variables de respuesta (fibra, vitaminas A y C) y las otras variables (Capacidad antioxidante y fuerza de fractura) no presentaron diferencias significativas. El mayor contenido de fibra, vitamina A y vitamina C se obtuvo por L 20,60 g/100g, 191,01 UI/100g y 10,83 mg/100g, respectivamente. En la capacidad antioxidante el valor mayor encontrado fue VR 3034,00  $\mu\text{moles eq.Trolox/g}$ , y el valor mayor de fuerza de fractura fue mediante la técnica de VR 218,35 N. La liofilización es el proceso más adecuado para la obtención de un pasaboca de chontaduro, con respecto a las características fisicoquímicas y nutricionales evaluadas en la presente investigación.

Palabras Claves: Chontaduro, osmodeshidratación, secado, liofilización, ventana de refractancia, convección forzada.

## ABSTRACT

The peach palm fruit (*Bactris gasipaes*) is one of the most important exotic fruits for Colombia that has 8428 hectares planted that produced 49041 tons during 2018. Its food importance is in the nutritional value of the fruit represented in high levels of fiber, fatty acids, proteins, vitamins, minerals and low sodium and sugar content (Yuyama et al., 2003); to the point of being considered the most balanced of all tropical foods.

The purpose of this work was to physicochemically and nutritionally characterize the peach palm fruit snack obtained by three different drying methods: freeze-dried (FD), refractive window (RW) and forced convection (FC); using osmodehydration as a previous process. The effect of the drying method on the moisture content, dietary fiber, vitamins A and C, antioxidant capacity and fracture strength of the peach palm fruit snack was evaluated. It was found that the drying methods by freeze-dried (FD), refractive window (RW) and forced convection (CF) showed significant differences ( $\alpha=0.05$ ) over the response variables (fiber, vitamins A and C) and the other variables (antioxidant capacity and strength of fracture) did not show significant differences. The highest fiber, vitamin A and vitamin C content was obtained by (FD) 20.60 g / 100g, 191.01 IU / 100g and 10.83 mg / 100g respectively. In the antioxidant capacity the highest value found was (RW) 3034.00  $\mu$ moles eq.Trolox / g, and the highest value of fracture strength was (RW) 218.35 N. Freeze-dried is the most suitable process for obtaining a peach palm fruit snack, with respect to the physicochemical and nutritional characteristics evaluated in the present investigation

Keywords: Peach palm fruit, osmodehydration, drying, freeze-dried, refractive window, forced convection.



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Directora Beatriz Guevara, quien sin conocerme creyó en mí y me brindó una nueva oportunidad.

A las empresas vallecaucanas Productos de la Provincia, Zero Colombia, por permitir desarrollar el presente estudio en sus instalaciones.

A la Escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle, Laboratorio de Fenómenos de Transporte y Laboratorio Propiedades Físicas y Fenómenos de Transferencia por su apoyo como institución.

A los laboratorios del Centro Agropecuario de Buga (SENA), Angel Bioindustrial, Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) y Tecnimicro de Medellín.

Y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para culminar con éxito este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo General .....	16
2.2 Objetivos Específicos .....	16
3. MARCO TEÓRICO .....	17
3.1 Producción de chontaduro en el mundo .....	17
3.2 Producción de chontaduro en Colombia.....	19
3.3 Tecnologías de deshidratación .....	20
3.3.1 Osmodeshidratación (OD).....	21
3.3.2 Liofilización .....	25
3.3.3 Secado por Ventana de Refractancia.....	28
3.3.4 Secado por Convección forzada.....	29
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	32
4.1. Caracterización fisicoquímica de materia prima.....	32
4.2 Determinación de las condiciones del proceso de osmodeshidratación (OD) como pretratamiento de secado del chontaduro.....	35
4.3 Elaboración de un pasaboca de chontaduro .....	38
4.4 Evaluación del efecto de la tecnología de secado (liofilización, ventana de refractancia y convección forzada) sobre propiedades fisicoquímicas, nutricionales y microbiológicas del pasaboca de chontaduro.....	40
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
5.1 Caracterización fisicoquímica de materia prima (fruto fresco).....	42
5.2 Evaluación del proceso de osmodeshidratación (OD) como pretratamiento de secado del chontaduro.....	47
5.3 Elaboración de un pasaboca de chontaduro .....	55
5.4 Evaluación del efecto de la tecnología de secado (Liofilización, ventana de refractancia y convección forzada) sobre propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del pasaboca de chontaduro.....	56
6. CONCLUSIONES .....	61
7. RECOMENDACIONES.....	62
8. BIBLIOGRAFÍA.....	63
9. ANEXOS .....	75

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de chontaduro en América Latina. ....	17
Figura 2. Partes del fruto de chontaduro. ....	18
Figura 3. Fruto de chontaduro cosechado 90 días después de abierta la espata. ....	19
Figura 4. Principales departamentos productores de Chontaduro en 2018. ....	20
Figura 5. Esquema de los procesos de transferencia de masa durante la deshidratación – impregnación con solutos. ....	22
Figura 6. Etapas principales en el procesamiento de productos osmodeshidratados. ....	23
Figura 7. Estructura química de algunos carbohidratos de baja digestibilidad utilizados como agentes osmóticos. ....	24
Figura 8. Diagrama de fases de agua y sistemas de secado. ....	26
Figura 9. Etapas del proceso de liofilización. ....	26
Figura 10. Transferencia de energía térmica del sistema de secado VR™. ....	29
Figura 11. Esquema típico de un secador convectivo de bandejas. ....	30
Figura 12. Grado de Maduración del chontaduro. ....	32
Figura 13. Texturometro Shidmazu EZ – test. ....	34
Figura 14. Escaldado de frutos de chontaduro. ....	35
Figura 15. Obtención de pulpa de chontaduro: a) Pelado manual, b) pulpa del fruto. ....	36
Figura 16. Proceso de experimentación para la obtención pasaboca de chontaduro. ....	39
Figura 17. Secador de Ventana de Refractancia™. ....	40
Figura 18. Contenido de Solidos Solubles (°Brix) en función del tiempo de OD (tOD) para los diferentes agentes osmóticos. ....	48
Figura 19. Pérdida de peso (Pp en base decimal) en función del tiempo de OD (tOD) para los diferentes agentes osmóticos. ....	49
Figura 20. Perdida de agua (Pa en base decimal) en función del tiempo de OD (tOD) para los diferentes agentes osmóticos. ....	50
Figura 21. Ganancia de Solidos Totales (Gst en base decimal) en función del tiempo de OD (tOD) para los diferentes agentes osmóticos. ....	51
Figura 22. Ganancia de Solidos Solubles totales (Gss en base decimal) en función del tiempo de OD (tOD) para los diferentes agentes osmóticos. ....	51
Figura 23. Preparación solución (Alulosa / Polidextrosa 25%/25%). ....	53
Figura 24. Evolución del contenido de humedad en base seca (Hbs base decimal) en función del tiempo de OD (tOD) para los diferentes agentes osmóticos. ....	54

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición porcentual y real de los jarabes de osmodeshidratación utilizados para la pulpa de chontaduro. ....	37
Tabla 2. Caracterización de frutos de chontaduro frescos. ....	42
Tabla 3. Contenido de fibra dietaria de frutos tropicales. ....	43
Tabla 4. Comparación del contenido Vitaminas A y C de pulpa de chontaduro ( <i>Bactris gasipaes</i> ) con pulpa de otros frutos tropicales reportados por diferentes autores. ....	44
Tabla 5. Ficha técnica de chontaduro fresco. ....	46
Tabla 6. Condiciones del jarabe para la osmodeshidratación como pretratamiento previo al secado. ....	55
Tabla 7. Comparación de propiedades fisicoquímicas de pulpa de chontaduro fresca y pasaboca de chontaduro obtenido por diferentes métodos de secado (L, VR y CF). ....	57
Tabla 8. Recuento de mohos y levaduras en pasaboca de chontaduro obtenido por diferentes métodos de secado (L, VR y CF). ....	59

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados OD con solución Maltitol al 50% .....	75
Anexo 2. Resultados OD con solución fructosa al 50%.....	75
Anexo 3. Resultados OD con solución Alulosa 25%/ Polidextrosa 25% .....	76
Anexo 4. Resultados OD con solución Maltitol 60%.....	76
Anexo 5. Resultados OD con solución Alulosa 60%.....	76
Anexo 6. ANOVA Fibra Dietaria .....	77
Anexo 7. ANOVA Vitamina A.....	79
Anexo 8. ANOVA Vitamina C .....	81
Anexo 9. ANOVA Capacidad Antioxidante.....	83
Anexo 10. ANOVA Fuerza Máxima .....	84

## 1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país con grandes perspectivas y oportunidades de crecimiento en el mercado frutícola nacional e internacional, puesto que puede producir frutas desde el nivel del mar hasta 2.800 metros de altitud, durante todo el año. Entre la producción frutícola, se encuentran especies exóticas, muy promisorias por su calidad organoléptica y nutricional, pero que necesitan mucha investigación para imponerse en el mercado actual (Tafur et al., 2006).

El departamento del Cauca es el principal productor de chontaduro (*Bactris gasipaes*), con una producción anual estimada de 15795 t, seguido por el departamento del Putumayo y Valle del Cauca, según los reportes estadísticos de Agronet - MinAgricultura (2018). El chontaduro, gracias al valor nutritivo de su fruto, representado en altos niveles de fibra, grasa,  $\beta$ -caroteno, ocho aminoácidos esenciales y bajo contenido de sodio y azúcares es considerado como una importante alternativa de cultivo alimentario (Yuyama et al., 2003). Aunque las características del chontaduro lo hacen un fruto atípico por ser rico en grasa, poseer un pH de 6.5 y una humedad relativamente baja, no lo hacen diferente a otros frutos en cuanto al proceso degradativo por efecto de microorganismos y enzimas que dificultan su proceso de agroindustrialización en fresco.

El secado podría ser una alternativa de agroindustrialización de este fruto, el cual permitiría obtener pasabocas con características similares a la fruta fresca, con tiempo de vida útil considerable, y de fácil comercialización nacional e internacional. Sin embargo, la mayoría de industrias que elaboran frutas secas utilizan el secado por convección forzada por ser un proceso viable y económico, pero se presenta una gran desventaja en cuanto a la pérdida de micronutrientes (vitaminas) en el producto final, dada los largos tiempos de retención y las altas temperaturas que manejan para reducir la actividad del agua. Estas condiciones operativas generan en los alimentos pérdida en las características organolépticas (color, aroma, sabor y textura) y nutricionales.

Se hace necesario entonces evaluar nuevas tecnologías de secado con las cuales se pueda obtener un pasaboca de chontaduro como producto exportable por su contenido de humedad, fibra dietaria, vitamina A y C, capacidad antioxidante y características organolépticas y microbiológicas especiales.

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar fisicoquímicamente y nutricionalmente un pasaboca de chontaduro (*Bactris gasipaes*) evaluando tres tecnologías de secado: liofilización (L), ventana de refractancia (VR) y convección forzada (CF).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

- Caracterizar fisicoquímicamente y nutricionalmente un pasaboca de chontaduro (*Bactris gasipaes*) empleando para su elaboración diferentes tecnologías de secado.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la pulpa de chontaduro fresco, como materia prima, mediante la cuantificación de humedad, cenizas, fibra dietaria, capacidad antioxidante, vitamina A y C, sólidos solubles, pH y textura.
- Establecer las condiciones del proceso de osmodeshidratación como pretratamiento de secado del chontaduro.
- Elaborar un pasaboca de chontaduro utilizando tres tecnologías de secado: liofilización (L), ventana de refractancia (VR) y convección forzada (CF).
- Evaluar el efecto de la tecnología de secado (liofilización (L), ventana de refractancia (VR) y convección forzada (CF)) sobre las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y microbiológicas del pasaboca de chontaduro.



### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Producción de chontaduro en el mundo

El chontaduro (*Bactris gasipaes*) es un fruto tropical de América Latina, que se cultiva desde Honduras hasta Bolivia (Figura 1), en territorios con una altitud menor a 1.000 m.s.n.m, precipitaciones anuales entre 2.000 y 5.000 mm y temperatura promedio de 22 °C (Leterme et al., 2005; Pinzón et al., 2015). Esta palma fue la principal fuente de alimentación de las tribus precolombinas (Mora et al., 1997).

**Figura 1.** Distribución de chontaduro en América Latina.



Fuente: Graefe et al., 2012.

Pertenece a la familia de las arecáceas y de acuerdo a la región donde se consume, es conocido con diferentes nombres: chontaduro, pejibaye, cachipay, peripao y pupuña macanilla, entre otros (Restrepo et al., 2012).

En términos botánicos, cuando la palma alcanza su madurez, su altura oscila entre 12 a 20 metros. Su tronco es recto y delgado (13 a 15 cm de grosor), y está armado de unas espinas negras, rígidas y afiladas. Las grandes hojas (2 a 4 metros de largo), de color verde oscuro crean una corona en la parte alta del árbol (Institute of Tropical Agriculture, 1980).

Los frutos presentan diferentes formas: ovoide, cilíndrica, cónica o achatada, con dimensiones de 2 a 7 cm de largo, y presentan un epicarpio delgado que cubre al fruto (Figura 2). La parte comestible está conformada por el mesocarpio (pulpa), generalmente, de color rojizo, naranja claro o amarillo. Cada fruto tiene una sola semilla, que presenta en su interior una almendra similar en color, sabor y textura a la del coco (Pinzón et al., 2015).

**Figura 2.** Partes del fruto de chontaduro.



Fuente: Peña et al., 2014

Dependiendo del ecotipo, el peso total de la fruta varía entre 20 y 100 g (Vargas y Argüelles, 2000). El peso de la semilla varía de 3 a 4 g (Ordóñez et al., 2015). A su vez, el fruto está conformado en un 81% por pulpa (mesocarpio), 11% piel (epicarpio) y el 8% restante por semilla, de acuerdo con lo reportado por Ordóñez et al. (2015) y por Vargas y Argüelles (2000).

Una de los aportes nutritivos más significativos del mesocarpio, lo representa la fracción lipídica (8 % y 23 %, y cerca de la mitad del contenido graso lo constituyen aceites insaturados) y su alto contenido de carotenoides (22,30 mg/100 g), según lo reportado por Jatunov et al. (2010). Debido a esto, Yuyama et al. (2003) asocia su consumo con un mejor estado de salud de las personas, relacionado con una disminución del colesterol total, de lipoproteínas de baja densidad y de triglicéridos en la sangre, sin afectar el contenido de lipoproteínas de alta densidad.

La cosecha de los frutos de chontaduro debe producirse después de 90 días de abierta la cubierta espinosa (espata) que protege el racimo. Para esta fecha los frutos presentan en su corteza predominio de color, rojo amarillo y anaranjado (Figura 3). Racimos cosechados con anticipación tienen mayor porcentaje de frutos verdes (Orduz, 2002).

**Figura 3.** Fruto de chontaduro cosechado 90 días después de abierta la espata.



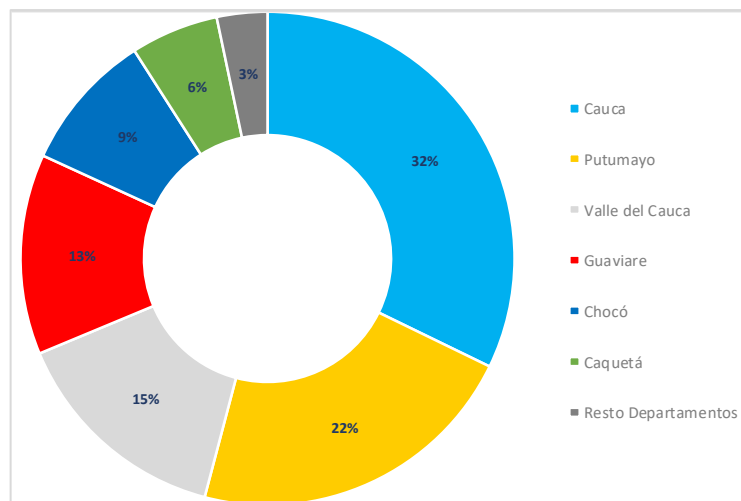
Fuente: Orduz, 2002.

### 3.2 Producción de chontaduro en Colombia

En Colombia, el chontaduro se encuentra bien representado en las regiones del Pacífico y Amazonía, donde es cultivado artesanalmente, y cosechado dos veces al año. El rico aporte de nutrientes del fruto (carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas, minerales y fibra), lo hacen un gran exponente de la nutraceutica, es decir aquellos que además de ser alimentos cumplen la función medicinal (CRC, 2007). Según los reportes estadísticos

de Agronet – Ministerio de Agricultura (2018), en Colombia hay un área sembrada 8428 ha de chontaduro que generan una producción anual de 49041 t de fruto. El departamento del Cauca es el principal productor de chontaduro, con una producción anual estimada de 15.795,0 t, seguido por el departamento del Putumayo con 10.734,4 t, Valle del Cauca con 7.167,0 t, Guaviare 6440 t, Chocó 4.460,0 t y Caquetá 2.821,2 t (Figura 4). El fruto del chontaduro se comercializa principalmente con una mínima transformación (solo cocción) para el consumo humano (Pinzón et al., 2015). Del procesamiento artesanal se obtienen productos como harina, mermelada y conserva (Godoy et al., 2007).

**Figura 4.** Participación de principales departamentos productores de Chontaduro en 2018.



Fuente: Agronet y Ministerio de Agricultura, 2018.

### 3.3 Tecnologías de deshidratación

La deshidratación es una operación unitaria cuya finalidad es preservar alimentos altamente perecederos, como frutas y hortalizas, cuyo contenido de agua generalmente es superior al 90%. La finalidad de este método es disminuir el contenido de humedad de los alimentos, para reducir la actividad acuosa, la actividad enzimática y la capacidad de los microorganismos de desarrollarse sobre el alimento. La eficiencia del proceso está

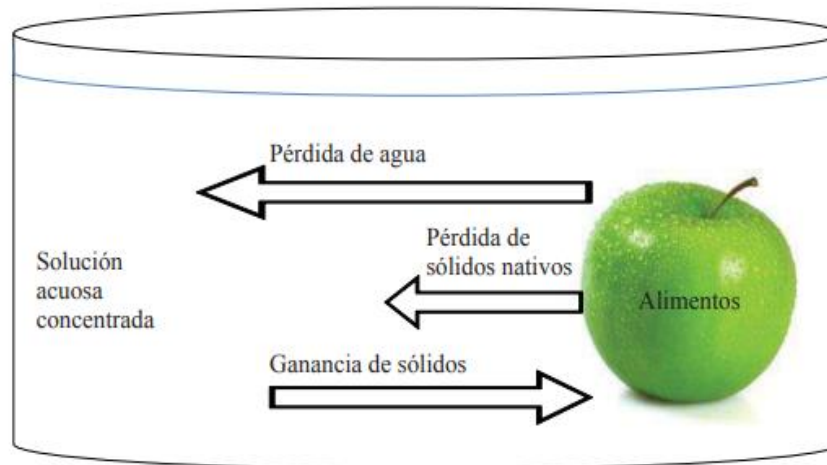
determinada por la resistencia interna que ejerce el tejido al movimiento del agua hacia la superficie, y por la resistencia externa que se genera entre la superficie del alimento y el fluido deshidratante (Muratore et al., 2008). La deshidratación es una técnica muy utilizada cuando se desean conservar alimentos por largo tiempo o cuando no se consiguen alimentos frescos a la mano (Grajales et al., 2005).

### **3.3.1 Osmodeshidratación (OD).**

Entre las técnicas de deshidratación de frutas con mayor proyección, se encuentra la osmodeshidratación, una operación que permite reducir parcialmente el contenido de agua de un alimento, por inmersión en una solución hipertónica, que no afecta desfavorablemente su calidad (Rastogi et al., 2002). La difusión del agua desde los tejidos hacia la solución se produce debido a la diferencia de presión osmótica (actividad acuosa), entre el alimento y la solución. Los medios de deshidratación son generalmente soluciones acuosas concentradas de azúcar, sal, o mezclas de diversos azúcares y/o sales. Cuando no se desea apreciar dulzor en el alimento, como en el caso de hortalizas se emplean sustitutos de azúcar (alcoholes de alto peso molecular) o la conjunción de sal y azúcar u otros edulcorantes para enmascarar a estos últimos (Rocca, 2010). En la figura 5, se puede observar que, junto a la eliminación parcial del agua del alimento, algunos solutos son arrastrados por el agua hacia la solución representando una pérdida para el alimento; pero a su vez hay una ganancia de solutos por parte del alimento desde la solución.

La magnitud de la pérdida de agua y ganancia de sólidos dependen de tres factores: las características del producto alimenticio (forma, tamaño, estructura, composición y tratamiento previo); de las propiedades de la solución deshidratante (tipo de solutos, concentración); y de las condiciones del proceso (temperatura, agitación, presión, relación masa a masa del producto) (Della, 2010).

**Figura 5.** Esquema de los procesos de transferencia de masa durante la deshidratación – impregnación con solutos.



Fuente: Adaptado de Bonazzi et al., 1996.

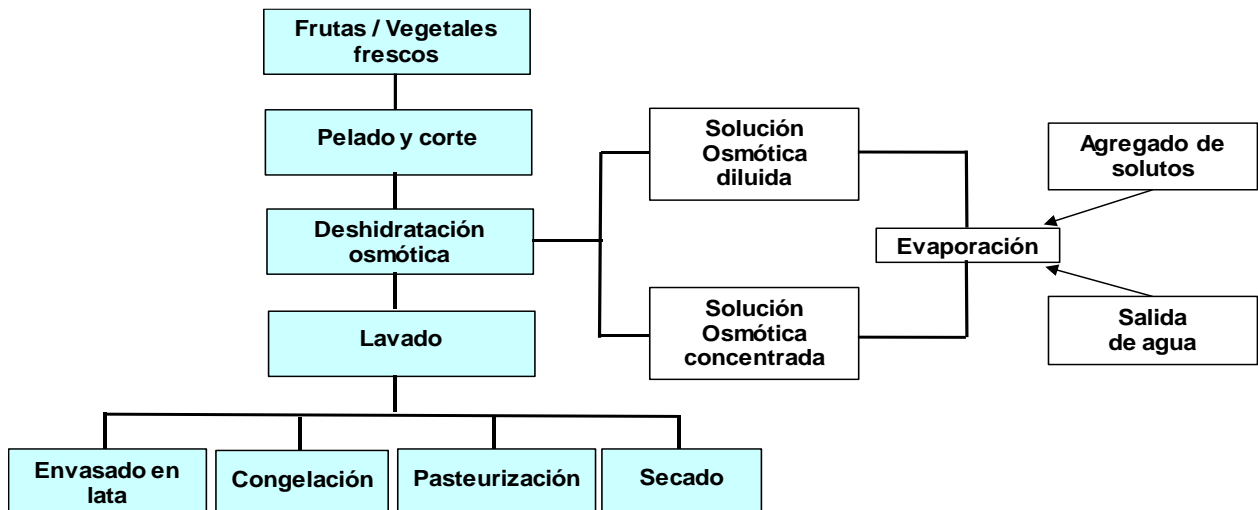
Las propiedades de la solución deshidratante afectan fuertemente la eficiencia de la osmodeshidratación. De hecho, un factor decisivo para elegir el agente osmótico es su influencia sobre la pérdida de agua / ganancia de sólidos y, en consecuencia, su tendencia a promover o reducir la impregnación (Sacchetti et al., 2001).

Generalmente, la reducción de la actividad acuosa que genera la osmodeshidratación, no estabiliza totalmente el alimento, solamente, alarga su vida útil. La pérdida de agua puede ser aproximadamente del 50 al 60% de su contenido inicial, produciendo significativas modificaciones en el volumen y estructura del alimento, así como en sus coeficientes de difusión y de transferencia de masa (Rocca, P. 2010).

Dado esto, la deshidratación osmótica se usa como pretratamiento de muchos procesos para reducir el contenido de agua, mejorando las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales del alimento sin modificar su integridad (Torreggiani, 1993). Es ampliamente utilizado como tratamiento previo de procesos como la congelación, pasteurización y secado. En la Figura 6 se esquematizan las principales etapas en el

procesamiento de productos osmodeshidratados:

**Figura 6.** Etapas principales en el procesamiento de productos deshidratados osmóticamente.



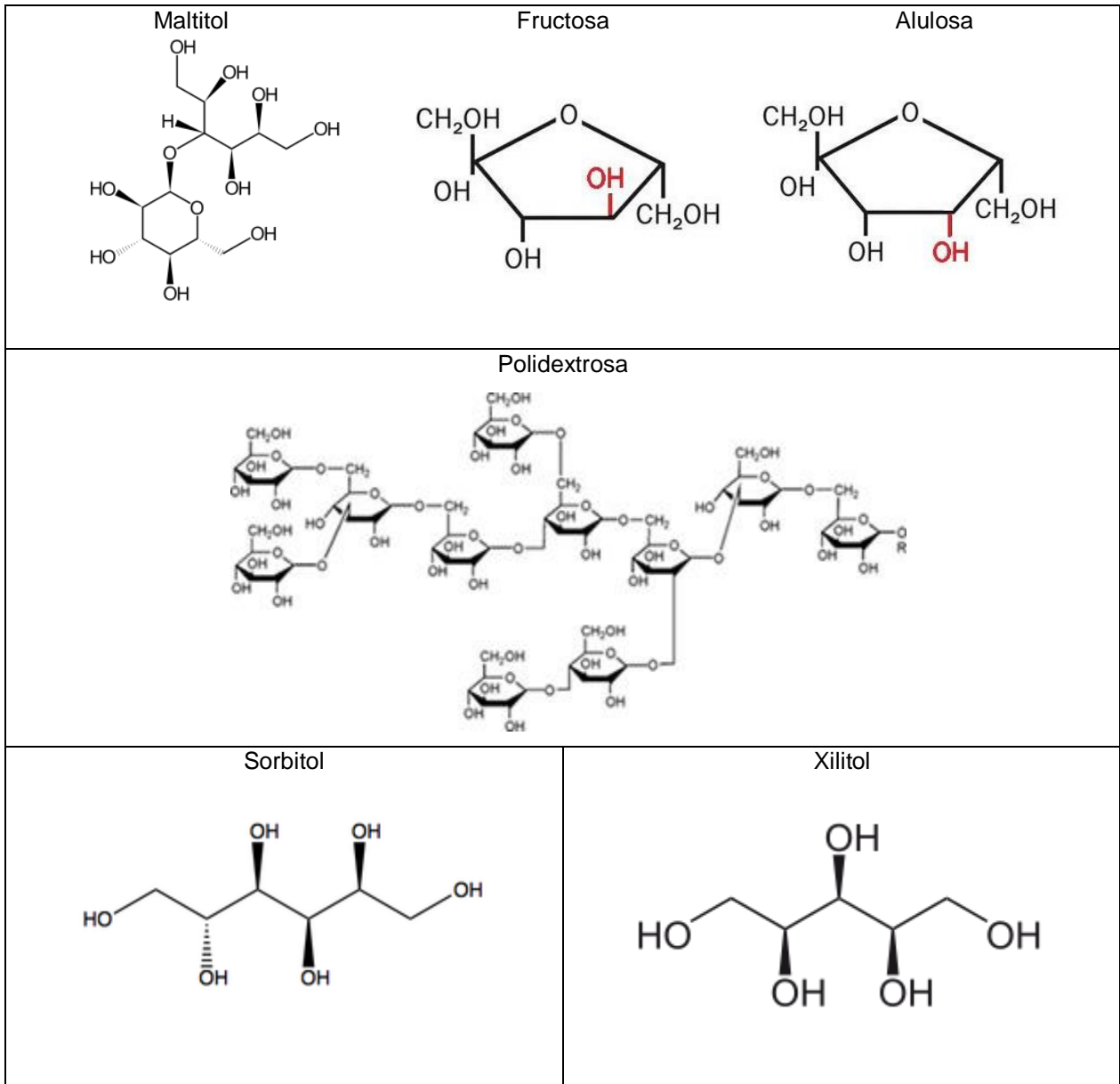
Fuente: Rocca, 2010.

La osmodeshidratación como tratamiento previo al secado es ampliamente utilizada debido a la versatilidad que ofrece para el diseño de nuevos productos y a los antecedentes revelados que dan cuenta de la mejora de la calidad que se obtiene al utilizarla como pretratamiento en procesos combinados (Wais, 2011).

Debido a la creciente demanda de alimentos bajos en calorías que preserven a su vez un sabor dulce adecuado, los polialcoholes y/o carbohidratos de baja digestibilidad constituyen una de las áreas de mayor impacto biotecnológico al utilizarse como alternativa de la sacarosa, la cual está relacionada con enfermedades como la diabetes y la obesidad (Cubero et al., 2002).

En la figura 7, se observa la estructura química de algunos carbohidratos de baja digestibilidad utilizados como agentes osmóticos.

**Figura 7.** Estructura química de algunos carbohidratos de baja digestibilidad utilizados como agentes osmóticos.



Fuente: Rodríguez, 2014.

La cinética de los procesos osmóticos normalmente se expresa en términos de la pérdida de agua (Pa), pérdida de peso (Pp), y la ganancia de sólidos (Gst) (Maestrellí, 1997).



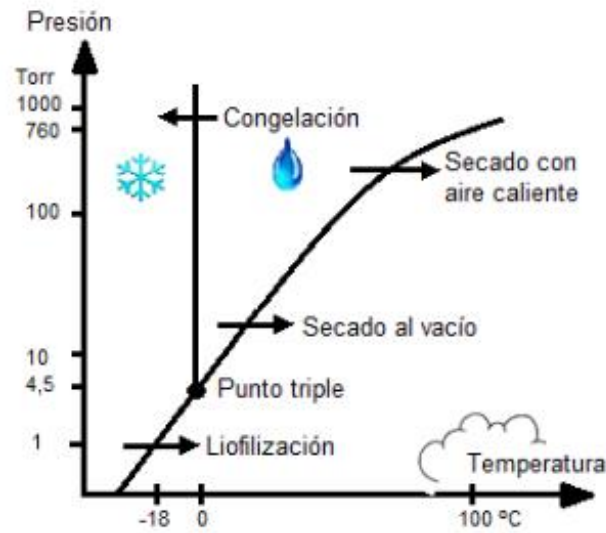
### 3.3.2 Liofilización

La liofilización ha sido considerada como la mejor operación unitaria de deshidratación, que además de reducir el contenido de humedad, conserva las características organolépticas y nutritivas del alimento, otorgándole un valor agregado aproximado del 120% (Ramírez, 2011). Esta técnica reduce pérdidas de los componentes responsables del aroma y sabor (Grajales et al., 2005) y de vitaminas y minerales los cuales se ven afectados en los procesos convencionales de secado (Marques et al., 2007).

El fundamento de este proceso es la sublimación del contenido de agua (hielo) en el alimento (Marques & Freire, 2005; Grajales et al., 2005). Gracias a una congelación rápida se produce el estado sólido del agua protegiendo la estructura primaria, forma y volumen del alimento (Marques et al., 2007). Con el agua en estado sólido, se procede a realizar la sublimación, la cual es mucho más eficiente a presiones bajas (vacío), pues el agua se extrae bajo el gradiente de presión total. En el diagrama de fases del agua ilustrado en la figura 8, se observa que la sublimación ocurre cuando el agua se encuentra en fase sólida, y gracias a la aplicación de presiones bajas, pasa directamente a la fase gaseosa (Ramírez, 2011)

Son factores fundamentales en la calidad de los productos liofilizados las condiciones de operación y las características de la materia prima. Dentro de las condiciones de operación, se encuentra la velocidad de congelación, la presión de la cámara y la velocidad de calentamiento. En las características de la materia prima, cuando se trata de frutos, un factor determinante es el grado de madurez (Grajales et al., 2005).

**Figura 8.** Diagrama de fases de agua y tipos de secado.

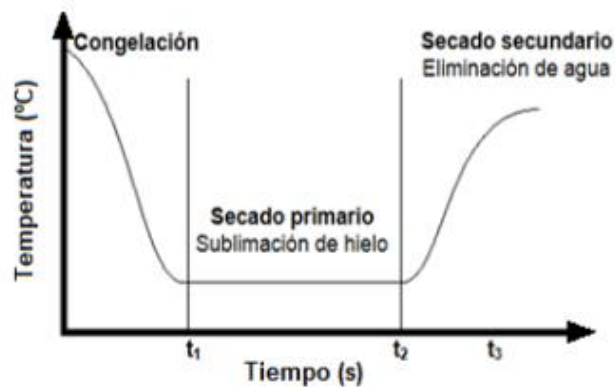


Fuente: Ramírez, 2011.

- **Etapas del proceso de liofilización**

El fundamento de liofilización consta de tres etapas: congelación, secado primario y secado secundario (Figura 9).

**Figura 9.** Etapas del proceso de liofilización.



Fuente: Barbosa & Vega, 2000.

**Congelación.** El producto a liofilizar se somete a bajas temperaturas con el fin de que el agua que contiene el alimento pase de fase líquida a sólida, buscando la redistribución del soluto y una concentración relativa de la congelación parcial del agua (Rangel, 2004). La temperatura se reduce hasta que el hielo inicie su etapa de formación de cristal (nucleación), para luego iniciar la etapa de crecimiento del hielo. Este proceso es definitivo para la formación del estado físico y morfológico del producto congelado, lo que puede garantizar la calidad del producto liofilizado como el rendimiento del proceso (Kasper & Friess, 2011).

Se busca que el producto congelado presente una estructura sólida uniforme, sin espacios en los que haya líquido concentrado, y así garantizar que todo el secado ocurra por sublimación. En los alimentos congelados se pueden obtener diversas estructuras que incluyen cristales de hielo, eutécticos, mezclas de eutécticos y zonas vítreas amorfas, propiciadas por la presencia de azúcares, alcoholes, cetonas, aldehídos y ácidos, así mismo como por las altas concentraciones de sólidos en el producto inicial (Shofian et al., 2011).

Es en esta etapa donde se establece la estructura y las características del producto a obtener después del secado, por lo que se hace importante conocer y controlar las variables de esta operación, como son la frecuencia, temperatura mínima de congelación, temperatura de la capa de congelación durante el secado, velocidad óptima de enfriamiento y temperatura mínima de fusión incipiente (Ceballos et al., 2012).

**Secado primario.** Al producto congelado se le incrementa la temperatura en condiciones de vacío para eliminar el agua por sublimación, mientras el producto se mantiene por debajo del punto eutéctico (Ayala et al., 2010b). La eliminación del agua en esta etapa, es aproximadamente del 90% del agua total del alimento (Welti et al., 2005). La presión de la cámara, es la variable de operación más importante; pues influye directamente en el tiempo de secado: a menor presión de secado, menor presión de vapor en la superficie externa del producto (Evrantz et al., 2011). La permeabilidad a la difusión de vapor

aumenta con la porosidad y tamaño de poro, lo que se traduce en un aumento de la velocidad de sublimación (Khalloufi et al., 2004; Ramírez, 2011).

**Secado secundario.** Tiene el objetivo de evaporar el agua que no se sublimó en el secado primario, porque estaba ligada al producto. Para esta etapa el alimento debe poseer menos del 3% del agua que contenía inicialmente (Welti et al., 2005).

### 3.3.3 Secado por Ventana de Refractancia.

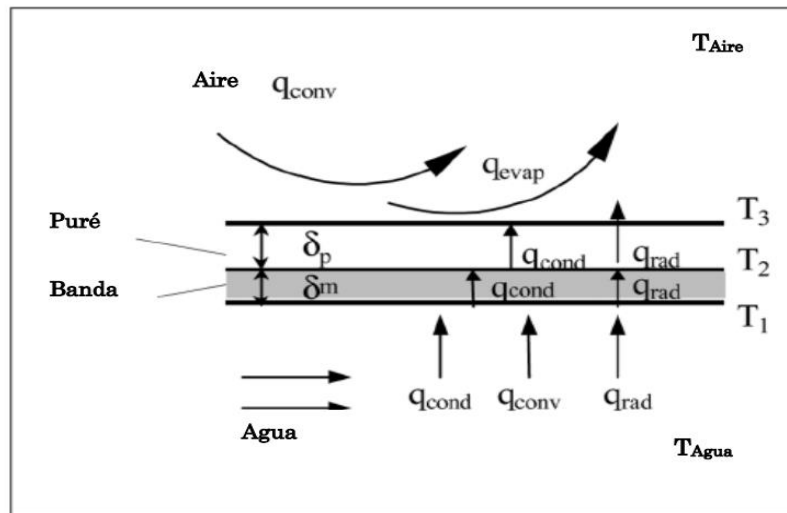
El método de secado por Ventana de Refractancia™(VR), fue desarrollado por la empresa MCD Technologies, Inc., en Tacoma, Washington, como una alternativa para reducir el contenido de humedad, sin afectar tan drásticamente las propiedades organolépticas y nutricionales del producto. Esta técnica se ha comparado en varios estudios (Abonyi et al., 2001, Nindo et al., 2003, Nindo y Tang 2007) mostrando mayor retención de contenido de vitamina C y carotenoides (componentes termosensibles) en alimentos, comparado con otros métodos de secado como liofilización, secado en tambor, secado por atomización, aire caliente, secado por lecho de chorro y microondas.

El sistema de secado de Ventana Refractancia™ se realiza a presión atmosférica y utiliza agua caliente por debajo del punto de ebullición como medio que transfiere calor. La energía térmica del agua que circula, se transfiere al producto fresco a través de una lámina plástica transparente a la radiación infrarroja. El producto que se desea secar (jugos, purés, pulpas, frutas) se extiende sobre la banda transportadora plástica, que se mueve mientras su superficie inferior está en contacto con el agua caliente. Para mejorar la eficiencia térmica del sistema, el agua caliente se recircula. Estas características hacen de éste, un proceso único en métodos de secado (Nindo y Tang, 2007).

La Figura 10 muestra que en el proceso de secado por Ventana de Refractancia™ se presentan los tres tipos de transferencia de calor: conducción ( $q_{cond}$ ), convección

( $q_{conv}$ ) y radiación ( $q_{rad}$ ) desde el agua caliente al producto.

**Figura 10.** Transferencia de energía térmica del sistema de secado Ventana de Refractancia™.



Fuente: Nindo y Tang, 2007.

La transferencia de calor del producto fresco al medio ambiente es principalmente por convección y por evaporación del agua del alimento (Ratti y Mujumdar, 1995). Esta evaporación al ser muy intensa, consume la mayor parte de energía en el secado de Ventana de Refractancia™ al inicio del proceso. Sobre el final del proceso, cuando el producto está casi seco, la transferencia de calor predominante es la conducción. Entre más seco esté el producto, más lenta es la tasa de transferencia de calor. La descarga del secador se dispone para reducir la temperatura y facilitar el retiro del producto seco (Leiton, 2012).

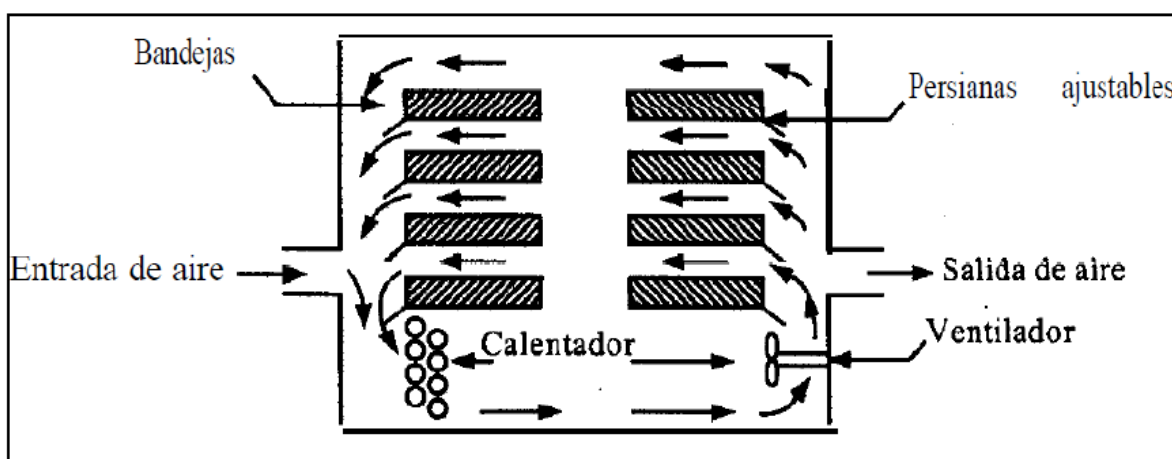
### 3.3.4 Secado por Convección forzada.

El secado por convección forzada (flujo de aire caliente) es uno de los métodos más utilizados para la eliminación de agua de alimentos perecederos por ser eficiente, productivo, económico y de fácil manejo. La deshidratación por este método se fundamenta en la eliminación del agua contenida en un alimento por medio de calor,

mediante la evaporación, reduciendo su actividad acuosa a tal punto de inhibir el crecimiento microbiano y enzimático (Vásquez et al., 2014).

El calor se transfiere al alimento por convección mediante una corriente de aire caliente que además de transmitir el calor necesario para evaporar del agua, sirve de medio transportador del vapor de agua que se elimina del alimento (Figura 11).

**Figura 11.** Esquema típico de un secador convectivo de bandejas



Fuente: Geankoplis, 1998.

El calor del aire penetra hacia el interior del alimento a través de la superficie principalmente por conducción, mientras que la humedad debe salir a través de ella, por lo que el gradiente de temperatura es contrario al gradiente de humedad. En efecto, únicamente se produce la evaporación del agua cuando el interior ha alcanzado suficiente temperatura para que nuevamente haya transferencia de agua hacia la superficie y, finalmente, al exterior. La fuerza que impulsa la transferencia de calor es el gradiente de temperatura, sin embargo, para la transferencia de masa, la fuerza impulsora es el gradiente de concentración de agua existente entre el interior y la superficie seca. Esto hace del secado un proceso lento, que debe utilizar altas temperaturas en la corriente de aire para producir las diferencias de concentración requeridas. Estos mecanismos de transferencia de calor y de materia dependen de variables inherentes al aire de secado

(temperatura, velocidad, humedad, características del flujo); y de las características del producto que se desea secar (humedad, forma, estructura, etc.) (Contreras, 2006).

El secado por aire caliente permite reducir el contenido de humedad de un alimento hasta obtener un producto final estable enzimática y microbiológicamente. Sin embargo, el uso de altas temperaturas afecta la calidad final, representada en alteraciones en la forma y la textura del producto; composición y estructura no uniforme, cambios de sabor y aroma, modificación del color, degradación de componentes nutricionales, mala capacidad de rehidratación, etc (Della, 2010).

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Caracterización fisicoquímica de materia prima

Se utilizó chontaduro (*Bactris gasipaes*) comercializado en el mercado local de la ciudad de Cali – Valle del Cauca.

En la figura 12, se reporta el grado de maduración del chontaduro rojo pequeño en una escala de 1 a 5. Se seleccionaron 21 kg de frutos pequeños de chontaduro con un color rojo intenso, característico de una fruta grado de madurez fisiológico 4.

**Figura 12.** Grado de Maduración del chontaduro



Fuente: El autor.

La fruta fue transportada hasta la empresa Productos de la Provincia (Cali, Valle del Cauca), lugar donde se realizó el estudio experimental para la obtención y acondicionamiento de la materia prima. La fruta se lavó y se desinfectó con solución de citrosan marca Tecnas a 900 ppm por inmersión de 5 minutos y se secó con toalla absorbente.



Se utilizaron 1000 g de para realizar la caracterización. La epidermis se retiró de la fruta con ayuda de un pelador convencional de cocina. Los frutos se trocearon y se hizo el retiro de la semilla. Pulpa, epidermis y semilla fueron pesados en una balanza de precisión marca Kern 572 d=0,001g.

Los porcentajes de rendimiento (R) de pulpa, epidermis y semilla, se calcularon mediante la ecuación 1.

$$R = \frac{P_1}{P_0} \times 100 \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde, R es el rendimiento expresado en porcentaje  $P_0$  es el peso promedio de 1000 g de frutos de chontaduro,  $P_1$  es el peso promedio de pulpa, epidermis o semilla, por separado.

Con la pulpa obtenida, se determinó cada uno de los siguientes componentes: contenido de humedad por método de estufa (Estufa Universal Um Memmert modelo 55) a 105°C hasta peso constante mediante la norma (AOAC 925.10), ceniza % (método AOAC 923.03), y fibra dietaría total % (basado en AOAC 985.29). Los resultados anteriores fueron realizados con tres repeticiones y expresados en gramos/100 gramos de pulpa seca.

El contenido de humedad y cenizas se determinó en el Laboratorio de Investigaciones Agroindustriales del Centro Agropecuario de Buga – SENA (Valle del Cauca, Colombia); y el contenido de fibra dietaria en el Laboratorio Ángel Bioindustrial (Cali, Colombia)

También se determinaron propiedades fisicoquímicas como sólidos solubles totales (SST) en °Brix (AOAC (1990), método 932.12) en un refractómetro digital (Reichert AR-200. USA), pH por método potenciómetro (Seven easy, Mettler Toledo Suiza), capacidad antioxidante (método espectrofotométrico) en  $\mu\text{moles eq Trolox/g}$  pulpa, vitamina A (método IN –GS-3.060 V9 2016 -08-02) en UI/100 g, Vitamina C (método IN-GS-3.168

V9 2017-09-01) en mg/100g y la fuerza de fractura máxima (medida de textura) utilizando un texturómetro Shimadzu Universal Tester EZTest EZ-S (Figura 13). El texturómetro se programó de acuerdo a lo reportado por Díaz (2018), prueba de compresión, velocidad 60 mm/min, distancia de penetración la mitad del espesor de la fruta (entre 3 a 4 mm).

**Figura 13.** Texturometro Shidmazu EZ – test



Fuente: El autor

La Capacidad antioxidante se determinó en el Laboratorio de Aguas y Alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP). Los contenidos de Vitamina A y C se determinaron en el Laboratorio de Análisis Tecnimicro ubicado en la Ciudad de Medellín, Colombia.

Las pruebas de textura del producto se efectuaron en el Laboratorio de Propiedades Físicas y Fenómenos de Transferencia en Alimentos de la Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Cali - Colombia.

## 4.2 Determinación de las condiciones del proceso de osmodeshidratación (OD) como pretratamiento de secado del chontaduro.

Se utilizaron 4968 g. de chontaduro con índice de madurez 4, previamente desinfectados. Con el fin de facilitar la remoción de la epidermis y disminuir la pérdida de pulpa, se realizó un proceso de escaldado del fruto durante 10 minutos (Figura 14), a temperatura de ebullición (100°C) en una marmita de acero inoxidable de 120 litros, con agitador marca Gaspronal.

**Figura 14.** Escaldado de frutos de chontaduro



Fuente: El autor

La epidermis se retiró manualmente, se realizó corte transversal en dos partes y se extrajo la semilla (Figura 15). La pulpa de chontaduro obtenida se adecuó en geometría de media luna (espesor  $7,1 \text{ mm} \pm 1,7$  ancho  $3,53 \text{ cm} \pm 0,23$ ).

**Figura 15.** Obtención de pulpa de chontaduro: a) Pelado manual, b) pulpa del fruto.



a)

b)

Fuente: El autor

En este trabajo se utilizaron cuatro componentes osmóticos que difieren básicamente en su peso molecular (PM), poder edulcorante, además de su costo y las posibilidades de formulación que ofrecen. Las soluciones osmóticas utilizadas fueron: Maltitol (50%), Fructosa (50%), Alulosa/polidextrosa (25%/25%), Maltitol (60%) y Alulosa (60%). La fructosa y el maltitol fueron suministrados por Ingredion, la Alulosa fue suministrada por IPF (Ingredientes y productos funcionales) y la polidextrosa por Sucroal.

Se prepararon 1000 g de cada solución, con el fin de evaluar la pérdida de peso del fruto, la ganancia de sólidos totales y sólidos solubles, y la pérdida de agua con respecto al tiempo de inmersión en cada solución.

Se aplicó la tecnología de osmodeshidratación durante tres (03) horas, en baño maría en una marmita de cinco (05) litros, a una temperatura que osciló entre 45-65°C, en una relación peso muestra: peso solución osmótica 1:3 (333 g pulpa de chontaduro en 1000 g de solución osmótica). Cada hora se realizaron mediciones del peso y de sólidos solubles totales (SST) en °Brix (AOAC 1990, método 932.12) de la pulpa.

La composición porcentual de las soluciones osmóticas utilizadas, se encuentra depositada en la tabla 1.

**Tabla 1.** Composición porcentual y real de los jarabes de osmodeshidratación utilizados para la pulpa de chontaduro.

<b>Solución 1</b>	<b>Maltitol</b>	<b>Agua</b>	<b>Ácido cítrico</b>	<b>Ácido Ascórbico</b>
Porcentaje (%)	50	47	1.5	1.5
Cantidad real (base 1000 g)	500 g	470 g	15 g	15 g
<b>Solución 2</b>	<b>Fructosa</b>	<b>Agua</b>	<b>Ácido cítrico</b>	<b>Ácido Ascórbico</b>
Porcentaje (%)	50	47	1.5	1.5
Cantidad real (base 1000 g)	500 g	470 g	15 g	15 g
<b>Solución 3</b>	<b>Alulosa / Polidextrosa</b>	<b>Agua</b>	<b>Ácido cítrico</b>	<b>Ácido Ascórbico</b>
Porcentaje (%)	25/25	47	1.5	1.5
Cantidad real (base 1000 g)	250 g/ 250 g	470 g	15 g	15 g
<b>Solución 4</b>	<b>Maltitol</b>	<b>Agua</b>	<b>Ácido cítrico</b>	<b>Ácido Ascórbico</b>
Porcentaje (%)	60	37	1.5	1.5
Cantidad real (base 1000 g)	600 g	370 g	15 g	15 g
<b>Solución 5</b>	<b>Alulosa</b>	<b>Agua</b>	<b>Ácido cítrico</b>	<b>Ácido Ascórbico</b>
Porcentaje (%)	60	37	1.5	1.5
Cantidad real (base 1000 g)	600 g	370 g	15 g	15 g

Fuente: El autor

Se determinó la ganancia de sólidos totales ( $G_{st}$ ) (Ecuación 2), la ganancia de sólidos solubles ( $G_{ss}$ ) (Ecuación 3), pérdida de peso ( $P_p$ ) (Ecuación 4), y la pérdida de Agua ( $P_a$ ) (Ecuación 5), con las ecuaciones reportadas por Barona y Zapata (1990).

$$G_{st} = \frac{m^t(1-H^t) - m^0(1-H^0)}{m^0} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$G_{ss} = \frac{m^t(ss^t) - m^0(ss^0)}{m^0} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$P_p = \frac{m^0 - m^t}{m^0} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$Pa = \frac{m^0(H^0) - m^t(H^t)}{m^0} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$m^t$ : Masa de la fruta en determinado tiempo.

$m^0$ : Masa de la fruta en el tiempo cero.

$H^t$ : Contenido de humedad en base húmeda de la fruta en determinado tiempo (fracción decimal)

$H^0$ : Contenido de humedad en base húmeda de la fruta en el tiempo cero (fracción decimal)

$ss^t$ : Contenido de Sólidos Solubles en determinado tiempo (fracción decimal).

$ss^0$ : Contenido de Sólidos Solubles en el tiempo cero (fracción decimal).

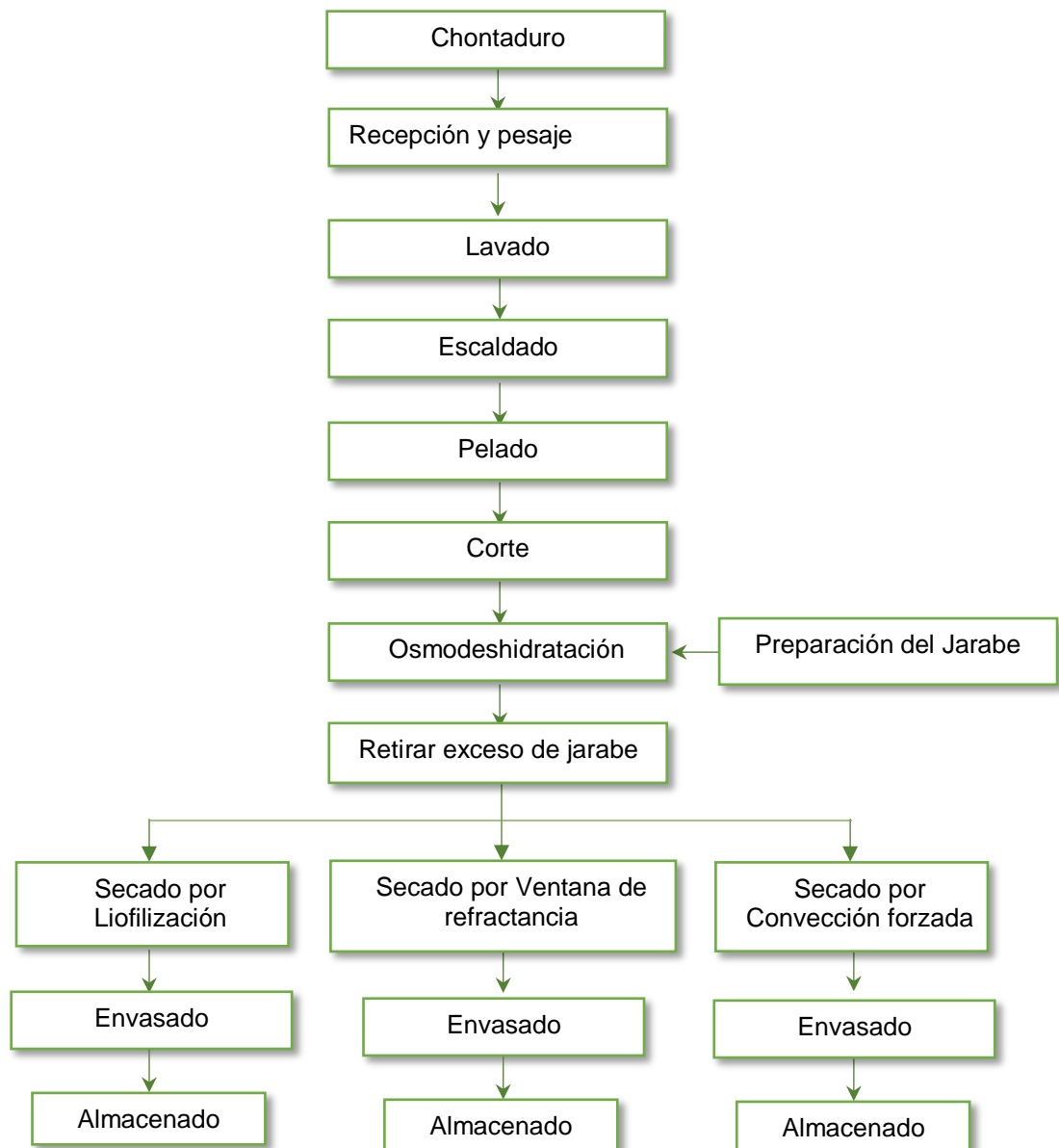
### 4.3 Elaboración de un pasaboca de chontaduro

En la figura 16 se describe la fase experimental desarrollada, para la obtención del pasaboca de chontaduro. Se realizó el proceso de obtención de la pulpa descrito en el numeral 4.1. Se sometieron a osmodeshidratación 15 kg de pulpa utilizando la solución osmótica y el tiempo de inmersión que presentó mayor eficiencia bajo las condiciones estudiadas. Posteriormente, se retiró el exceso de jarabe de la pulpa con ayuda de una toalla absorbente. Se empacó en bolsas metalizadas debidamente rotuladas y conservadas en refrigeración a 4°C. Dos partes de la fruta se transportaron hacia la Empresa Sero Colombia (Condominio Industrial La Nubia, Candelaria, Valle del Cauca – Colombia), para realizar los procesos de secado por liofilización y convección forzada; y la tercera parte fue llevada al Laboratorio de Fenómenos de Transporte de la Escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle para realizar el proceso de secado por ventana de refractancia.

La liofilización se realizó en el equipo industrial (diseño propio con apoyo de INNPULSA) de la empresa Sero Colombia que emplea parámetros de -40°C y un nivel de vacío de 130 micrones de Hg, con una duración de 24 horas. El secado convectivo

se realizó en un equipo de bandejas (diseño propio con apoyo de INNPULSA) de la empresa Sero Colombia, a una temperatura entre 75 y 80°C durante 8 horas.

**Figura 16.** Proceso de experimentación para la obtención de un pasaboca de chontaduro.



Fuente: El autor

Para el secado por la tecnología de ventana de refractancia se empleó un secador de construido por la empresa Centro especializado en ingeniería y robótica (CEI-ROBOTS) de la ciudad de Cali – Colombia. La velocidad de la banda fue  $4,16 \times 10^{-5} \text{m/s}$ . Se estableció una temperatura constante de secado de  $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  del medio conductor (agua), durante un tiempo de 4 horas, metodología reportada por Diaz, 2018. En la Figura 17 se presenta el equipo.

**Figura 17.** Secador de Ventana de Refractancia™



Fuente: El autor

#### **4.4 Evaluación del efecto de la tecnología de secado (liofilización, ventana de refractancia y convección forzada) sobre propiedades fisicoquímicas, nutricionales y microbiológicas del pasaboca de chontaduro.**

A los frutos secos de chontaduro obtenidos por liofilización, convección y ventana de refractancia se les determinó el contenido de humedad, fibra dietaria, vitamina A y C, capacidad antioxidante y fuerza máxima de fractura (textura). Estas mismas variables se midieron, en los productos frescos (antes de procesar).



A los productos secos también se les realizó análisis microbiológico consistente en recuento de mohos y levaduras por el método recomendado por ICMSF, Volumen I, segunda Edición, 2000. Estas pruebas se realizaron en el Laboratorio Ángel Bioindustrial (Cali, Colombia).

Se utilizó un diseño experimental unifactorial, completamente al azar (DCA), donde el factor de estudio fue el método de secado y las variables de respuesta fueron el contenido de humedad, fibra dietaria, vitamina A y C, capacidad antioxidante y fuerza máxima de fractura (textura). Los resultados se analizaron mediante ANOVA. Los tratamientos se realizaron por triplicado. Para establecer diferencias significativas entre medias se aplicó la prueba de Tukey con una probabilidad de  $P < 0.05$ . Los datos se analizaron con el paquete estadístico Minitab 19 versión 19.08.10.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Caracterización fisicoquímica de materia prima (fruto fresco)

Los porcentajes de rendimientos en pulpa y residuos fueron de 70,13% y 29,87%, respectivamente para fruto fresco. Los resultados de rendimientos indican que en el proceso de agroindustrialización del fruto de chontaduro por cada tonelada de fruta fresca procesada artesanalmente, se obtienen aproximadamente 0.70 toneladas de pulpa, y se generan 0.30 toneladas de residuos, representados en epidermis y semilla. Estos rendimientos, son inferiores a los datos relacionados por Peña et al. (2014) y Ordoñez et al. (2015), quienes indican que la generación de pulpa para esta fruta se encuentra alrededor del 81%. En la Tabla 2 se exponen los componentes del análisis fisicoquímico que se realizó al chontaduro fresco.

**Tabla 2.** Caracterización de frutos de chontaduro frescos.

Parámetros	Resultados
° Maduración	4
° Brix	8
pH	6
Humedad (%)	46,17
Ceniza (%bs)	0,64
Fibra dietaria (%bs)	28,8
Vitamina A (UI/100g)	1251
Vitamina C (mg/100g)	17,56
Capacidad Antioxidante ( $\mu$ moles Eq.Trolox/g muestra)	1604,00 $\pm$ 141,23
Fuerza Máxima (N)	93,15 $\pm$ 8,07

Córdoba (2016), determinó la composición química del mesocarpio de chontaduros variedad roja, y encontró en 100 g de mesocarpio seco 47,8 g de humedad y 2 g de fibra cruda. Cabe recordar que el contenido de fibra dietaria siempre es más alto que el de la fibra cruda: mientras la primera incluye compuestos como almidón, polisacáridos no celulósicos, celulosa, lignina, hemicelulosa y sustancias pécticas, la segunda mide celulosa, pentosanas, lignina, suberina, cutina, alginatos y pectinas (Bernal, 1998).

Si se compara el contenido de fibra dietaria de mesocarpio de chontaduro con otros frutos tropicales, se encuentra que chontaduro tiene alrededor de 14% mayor contenido de fibra dietaria que el copoazú (Rogez et al., 2004), 8% más que el banano (Diaz, 2017) y la cocona (Vargas, 2015), 5% más que el maracuyá (Cruz et al., 2015); y menor cantidad que el arazá (Rogez et al., 2004), el borojó (Hincapié et al., 2012), la guayaba (Pire et al., 2002) y la naranja (Hincapié et al., 2010). En la tabla 3, se encuentra consignado el contenido de fibra dietaria en base seca, para diversos frutos tropicales.

**Tabla 3.** Contenido de fibra dietaria de frutos tropicales.

Fruto	Fibra dietaria (%bs)
Chontaduro	28,8
Copoazú (Rogez et al., 2004)	14,30
Banano (Diaz, 2017).	21,05
Cocona (Vargas, 2015)	21,27
Maracuyá (Cruz et al., 2015)	23,52
Borojó (Hincapié et al., 2012)	36,03
Arazá (Rogez et al., 2004)	39
Guayaba (Pire et al., 2002)	42,60
Naranja (Hincapié et al., 2010)	63,80

Lo anterior refleja que el fruto de chontaduro, pueden ser un complemento importante en la dieta humana, al aportar cantidades importantes de fibra dietaria la cual es de mucho

interés desde el punto de vista nutricional. La pulpa puede ser utilizada para la formulación de alimentos prebióticos benéficos para prevenir enfermedades como el cáncer de colon; en productos adelgazantes, pues la fibra dietaria tiene la capacidad de retener agua dando sensación de saciedad lo que disminuye el tiempo de absorción de nutrientes (Grigelmo & Martin, 1999; Yuyama et al., 2002); y en formulaciones de origen natural para prevenir el aumento de colesterol sanguíneo, ya que se ha comprobado la relación entre el consumo de fibra y las disminuciones en la absorción intestinal del colesterol (Ajila et al., 2007).

El Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Brasil, 2001), citado por Tamayo (2010), reportó que en 100 g mesocarpio de chontaduro seco hay 18,7 mg de Vitamina C y 1100 UI de vitamina A; valores muy aproximados a los reportados en este estudio. La tabla 4 presenta una comparación del contenido de vitaminas A y C de pulpa de chontaduro con pulpa de otros frutos tropicales.

**Tabla 4.** Comparación del contenido Vitaminas A y C de pulpa de chontaduro (*Bactris gasipaes*) con pulpa de otros frutos tropicales reportados por diferentes autores.

Fruto	Vitamina A (UI/100g bs)	Vitamina C (mg/100g bs)
Chontaduro	1251	17,56
Camu Camu (ICBF, 2018)	-	2125
Banano (Díaz, 2017).	<20	1,86
Piña nativa var. India (Hernández y Barrera, 2004)	30	14,08
Guayaba (ICBF, 2018)	31	217
Carambolo (Hernández y Barrera, 2004)	40	12,82
Mango común (ICBF, 2018)	140	48
Zapote (ICBF, 2018)	141	20
Papaya (ICBF, 2018)	235	62

El mesocarpio de chontaduro contiene 1251 UI de vitamina A por 100 g de la parte comestible, lo que equivale a unas 50 veces el contenido de esta vitamina en el banano (Díaz, 2017); alrededor de 30 veces en la piña (Hernández y Barrera, 2004), guayaba (ICBF, 2018) y en el carambolo (Hernández y Barrera, 2004); ocho veces en el mango y el zapote (ICBF, 2018); y cinco veces en la papaya (ICBF, 2018). Su color naranja se debe a la presencia de carotenos, entre ellos el betacaroteno o provitamina A (Rojas et al., 2011). Esta vitamina es importante para la visión normal, el sistema inmunitario y la reproducción. Además, ayuda al buen funcionamiento del corazón, los pulmones, los riñones y otros órganos (NIH, 2020), lo que le sigue brindando al chontaduro un valor nutracéutico interesante para su agroindustrialización.


El contenido de vitamina C de la pulpa de chontaduro hace a la fruta útil como ingrediente, para adicionar a formulaciones que necesiten aumentar el contenido de vitamina C, sin embargo, no es su mayor ventaja nutricional, comparada con el contenido que reportan frutos como la guayaba o el camu camu (ICBF, 2018). La piña nativa y el carambolo presentaron valores similares a los de chontaduro (Hernández y Barrera, 2004).

Díaz (2017), reporta valores de fuerza máxima de fractura de 9,09 N y capacidad antioxidante de 1008,67  $\mu$ moles Eq.Trolox/g de pulpa de banano. Los resultados para chontaduro, son superiores indicando que es un fruto de mayor textura y con mayor capacidad antioxidante. La capacidad antioxidante se atribuye a los compuestos fenólicos, los antocianos, la vitamina C, el tocoferol y el betacaroteno (Kuskoski, et al., 2005). Para el caso del chontaduro se observa una correlación directa entre el contenido de Vitamina A y C con el valor de capacidad antioxidante.

En general el chontaduro es una fruta con alto potencial nutracéutico aportado por el contenido de fibra dietaria, vitamina A, vitamina C y reflejada por su capacidad antioxidante; con estos resultados se puede promover una mayor ingesta del fruto, fomentar el desarrollo agroindustrial en Colombia y diseñar otros productos con alto valor agregado a partir de la aplicación de nuevas tecnologías.

Con el propósito de estandarizar el proceso de recepción de materia prima en planta, se construyó la ficha técnica del chontaduro fresco, grado de maduración 4, requerido para el proceso (Tabla 5).

**Tabla 5.** Ficha técnica de chontaduro fresco.

<b>FICHA TÉCNICA - CHONTADURO</b>	
<b><u>Nombre:</u></b> Chontaduro Fresco	
<b><u>Grado de Maduración.</u></b> Cuatro (04) de la tabla de maduración del chontaduro, que corresponde a un color rojo intenso en la epidermis.	
<b><u>Condiciones de recibo de la fruta.</u></b> La materia prima (frutas) es inspeccionada por control de calidad para su aceptación o rechazo, se aceptan los frutos en su estado de madurez óptimo, sanos, de aspecto fresco y consistencia firme, libres de ataques de insectos y enfermedades que demeriten la calidad interna del fruto, libres de humedad externa anormal y de cualquier olor y/o sabor extraño. Luego pasan a producción para la limpieza y desinfección de los frutos. El incumplimiento de uno de los aspectos anteriores puede ser causal de devolución de la materia prima.	
<b><u>Características Fisicoquímicas</u></b>	
<b>Sólidos solubles expresados como °Brix:</b> 8 -10	
<b>pH:</b> 5 - 6	
<b>Humedad (%):</b> 55 – 60	
<b><u>Características Organolépticas</u></b>	
<b>Aroma:</b> intenso y característico del chontaduro	

**Color:** rojo intenso predominante, algunas zonas naranjas.

**Sabor:** característico e intenso del chontaduro. Libre de cualquier sabor extraño y rancio.

**Apariencia:** uniforme, libre de materiales extraños.

**Textura:** firme

**Vida útil.** Siete (07) días en condiciones de refrigeración (4°C), sin interrupción de la cadena de frío.

**Identificación: Lote – Trazabilidad.** El lote se identifica con la fecha de vencimiento así: Día (números) Mes (letras) Año (números). El lote es un código asignado por Producto de la Provincia de tal manera que se garantiza su trazabilidad.

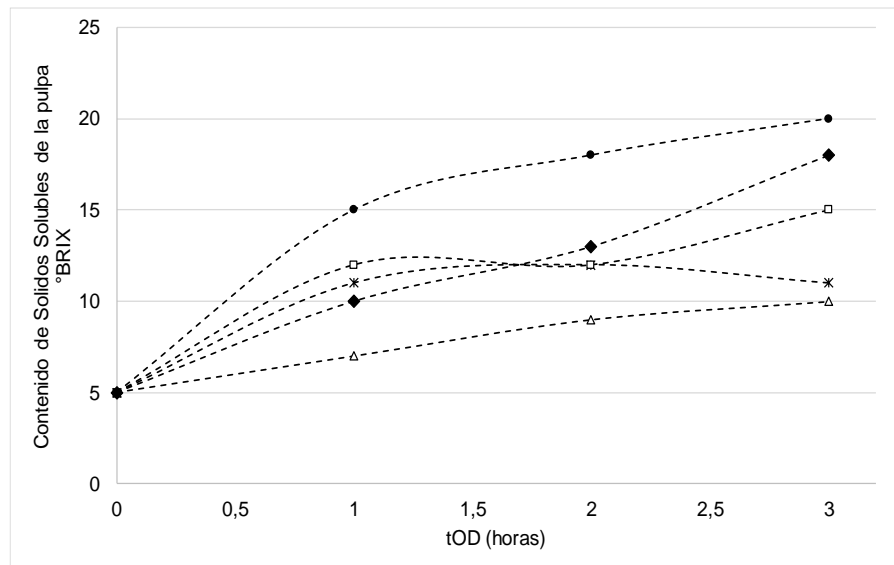
## 5.2 Evaluación del proceso de osmodeshidratación (OD) como pretratamiento de secado del chontaduro.

Durante el proceso de deshidratación osmótica se midieron varios parámetros de control como la variación de peso, humedad y °Brix cada 60 minutos durante tres horas. Los valores de peso y humedad permitieron calcular la pérdida de peso (Pp), pérdida de agua (Pa), ganancia de sólidos totales (Gst) y ganancia de sólidos solubles (Gss) con lo cual se calculó la cinética del proceso. Los cálculos se realizaron con base a los datos reportados en los Anexos 1 al 5.

La Figura 18, reporta el comportamiento del contenido de sólidos solubles, expresado en Grados Brix de la pulpa de chontaduro, para los diferentes jarabes de OD empleados. Después de iniciar la deshidratación osmótica, los sólidos solubles de la pulpa empiezan a aumentar, dado que se transfieren desde el jarabe hacia la fruta. Para todos los tratamientos, el aumento de °Brix es más drástico durante la primera hora del proceso debido a la gran presión osmótica que se ejerce para equilibrar el sistema fruta: jarabe que se encuentra con una diferencia de concentración alta (Martínez, 2012). El contenido inicial en la fruta fue de 5°Brix y al cabo de tres horas se aumenta entre 5 y 15 °Brix

notándose que en los tratamientos con Alulosa al 60% hubo una mayor transferencia de sólidos solubles.

**Figura 18.** Contenido de Sólidos Solubles (°Brix) en función del tiempo de OD (tOD) para los diferentes agentes osmóticos: --\*-- (Maltitol 50%), --□-- (fructosa 50%), --△-- (Alulosa / Polidextrosa 25%/25%). --◆-- (Maltitol 60%), --●-- (Alulosa 60%).



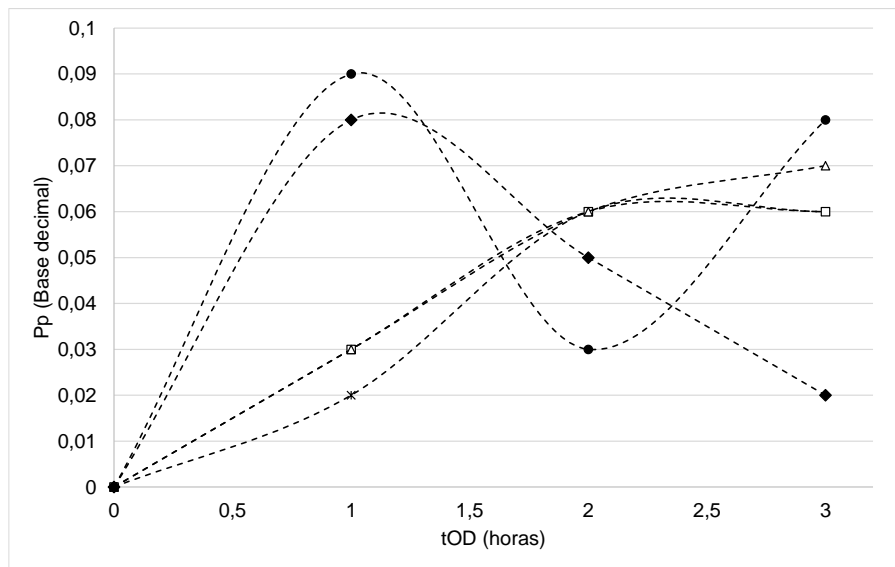
En la Figura 19 se presenta la evolución de la reducción de peso de la fruta durante la OD. Las curvas de la Figura 19, presentan un comportamiento típico del proceso de OD, en el que la velocidad de pérdida de peso del chontaduro es más acelerada en la primera hora del experimento, lo cual está de acuerdo con lo planteado por Martínez (2012). En las siguientes horas la fruta va perdiendo menos peso, porque el sistema empieza a equilibrarse y por lo tanto la presión osmótica se reduce.

El parámetro más importante para estudiar el poder osmótico de los jarabes es el porcentaje de pérdida de peso del sólido que se está osmodeshidratando (Giraldo et al., 2004). Se evidencia que el jarabe con mayor poder osmótico es la alulosa al 60%. Los



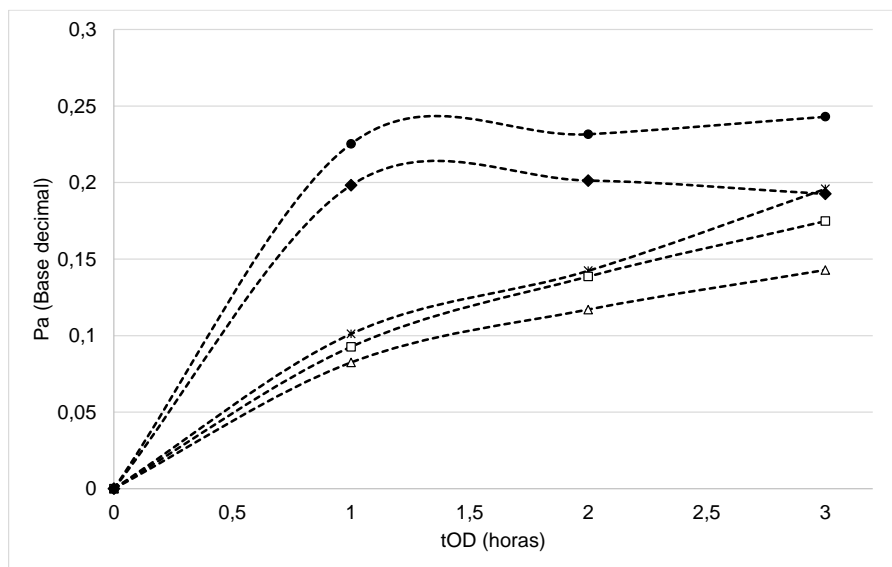
jarabes de maltitol al 50% y fructosa al 50% presentan un comportamiento muy similar durante el desarrollo del experimento.

**Figura 19.** Pérdida de peso ( $P_p$  en base decimal) en función del tiempo de OD (tOD) para los diferentes agentes osmóticos: --\*-- (Maltitol 50%), --□-- (fructosa 50%), --△-- (Alulosa / Polidextrosa 25%/25%). --◆-- (Maltitol 60%), --●-- (Alulosa 60%)



El comportamiento observado para la respuesta experimental pérdida de agua ( $P_a$ ) en la Figura 20, denota que la velocidad de salida del agua fue mayor durante la primera hora del tratamiento y disminuyó hacia el final del proceso, aunque no alcanzó el equilibrio en el período de tiempo analizado (3 horas). Estos resultados son similares a lo que ocurrió con la pérdida de peso y coinciden con lo reportado por Martínez (2012) para tomate de árbol, quien obtuvo una pérdida de agua más intensa en la primera hora de OD, indicando que ésta mayor pérdida se debía a la gran fuerza motriz existente entre la fruta y el jarabe al inicio del proceso.

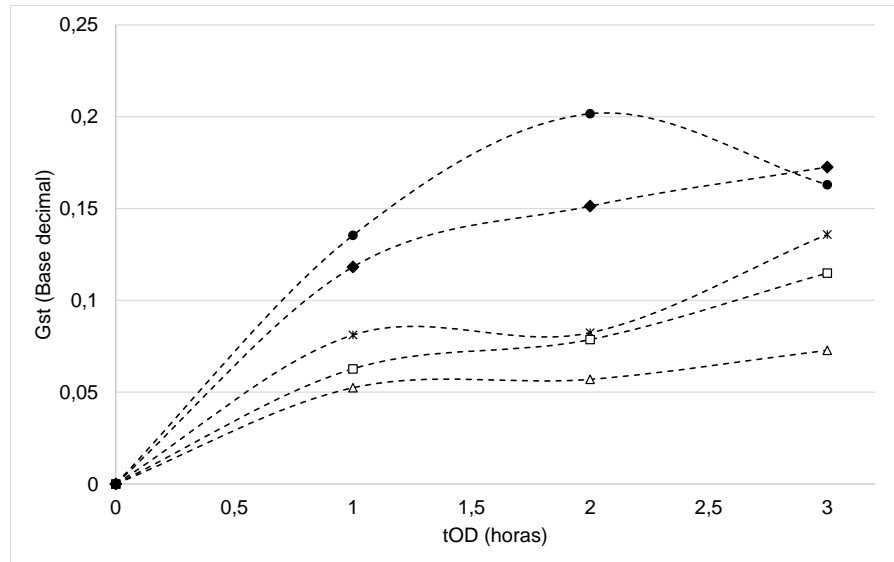
**Figura 20.** Pérdida de agua (Pa en base decimal) en función del tiempo de OD (tOD) para los diferentes agentes osmóticos: --\*-- (Maltitol 50%), --□-- (fructosa 50%), --△-- (Alulosa / Polidextrosa 25%/25%). --◆-- (Maltitol 60%), --●-- (Alulosa 60%).



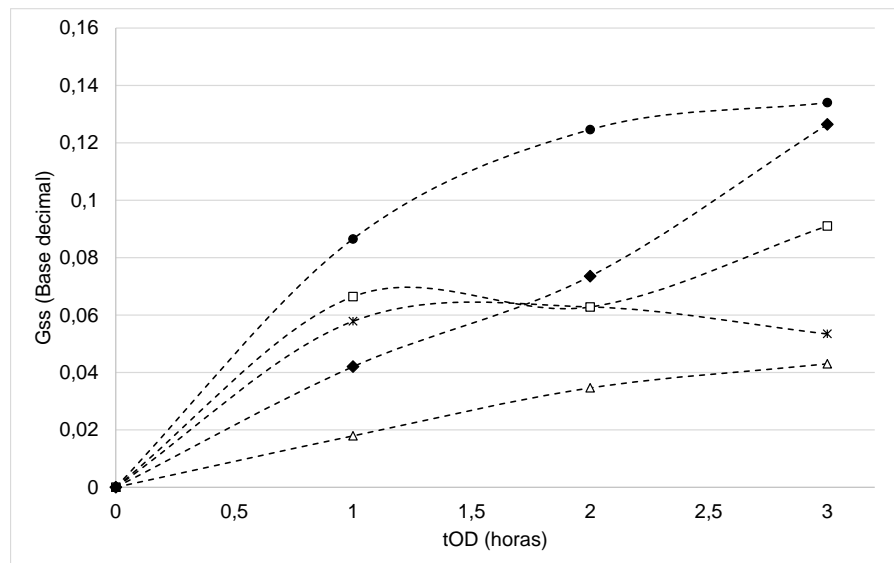
Al igual que lo ocurrido con la pérdida de peso y pérdida de agua, la ganancia de sólidos totales (Figura 21) y solubles (Figura 22) aumenta con el tiempo. Sin embargo, se evidencia que independientemente del agente osmótico, la pérdida de agua es más significativa que la ganancia de sólidos (Conway et al., 1983).

Esa tendencia puede explicarse de acuerdo a lo manifestado por Rocca (2010), quien encontró que cuando se trabaja con concentraciones muy elevadas en los agentes osmóticos, superiores a 50 % m/m, el exceso de solutos forma una costra superficial sobre el producto que impide el ingreso de solutos pero no la salida del agua. Este fenómeno está relacionado con la diferencia de tamaño molecular y la selectividad de la membrana o pared celular que permite pasar a algunas moléculas y a otras no.

**Figura 21.** Ganancia de Solidos Totales (Gst en base decimal) en función del tiempo de OD (tOD) para los diferentes agentes osmóticos: --\*-- (Maltitol 50%), --□-- (fructosa 50%), --△-- (Alulosa / Polidextrosa 25%/25%). --◆-- (Maltitol 60%), --●-- (Alulosa 60%).



**Figura 22.** Ganancia de Solidos Solubles totales (Gss en base decimal) en función del tiempo de OD (tOD) para los diferentes agentes osmóticos: --\*-- (Maltitol 50%), --□-- (fructosa 50%), --△-- (Alulosa / Polidextrosa 25%/25%). --◆-- (Maltitol 60%), --●-- (Alulosa 60%).



Para analizar el efecto de la concentración de la solución osmótica se recurrió a la comparación de los procesos llevados a cabo con las soluciones de Maltitol a 50 y 60%. Bajo esta perspectiva, se observó que, para todo tOD, la solución más concentrada (Maltitol al 60%) removi6 mayor cantidad de agua que la menos concentrada (Maltitol al 50%): aproximadamente 7% mayor durante todo el proceso. Conjuntamente, la ganancia de s6lidos totales tambi6n fue mayor frente a mayor concentraci6n del medio, pero en una menor proporci6n que la perdida de agua. Esta diferencia qued6 establecida en la primera hora de OD. Se puede inferir que a altas concentraciones de soluci6n osm6tica se alcanzan p6rdidas considerables de peso y de agua junto con una ganancia de solutos baja (Conway y col., 1983). En contraste, a bajas concentraciones en la soluci6n deshidratante la p6rdida de peso y de agua resultante es menor.

Por otro lado, para evaluar la influencia del “tama6o molecular” sobre la OD se recurri6 a un par de soluciones: Alulosa / Polidextrosa (25%/25%) y Alulosa (60%). As6, se comprob6 que los solutos m6s peque6os promovieron el 6ndice de p6rdida de agua de mayor magnitud, (Alulosa (60%) al menos un 12% m6s que Alulosa / Polidextrosa (25%/25%) para todo tiempo de OD). Con respecto a la ganancia de s6lidos, durante todo el proceso, la Alulosa consigui6 incorporarse a la estructura del alimento en mayor cantidad y m6s velozmente que la soluci6n que contiene polidextrosa. Para todo tOD se registraron grandes diferencias entre ambos solutos ya que la velocidad de ingreso de polidextrosa fue la menor de todo el tratamiento (tendiendo a un valor constante), y la de alulosa al 60% fue la mayor.

El valor pr6cticamente constante para la ganancia de s6lidos con la soluci6n alulosa /polidextrosa, puede tener relaci6n con la viscosidad de la soluci6n de polidextrosa. Durante la preparaci6n de la soluci6n se evidenci6 que se formaban grumos, los cuales al disolverse completamente dieron origen a una soluci6n con alta viscosidad (figura 23). Se puede analizar que estos s6lidos se adhieren a la superficie del alimento y quedan imposibilitados para difundirse hacia el interior de la muestra debido a su tama6o

molecular y de este modo, bloquean el ingreso de nuevos solutos, constituyendo una “superficie saturada”.

**Figura 23.** Preparación solución (Alulosa / Polidextrosa 25%/25%).

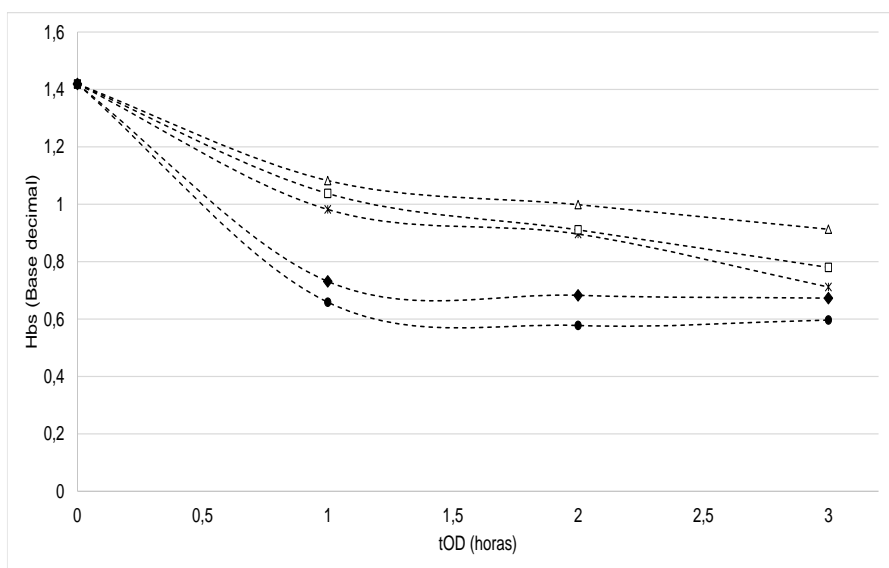


Fuente: El autor.

Por lo tanto, se comprueba que la formación de una capa concentrada de solutos en la superficie del alimento, se opone la incorporación de sólidos, pero permite el desarrollo de un pronunciado gradiente de concentración dentro del alimento que promueve la transferencia de agua desde el centro del producto hacia el exterior. Además, la salida del agua provocaría una marcada reducción de volumen y el gradiente interno decrecería volviéndose desfavorable para la difusión de solutos (Raoult-Wack et al., 1991). El uso de solutos de alto peso molecular en las soluciones osmóticas incrementa la pérdida de agua a expensas de una disminución en la ganancia de sólidos (Rocca, 2010).

Los contenidos de agua y de sólidos determinan la humedad del alimento. En la Figura 24 se muestra la evolución humedad en base seca (Hbs base decimal), en función del tDO.

**Figura 24.** Evolución del contenido de humedad en base seca (Hbs base decimal) en función del tiempo de OD (tOD) para los diferentes agentes osmóticos: --\*-- (Maltitol 50%), --□-- (fructosa 50%), --△-- (Alulosa / Polidextrosa 25%/25%). --◆-- (Maltitol 60%), --●-- (Alulosa 60%)







Se comprobó que la humedad en base seca disminuye a lo largo del proceso. Los descensos más marcados se registraron en la primera hora y luego se tornaron más lentos, casi constante. Wais, 2011 obtuvo una pérdida de agua más intensa en el mismo lapso de tiempo, indicando que este comportamiento se debía igualmente a la gran fuerza motriz existente entre la fruta y la solución osmodeshidratante al inicio del proceso. También se puede observar que el contenido de Hbs no sólo depende de la pérdida de agua, sino también de la cantidad molar y de la naturaleza (estructura química) de los sólidos incorporados. Puntualmente, analizando la OD con la solución fructosa (50%) y alulosa (60%), se ve que, aunque tienen los mismos componentes atómicos —seis átomos de carbono, doce de hidrógeno y seis de oxígeno—, el diferir en la posición de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, lo que les convierte en contrapartes quirales, hace que se comporte totalmente diferente, de tal forma que la muestra OD con Alulosa

contiene alrededor de 18% menos contenido de humedad en base seca al final del proceso.

En la figura 24, también se evidencia que la solución que genera mayor disminución del contenido de humedad es la Alulosa al 60%. La mayor pérdida de humedad ocurre en la primera hora de proceso, razón por la cual se escoge como pretratamiento a la operación de secado. A partir de los datos anteriores, se definieron las condiciones de osmodeshidratación que se consignan en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Condiciones del jarabe para la osmodeshidratación como pretratamiento previo al secado.

Fruta	Jarabe	Tiempo de osmosis	Observación
Chontaduro	Alulosa 60% (Alulosa 60%, Agua 37%, Acido Cítrico 1,5%, Ácido Ascórbico 1,5%).	1 hora	Grado de maduración del fruto: 4
	<b>ETAPA</b>		
<b>Fruta</b>	Limpieza	Acondiciona- miento	Corte
Chontaduro			
			

### 5.3 Elaboración de un pasaboca de chontaduro

La pulpa de chontaduro, previamente osmodeshidratada se dividió en tres partes iguales sometiendo cada parte, a una tecnología de secado diferente: liofilización (L), ventana de refractancia (VR) y convección forzada (CF).

Los pasabocas obtenidos por L, VR y CF, fueron reservados para realizar pruebas fisicoquímicas y microbiológicas.

#### **5.4 Evaluación del efecto de la tecnología de secado (Liofilización, ventana de refractancia y convección forzada) sobre propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del pasaboca de chontaduro.**

En la tabla 7 se muestran los resultados de las propiedades fisicoquímicas que fueron cuantificadas en los pasabocas de chontaduro obtenidos por L, VR y CF: Contenido de humedad, fibra dietaria, vitamina A, vitamina C, Capacidad Antioxidante y Fuerza máxima de fractura; comparados con resultados para pulpa fresca.

La mayor reducción del contenido de humedad del pasaboca de chontaduro se logró por el método de L, seguido por VR y CF. Estos resultados presentan el mismo comportamiento reportado por Diaz (2017), en evaluación de L, VR y CF para la obtención de un pasaboca de banano. Vargas (2015) reporta obtener un polvo de pulpa de cocona por liofilización con el 4,24%. En términos de contenido de humedad, relacionados con la estabilidad del producto, el método de L, resulta ser el más conveniente.

Se observa una disminución considerable en el contenido de fibra dietaria de pasabocas de chontaduro con respecto a la pulpa fresca (Tabla No. 7). La diferencia entre el contenido de fibra dietaria de frutos frescos y frutos secos por L, VR y CF son 8.2, 20.84 y 8.49 g/100g bs, respectivamente.

A su vez, no existen diferencias significativas en el contenido de fibra de los frutos sometidos a L y CF. La mayor disminución de fibra se observa en los frutos sometidos a secado por ventana de refractancia, tecnología en la cual se utilizó la mayor temperatura (90°C).



**Tabla 7.** Comparación de propiedades fisicoquímicas de pulpa de chontaduro fresca y pasaboca de chontaduro obtenido por diferentes métodos de secado (L, VR y CF).

Parámetros	Chontaduro	Pasaboca de Chontaduro		
	Fresco	L	VR	CF
Humedad (%)	46,17	2,8	10,7	11,1
Fibra dietaria (%bs)	28,8	20,6	7,96	20,31
Vitamina A (UI/100g)	1251	191,01	5,46	43,95
Vitamina C (mg/100g)	17,56	10,83	9,09	7,34
Capacidad Antioxidante (µmoles Eq.Trolox/g muestra)	1604,00 ±	2900,67 ±	3034,00 ±	3032,00 ±
Fuerza Máxima (N)	93,15 ± 8,07	112,60 ±	218,35 ±	217,8 ±
		12,90	97,20	74.62

Estos resultados tienen el mismo comportamiento de otros frutos sometidos a altas temperaturas. Hincapié et al. (2010) reportaron que la temperatura de secado tiene un efecto negativo sobre los compuestos funcionales como la fibra dietaria de la pulpa de naranja. Diaz (2017), reportó que la fibra dietaria del banano disminuye cuando se somete a tecnologías de secado, siendo la liofilización la que menos pérdida genera en comparación con la CF y VR.

La vitamina C o ácido ascórbico, es uno de los micronutrientes más relacionado con las hortalizas y frutas. Dado que esta vitamina es sensible a la oxidación química y enzimática, se utiliza como indicador para monitorear la calidad en los procesos de transformación, debido a que los otros nutrientes presentes en las frutas tienen una estabilidad igual o superior (Favell, 1998). Con el análisis de varianza del presente estudio se encontró que existen diferencias significativas en el contenido de Vitamina C de frutos de chontaduro sometidos a L y CF; pero a su vez, no hay diferencias entre L y VR, ni entre VR y CF. La liofilización, es el método de secado que menos pérdidas de Vitamina C genera (38,32%), en comparación con el fruto fresco. La liofilización retiene

el ácido ascórbico gracias a que el tratamiento se realiza con bajas temperaturas, obteniendo el mínimo deterioro de esta vitamina hidrosoluble (Shofian et al., 2011).

Sin embargo, investigaciones previas de Diaz, 2017; Abonyi et al. 2002; Nindo et al., 2003b identificaron mayores contenidos de vitamina C en banano, fresas y espárragos con la tecnología de VR que en el proceso de L respectivamente, debido al largo tiempo de secado (18-24 h) y al área de gran superficie o estructura de poros abiertos en los productos secos por liofilización que facilita la oxidación del ácido ascórbico. La mayor retención de vitamina C, en chontaduro liofilizado posiblemente es debido al pretratamiento osmótico; primero porque la solución osmótica contenía 1.5% de ácido ascórbico; y segundo es posible que los poros externos se hayan saturado con solutos de alulosa impidiendo la formación de poros internos (Torreggiani y Bertolo, 2001), comportamiento similar se observó en pitahaya amarilla (Ayala et al., 2010) y en calabaza (Mayor et al., 2011).

Mosquera et al. 2019 encontró que las muestras de melón con pretratamiento osmótico mostraron al final de la liofilización valores inferiores de porosidad respecto a la muestra control. Este comportamiento es un indicador de algunos cambios estructurales en la matriz celular de la fruta por la aplicación del pretratamiento. Al reducirse la porosidad del chontaduro gracias al tratamiento osmótico se evitó la oxidación de la vitamina C.

Resultados similares se evidencian con la Vitamina A, pues el contenido más alto, se obtuvo en las muestras secadas por (L). El secado a bajas temperaturas produce el menor deterioro de betacarotenos. Con el análisis de varianza (ANOVA) se encontró que hay diferencias significativas entre los tratamientos y en la comparación de parejas Tukey al 5% nivel de significación, se pudo determinar que ninguna de las medias de los tratamientos se comportaron iguales, por lo tanto, el contenido de vitamina A en pulpa de chontaduro para cada uno de los métodos de secado fueron diferentes como muestra el anexo 2 y 3. Sin embargo la reducción de vitamina A para chontaduro liofilizado es del 654% en comparación con los resultados obtenidos para fruto fresco (1251 UI/100g), lo

que ratifica que tanto la vitamina A como sus precursores al ser hidrocarburos insaturados, son sensibles a la oxidación, especialmente a temperaturas elevadas (Badui, 1999).

La capacidad antioxidante de las muestras secadas con VR fue ligeramente más alta pero no significativamente diferente de la de las muestras sometidas a L y CF. Estos resultados coinciden con las investigaciones previas de Bernaert (2018), que concluyó que las muestras de puerro sometidas a tres métodos de secado: CF, L y VR, conservaban casi la misma capacidad antioxidante, con la excepción de la capacidad de absorción de radicales de oxígeno. Diaz (2017), reportó diferencias significativas en la capacidad antioxidante del banano sometido a L, VR y CF; siendo la VR la tecnología que mostró mejores resultados. Asimismo, se evidencia que la capacidad antioxidante de la pulpa de chontaduro es mayor en las muestras sometidas a procesos de secado, que en la pulpa fresca; lo cual concuerda con lo reportado por Esparza et al (2016), en donde la capacidad antioxidante del residuo del jugo de mandarina aumentó con el secado a 120°C; y Diaz (2017) que obtiene aumento de la capacidad antioxidante del banano cuando se somete a L, VR y CF. Estos resultados pueden ser debido a la presencia de compuestos fenólicos que resisten a los tratamientos térmicos.

En cuanto fuerza máxima de fractura no se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos de secado. Los mejores resultados en esta variable se obtuvieron en secado por VR, indicando que es el método que mayor crocancia le confiere al fruto.

Los resultados microbiológicos consistentes en recuento de mohos y levaduras en los pasabocas de chontaduro obtenidos por L, VR y CF, se encuentran en la tabla No. 8.

**Tabla 8.** Recuento de mohos y levaduras en pasaboca de chontaduro obtenido por diferentes métodos de secado (L, VR y CF).

Método de secado	Análisis Microbiológico	
	Mohos (UFC/ g)	Levaduras (UFC/ g)
Liofilización	<10	<10
Ventana de refractancia	<10	<10
Secado convectivo	<10	<10

Para los tres tratamientos se obtuvo el mismo resultado para el recuento de hongos y levaduras. Se comprueba que el proceso de secado, mejora la estabilidad del chontaduro, pues disminuye el contenido de humedad y por consiguiente la actividad del agua, reduciendo la actividad microbiológica, y minimizando los cambios físicos y químicos durante su almacenamiento (Mayor y Sereno, 2004). La Resolución número 003929 del 02 de octubre de 2013 del Ministerio de Salud de Colombia, establece que el índice máximo permisible de recuento de hongos y levaduras para identificar nivel de buena calidad en frutas deshidratadas debe ser de 10 UFC/ g o ml. Los pasabocas de chontaduro obtenidos por las tres metodologías de secado estudiadas, cumplen con el parámetro establecido; sin embargo, el método de Liofilización, es el que logra la mayor reducción del contenido de humedad, que puede llegar a garantizar mayor estabilidad del pasaboca durante su almacenamiento.

Realizando un análisis de los resultados obtenidos en la experimentación, de manera preliminar el método de secado que obtuvo mejor conservación de las vitaminas, fibra y contenido de humedad es la liofilización a las condiciones de operación mencionadas en la metodología. Es necesario seguir profundizando en posteriores estudios la viabilidad económica y operacional de esta tecnología para el secado a gran escala de pasabocas de chontaduro.

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo a la caracterización de la pulpa de chontaduro fresco realizada, se concluye que este fruto tiene potencial agroindustrial para ser utilizado en la industria alimentaria por su contenido de fibra dietaria, Vitamina A, Vitamina C y la Capacidad antioxidante.

Las mejores condiciones de osmodeshidratación como tratamiento previo al secado se obtuvieron con inmersión de la pulpa en jarabe de Alulosa al 60% durante una hora. Bajo estas condiciones se obtuvo la mejor cinética en cuanto a pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos. Se logró una reducción del contenido de humedad del 58,66% al 37,35%.

El secado por liofilización mostró los mejores resultados en cuanto a contenido de fibra dietaria, Vitamina A y C de pulpa de chontaduro en comparación con las tecnologías de Ventana de Refractancia y Confección Forzada. La principal ventaja de la Liofilización es que garantiza que los frutos retengan en mayor proporción, propiedades como forma, dimensiones, aspecto, sabor, color, textura e ingredientes activos. Sin embargo, sus principales desventajas son los altos costos de operación y la higroscopicidad. Por esta última desventaja, se hace indispensable la deshidratación osmótica como pretratamiento.

## 7. RECOMENDACIONES

Profundizar en estudios sobre la viabilidad económica y operacional de la liofilización a gran escala de pasabocas de chontaduro.

En la actualidad, el chontaduro no se consume en fresco, sino escaldado con adición de sal. Se recomienda analizar los cambios nutricionales que sufre el fruto con el proceso de escaldado.

Analizar el contenido de fibra dietaria soluble e insoluble, tanto en pulpa de frutos frescos como secos.

Estudiar el potencial agroindustrial de los residuos: semillas y epidermis del chontaduro.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Abonyi, B., Feng, H., Tang, J., Edwards, C., Mattinson, D. y Fellman, J. (2002). Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window™ System. *Journal of Food Science*. 67, 1051–1056.

Agronet - MinAgricultura. (2018). Sistemas de estadísticas agropecuarias. Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/>.

Ancient Sun Nutrition Inc. (2004). Refractance Window™ Drying Technology. Tomado de: <http://www.ancientsuninc.com/refractancewindowdrying.doc> Fecha de consulta: Marzo de 2010.

Arriola, E., García, T., Guatemala, G., Nungaray, J., González, O., & Ruíz, J. (2006). Comportamiento del aguacate hass liofilizado durante la operación de rehidratación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5(Su1), pp.51-56.

Ayala, A., Serna, L. & Mosquera, E., (2010). Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae, Revista de la facultad farmacéutica*, 17(2), pp.121127.

Badui, S. (1999). *Qupimica de los Alimentos*. Editorial Longman de México Editores S.A. México.

Barbosa-Cánovas, G. V., Vega-Mercado, H. (2000). *Deshidratación de alimentos*. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza (España).

Barona, M., Zapata, P. (1990). *Estudio de la Elaboración de Pasas*. Tesis de Ingeniería en Alimentos. UTA-FCIAL. Ambato (Ecuador).

Benlloch, M., Moraga, G., del Mar, M. & Martínez, N. (2013). Combined Drying Technologies for High-Quality Kiwifruit Powder Production. *Food and bioprocess technology*, 6(12), pp.3544-3553.

Bernal, Inés. (1998). *Análisis de alimentos*. Tercera Edición. Editorial Guadalupe LTDA. Bogotá (Colombia). 313 p.

Bernaert, N., Van Droogenbroeck, B., Van Pamel, E., & De Ruyck, H. (2018). Innovative refractance window drying technology to keep nutrient value during processing doi: <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2444/10.1016/j.tifs.2018.07.029>

Bonazzi, C.; Dumoulin, E.; Raoult-Wack, A. L.; Berk, Z.; Bimbenet J. J.; Courtois, F.; Trystram, G. & Vasseur, J. (1996). Food drying and dewatering. *Drying Technology*. 14: 2135-2170.

Ceballos, A., Giraldo, G. & Orrego, C. (2012). Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. *Journal of food engineering*, 111(2), pp. 360-365.

Clement, C., Santos, L. (2002) Pupunha no mercado de Manaus: Preferências de consumidores e suas implicações. *Rev Bras Frutic* 24 (3):778–779.

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, España. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1932/tesisUPV2345.pdf>

Conway, J., Castaigne, G., Picarda, G., Vovan, X. (1983). Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. *Canadian Institute Food Science and Technology Journal*. 16 (1): 25-29.



Cordoba, F. (2016). Producción de biodiesel a partir de aceite vegetal extraído del fruto de la palma *Bactris gasipaes* (chontaduro). Universidad Libre. Bogotá, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC. (2007). El Chontaduro: cartilla básica de extensión No.11. Popayán (Colombia): División de Asistencia Técnica Agropecuaria, Sección Fomento y Extensión.

Cruz A.; Guamán M.; Castillo M.; Glorio P.; Martínez R. (2015). Fibra dietaria en subproductos de mango, maracuyá, guayaba y palmito. Revista Politécnica – 36(2).

Cubero N.; Monferrer, A.; Villalta, J. (2002). Aditivos Alimentarios. España. 235 p

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

Diaz, C. (2017). Evaluación de tecnologías de secado en las propiedades fisicoquímicas del banano (*Cavendish valery*). (Trabajo de grado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería. Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Duan, X., Ding, L., Ren, G., Liu, L., & Kong, Q. (2013). The drying strategy of atmospheric freeze drying apple cubes based on glass transition. Food and bioproducts processing, 91(4), pp.534-38.

Escobar, C., Zuluaga, J., Rojas, J., Yasno, C., Cárdenas, C. (1998). El cultivo de chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.) para fruto y palmito. Programa Regional Agrícola – CORPOICA. Segunda Edición. Florencia, Caquetá, Colombia. 20 p.

Esparza, F., Miranda, R., Guzmán, S. (2016). Efecto de la temperatura sobre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en el residuo de la producción de jugo de mandarina (*Citrus reticulata Satsuma*). Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 1, (1): 843-850. Recuperado de <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/9/146.pdf>

Evranuz, E., Sinha, N. & Hui, Y. (2011). Drying vegetables: new technology, equipment and examples. In Handbook of vegetables and vegetable processing. Jhon Wiley & Sons. pp.299-315.

Geankopolis, J. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias. Cecsa. Minnesota. Tercera edición. Página 580. [En línea] Recuperado en (<https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>)

Giraldo, D.P., Arango, L.M. y Márquez, C.J. (2004). Osmodeshidratación de mora de castilla (*Rubus glaucus Benth*) con tres agentes edulcorantes. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, Volumen 57, Número 1, p. 2253-2268.

Godoy, S., Pencue, L., Ruiz, A., y Montilla, D. (2007). Clasificación automática del chontaduro (*Bactris gasipaes*) para su aplicación en conserva, mermelada y harinas. Revista Facultad de Ciencias Agrarias, 5(2), 137-146.

Graefe, S; Dufour, D; Van Zoonenveld, M; et al (2012). Peach palm (*Bactris gasipaes*) in tropical Latin America: implications for biodiversity conservation, natural resource management and human nutrition.

Grajales, L., Cardona, W. & Orrego, C. (2005). Liofilización de carambola (*Averrhoa carambola L.*) osmodeshidratada. Ingeniería y competitividad, 7(2), pp.19-26.

Grigelmo, N. & Martin, O., 1999. Comparison of dietary fiber from by products of

processing fruits and greens and from cereals. LWT, 32(8), pp.503-08.

Hernandez, M., Barrera, J. (2004). Bases Técnicas para el aprovechamiento agroindustrial de Especies Nativas de la Amazonía. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI.

Hincapié, G., Omaña, M., Hincapié, C., Arias, Z., Vélez, L. (2010). Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria presente en la citropulpa. Revista Lasallista de Investigación, 7(2), pp. 85-93.

Hincapié, G., Piedrahita, J., Paez, S., Restrepo, C., Vélez, L. (2012) Elaboración de una bebida energizante a partir de borojó (Borojo apatinoi Cuatrec). Revista Lasallista de Investigación, 9(2), pp. 33-43.

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar – ICBF. (2018). Tabla de Composición de Alimentos Colombianos TCAC 2018.

Institute of Tropical Agriculture. (1980). Cultivation of neglected tropical fruits with promise: part 8. The pejibaye. U.S. Department of Agriculture, Science and Education Administration. Mayaguez, Puerto Rico. 10 p.

Isse M., y Schubert T. (1991). Osmotic Dehydration of Mango. Proceedings of Fourth World Congress of Chemical Engineering. Karlsruhe, Germany, 738-745.

Jatunov, S., Quesada, S., Díaz, C., y Murillo, E. (2010). Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 60(1), 99-104.

Kasper, J.C. & Friess, W. (2011). The freezing step in lyophilization: physico-chemical fundamentals, freezing methods and consequences on process performance and quality

attributes of biopharmaceuticals. *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics*, 78(2), pp.248-63.

Kaushik, V. & Roos, Y. (2007). Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabicsucrose-gelatin systems. *LWT-Food Science and Technology*, 40(8), pp.1381-1391.

Khalloufi, S., Robert, J.-L. & Ratti, C. (2004). Simulation mathématique de la cinétique de la lyophilisation. Département des Sols et Génie Alimentaire, Pavillon Comtois, Université Laval, Sainte-Foy.

Kuskoski, E., Asuero, A, Troncoso, A., Mancini-Filho, J. , Fett, Q. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, São Paulo, v. 25, p. 726-732.

Leiton, Y. (2012). Evaluación Del Método De Secado Por Ventana De Refractancia™ En Pulpa De Guayaba (*Psidium guajava*). (Tesis de Grado). Universidad del Valle, Cali. Recuperado de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/9323/1/CB-0472478.pdf>

Leterme, P., García, F., Londoño, A., Rojas, M., Buldgen, A., y Souffrant, W. (2005). Chemical composition and nutritive value of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) in rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(9), 1505-1512.

Maestrelli A. (1997). Fundamentos de la Técnica de Deshidratación Osmótica de Frutas. En Curso Taller: Deshidratación Osmótica Directa de vegetales. ICTA-IILA. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fé de Bogotá. 19 pp

Marques, L.G. & Freire, J.T. (2005). Analysis of freeze-drying of tropical fruits. *Drying Technology*, 23(9-11), pp.2169-2184.

Marques, L.G., Ferreira, M.C. & Freire, J.T. (2007). Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). *Chemical engineering and processing*, 46(5), pp.451-57.

Martínez, C.A. (2012). Efecto de la concentración y temperatura en la deshidratación osmótica del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*). (Trabajo de grado). Carrera de Ingeniería de Alimentos, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. 223 p.

Mayor, L., Moreira, R y Sereno, A. (2011). Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.08.031, *J. Food Eng.*, 103(1), 29–37

Molano, L., Serna, C. & Castaño, C. (1996). Deshidratación de Piña Variedad Cayena Lisa por Métodos Combinados. En: *Revista Cenicafé*. Vol. 47, No. 3; p.140-158.

Mora-Urpi, J., Weber, J. y Clement, C. (1997): Peach palm. *Bactris gasipaes* Kunth. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops, 20, p. 83. *Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research/Rome: International Plant Genetic Resources Institute-IPGRI*

Mosquera, E., Ayala, A., Serna, L. (2019). Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (*Cucumis melo* L.). *Información Tecnológica – Vol. 30 N° 3 – 2019; p. 179-188.*

Muhr A., y Blanshard J. (1982). Diffusion in gels. *Polymer*, 23, 1012-1026.

Muratore, G., Rizzo, V., Licciardello, F. y Maccarone, E. (2008). Partial dehydration of cherrytomato at different temperature, and nutritional quality of the products. *Food Chemistry*, 111(4):887-891.

National Academy of Science. (1975). Underexploited tropical plants with promising

economic value. Washington, D.C. pág 73-77.

National Institutes of Health - NIH. (2020). Datos sobre la Vitamina A. Office of dietary supplements. Disponible en <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/VitaminA-DatosEnEspanol.pdf>

Nindo, C. I., Feng, H., Shen, G. Q., Tang, J., y Kang, D. H. (2003)a. Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. *Journal of Food Processing and Preservation*, 27(2), 117–136.

Nindo, Cl., Sun, T., Wang, S., Tang, J. y Powers, J. (2003)b. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *LWT-Food Science and Technology*. 36, 507–516. Disponible en: [https://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2444/10.1016/S0023-6438\(03\)00046-X](https://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2444/10.1016/S0023-6438(03)00046-X)

Nindo, C. y Tang, J. (2007). Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. *Drying Technology*. 25, 37–48.

Ordóñez, S., Pinzón, Z., y González, S. (2015). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of total carotenoids from peach palm fruit (*Bactris gasipaes*) by-products with sunflower oil using response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry* 27, 560-566.

Orduz, J., Rangel, J. (2002). Frutales tropicales potenciales para el piedemonte llanero. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. Villavicencio, Colombia.

Ormaza, A. M., Ayala-Aponte, A. A., y Ortega, K. J. (2016). Cambios físicos durante el secado de banano bocadillo (*musa acuminata colla*) mediante la técnica de ventana de refractancia. *Vitae*, 23, S84.

Ortiz M. (2014). Modelación Matemática Del Secado De Alimentos por El Método de Ventana de Refractancia. (Trabajo de titulación de doctorado en Ingeniería, énfasis en Ingeniería de alimentos). Universidad del Valle, Cali, Colombia. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/8821/1/TESIS%20Monica%20Ortiz-final.pdf>

Peña, E., Tolosa W., Reyes, H., Quintero, E., Jaramillo, A., Carabalí, A. (2014). Manejo técnico para el establecimiento de viveros de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth): Boletín Técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica. Palmira, Colombia.

Pino, P. (2013). Evaluación Del Proceso De Liofilización En Banana (Musa X Paradisiáca) Como Tecnología De Transformación Alimentaria. (Trabajo de titulación de Máster Internacional en Tecnología de los Alimentos). Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/2155/1/T-SENESCYT-01237.pdf>

Pinzón, Z., Zapata, H., y Ordóñez, S. (2015). Análisis de los parámetros de color en salchichas Frankfurt adicionadas con extracto oleoso de residuos de chontaduro (*Bactris gasipaes*). Información Tecnológica, 26(5), 45-54.

Ramírez, J. (2011). Liofilización de alimentos. Universidad del Valle. Cali, Colombia.:Edición ReCiTelA, V.6 n.2.

Rangel, M., 2004. Liofilización de guacamole. Puebla: Universidad de las Americas Puebla. Available at: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/)

Raoult-Wack A. L., Guilbert S., Le Maguer M. & Rios G. (1991). Simultaneous water and solute transport in shrinking media- Part 1. Application to dewatering and impregnation

soaking process analysis. *Drying Technology*, 9, 589-612.

Rastogi N., Raghavarao K., Niranjana K. Y Knorr D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer, *Trends in Food Science and Technology*, 13, 48-59.

Ratti, C. y Mujumdar, S. (1995). Infrared drying. In *Handbook of Industrial Drying*; Mujumdar, A.S., Ed.; Marcel Dekker: New York. 567–588.

Restrepo, O., Vinasco, L., y Estupiñán, J. (2012). Estudio comparativo del contenido de ácidos grasos en 4 variedades de chontaduro (*Bactris gasipaes*) de la región del pacífico colombiano. *Revista de Ciencias*, 16, 123-129.

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

Rodríguez, M. (2014). Efecto de los polioles en la nutrición y sus aplicaciones en la industria alimentaria (Trabajo de Grado). Universidad de Valladolid. España. Recuperado de: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/7179/TFG-M-N154.pdf;jsessionid=27B9D080F462B757EE508761BCBD0F67?sequence=1>

Rojas, C., Pérez, A., Bustos, J. y Vaillant F. (2011). Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes H.B.K.*) flour. *Food Research International*, 44, 2377-2384.

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 Process Engineering*, 49, 163-173.



Sadikoglu, H., Ozdemir, M. & Seker, M. (2006). Freeze drying of pharmaceutical products: Research and development needs. *Drying technology*, 24(7), pp.849-861.

Sharma, S., Mulvaney, S., Rizvie, S. (2003). *Ingeniería de Alimentos, Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio*. Editorial Limusa S.A. México. 348 p.

Shofian, N., Hamid, A., Osman, A., Saari, N., Anwar, F., Pak Dek, M., & Hairuddin, M. (2011). Effect of Freeze-Drying on the Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity of Selected Tropical Fruits. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(7), pp.4678-92.

Tafur, R., Toro, J., González, H., García, R., Reyes, E., Bolaños, A., Méndez A. (2006). Plan frutícola nacional: Diagnóstico y análisis de los recursos para la fruticultura en Colombia. Cali (Colombia). Recuperado de: [http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca\\_18\\_DIAGNOSTICO%20FRUTICOLA%20NACIONAL.pdf](http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_18_DIAGNOSTICO%20FRUTICOLA%20NACIONAL.pdf)

Tamayo, G. (2010). Estudio investigativo del chontaduro, análisis de sus propiedades, explotación y aplicación creativa en el ámbito culinario. Universidad tecnológica equinoccial. Quito (Ecuador). Recuperado de [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/11548/1/41397\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/11548/1/41397_1.pdf)

Thaiponga, K., Boonprakoba, U., Crosbyb, K., Cisneros-Zevallos, L., Hawkings, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 19, p. 669–675.

Torreggiani D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International* 26: 59-68.

Torreggiani, D. y Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: Chemical, physical and structural effects. doi: 10.1016/S0260-8774(00)00210-7, J. Food Eng., 49(2–3), 247–253.

Vargas, G., y Argüelles, J. (2000). Clasificación y caracterización de veinte razas de palma de chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.) de acuerdo con las propiedades fisicoquímicas y bromatológicas del fruto. Sinchi, 1, 1-19.

Vásquez, D.; Vélez, L.; Hincapié, G. (2014). Análisis de las propiedades nutricionales y funcionales de la guayaba seca. Ingeniería y Universidad, ISSN-2011-2769, 18 (1): 159–176.

Vega, H., Góngora, M., y Barbosa-Cánovas, G. (2001). Advances in dehydration of foods. Journal of Food Engineering, 49, 271-289.

Villachica, H. (1996). Frutales y Hortalizas promisorios de la Amazonía. Tratado de Cooperación amazónica TCA. Tratado pro tempore . Lima Perú. Pag 215-231.

Yuyama, L., Aguiar, J., Yuyama, C., Clement, S., Macedo, D., Favaro, ... Vannuncchi, H. (2003). Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in central Amazonia Brazil. International Journal of Food Science and Nutrition, 54(1), 49-56.

Wais, N. (2011). Secado Combinado De Frutas: Deshidratación Osmótica y Microondas (tesis doctoral). Universidad Nacional de la Plata, Argentina. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/38494>

Welti, J., Vergara, F., Pérez, E. & Reyes, A. (2005). Fundamentals and new tendencies of freeze-drying of foods. Universidad de las Américas. Segundo Simposio International de Innovación y Desarrollo de Alimentos.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1. Resultados OD con solución Maltitol al 50%

Tiempo de inmersión (h)	Maltitol					
	° Brix	Humedad (%BH)	Pérdida de peso (g masa perdido/g masa inicial)	Ganancia Solidos totales (fracción decimal)	Ganancia solidos solubles (fracción decimal)	Perdida de Agua (fracción decimal)
0	5	58,66	0	0,00	0,00	0,00
1	11	49,54	0,02	0,08	0,06	0,10
2	12	47,26	0,06	0,08	0,06	0,14
3	11	41,57	0,06	0,14	0,05	0,20

### Anexo 2. Resultados OD con solución fructosa al 50%

Tiempo de inmersión (h)	Fructosa 50%					
	° Brix	Humedad (%BH)	Pérdida de peso (g masa perdido/g masa inicial)	Ganancia Solidos totales (fracción decimal)	Ganancia solidos solubles (fracción decimal)	Perdida de Agua (fracción decimal)
0	5	58,66	0	0,00	0,00	0,00
1	12	50,92	0,03	0,06	0,07	0,09
2	12	47,66	0,06	0,08	0,06	0,14
3	15	43,81	0,06	0,11	0,09	0,17

**Anexo 3.** Resultados OD con solución Alulosa 25%/ Polidextrosa 25%

Tiempo de inmersión (h)	Alulosa/Polidextrosa (25/25)					
	° Brix	Humedad (%BH)	Pérdida de peso (g masa perdido/g masa inicial)	Ganancia Solidos totales (fracción decimal)	Ganancia solidos solubles (fracción decimal)	Perdida de Agua (fracción decimal)
0	5	58,66	0	0,000	0,000	0,000
1	7	51,98	0,03	0,052	0,018	0,082
2	9	49,96	0,06	0,057	0,035	0,117
3	10	47,72	0,07	0,073	0,043	0,143

**Anexo 4.** Resultados OD con solución Maltitol 60%

Tiempo de inmersión (h)	Maltitol 60%					
	° Brix	Humedad (%BH)	Pérdida de peso (g masa perdido/g masa inicial)	Ganancia Solidos totales (fracción decimal)	Ganancia solidos solubles (fracción decimal)	Perdida de Agua (fracción decimal)
0	5	58,66	0	0,00	0,00	0,00
1	10	42,22	0,08	0,12	0,04	0,20
2	13	40,56	0,05	0,15	0,07	0,20
3	18	40,21	0,02	0,17	0,13	0,19

**Anexo 5.** Resultados OD con solución Alulosa 60%

Tiempo de inmersión (h)	Alulosa 60%					
	° Brix	Humedad (%BH)	Pérdida de peso (g masa perdido/g masa inicial)	Ganancia Solidos totales (fracción decimal)	Ganancia solidos solubles (fracción decimal)	Perdida de Agua (fracción decimal)
0	5	58,66	0	0	0	0
1	15	39,7	0,09	0,13533	0,0865	0,22533
2	18	36,6	0,03	0,20158	0,1246	0,23158
3	20	37,35	0,08	0,16298	0,134	0,24298

## Anexo 6. ANOVA Fibra Dietaria

### ANOVA de un solo factor: Fibra dietaria (%bs) vs. Metodo de Secado

#### Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

#### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Metodo de Secado	3	1; 2; 3

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo de Secado	2	312,38	156,188	67,51	0,000
Error	6	13,88	2,314		
Total	8	326,26			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,52107	95,75%	94,33%	90,43%

#### Medias

Metodo de Secado	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	20,600	0,882	(18,451; 22,749)
2	3	7,960	1,706	(5,811; 10,109)
3	3	20,31	1,80	(18,16; 22,46)

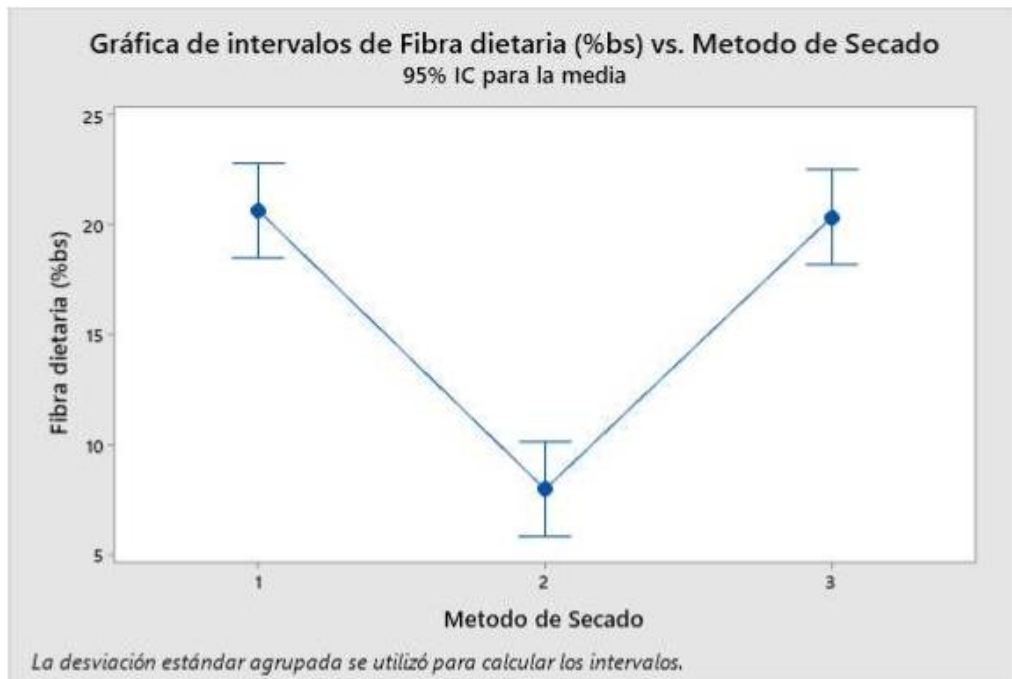
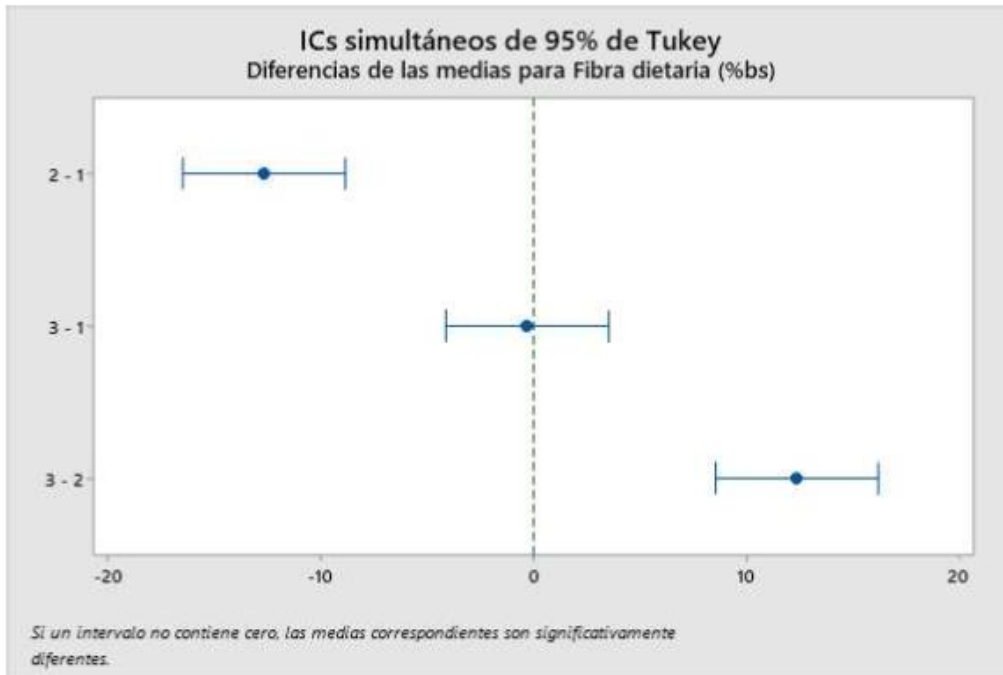
*Desv.Est. agrupada = 1,52107*

#### Comparaciones en parejas de Tukey

##### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo de Secado	N	Media	Agrupación
1	3	20,600	A
3	3	20,31	A
2	3	7,960	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*



## Anexo 7. ANOVA Vitamina A

### ANOVA de un solo factor: Vitamina A UI/ 100g vs. Metodo de Secado

#### Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

#### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Metodo de Secado	3	1; 2; 3

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo de Secado	2	57536,9	28768,5	284,28	0,000
Error	6	607,2	101,2		
Total	8	58144,1			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
10,0597	98,96%	98,61%	97,65%

#### Medias

Metodo de Secado	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	191,01	16,64	(176,80; 205,22)
2	3	5,460	1,274	(-8,752; 19,672)
3	3	43,95	5,01	(29,74; 58,16)

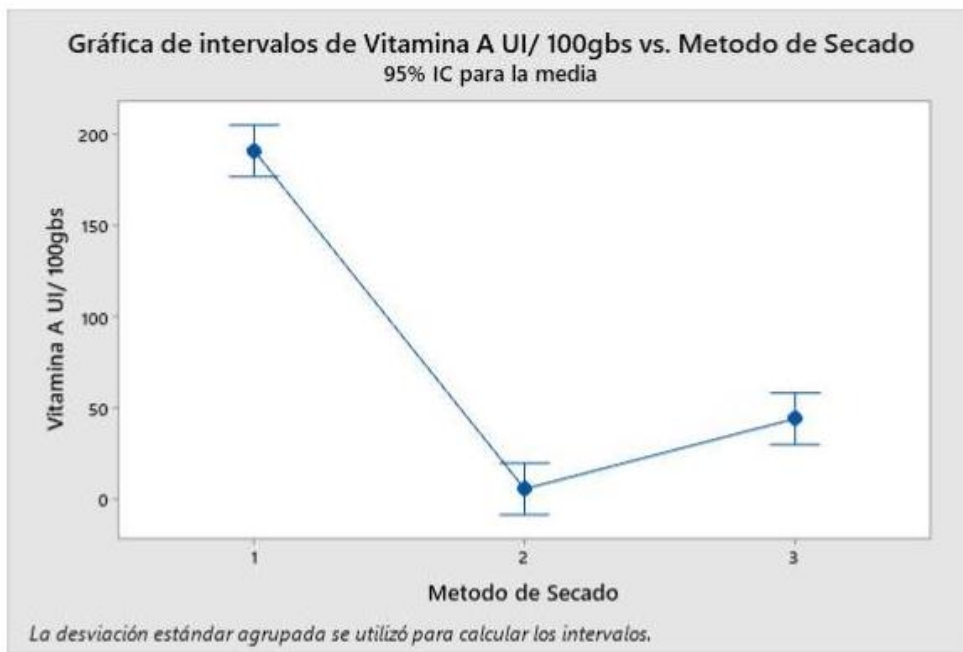
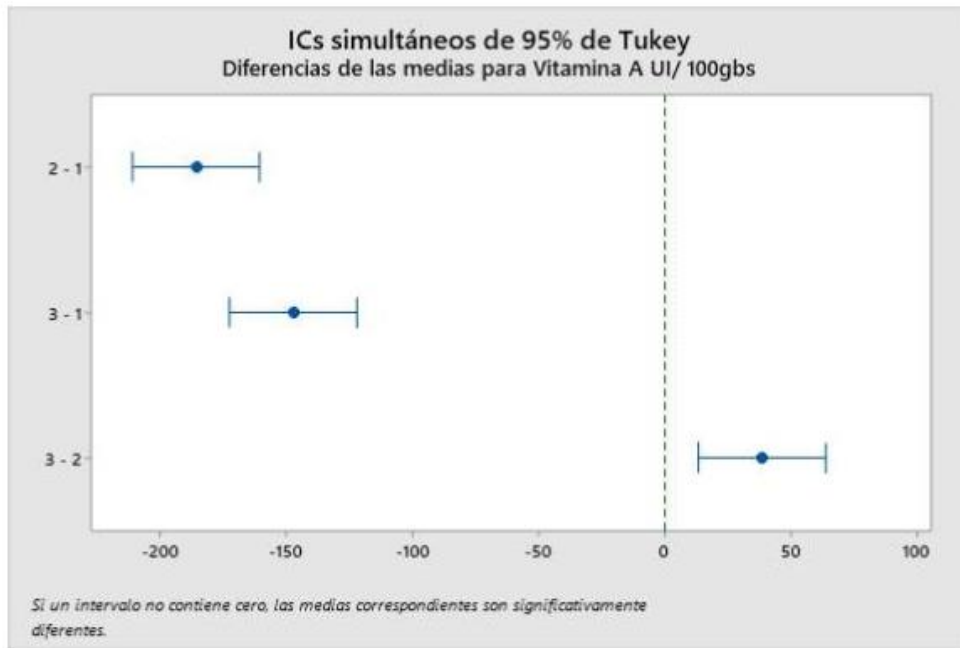
*Desv.Est. agrupada = 10,0597*

#### Comparaciones en parejas de Tukey

##### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo de Secado	N	Media	Agrupación
1	3	191,01	A
3	3	43,95	B
2	3	5,460	C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*





## Anexo 8. ANOVA Vitamina C

### ANOVA de un solo factor: Vitamina C mg/ 100g vs. Metodo de Secado

#### Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

#### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Metodo de Secado	3	1; 2; 3

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo de Secado	2	18,270	9,135	7,24	0,025
Error	6	7,573	1,262		
Total	8	25,843			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,12348	70,70%	60,93%	34,07%

#### Medias

Metodo de Secado	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	10,830	1,284	(9,243; 12,417)
2	3	9,090	0,842	(7,503; 10,677)
3	3	7,340	1,195	(5,753; 8,927)

*Desv.Est. agrupada = 1,12348*

#### Comparaciones en parejas de Tukey

##### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

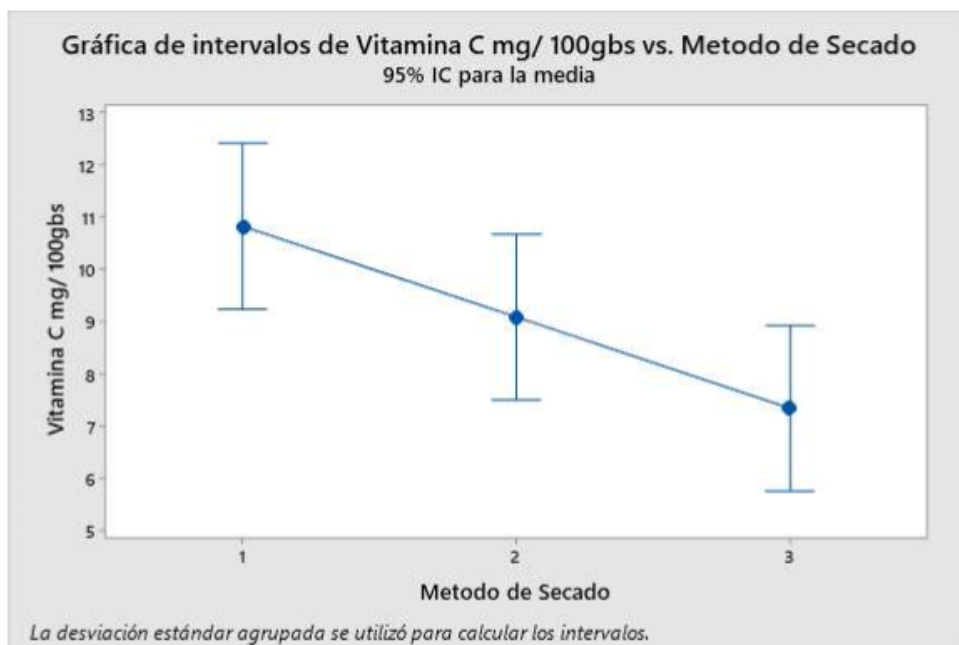
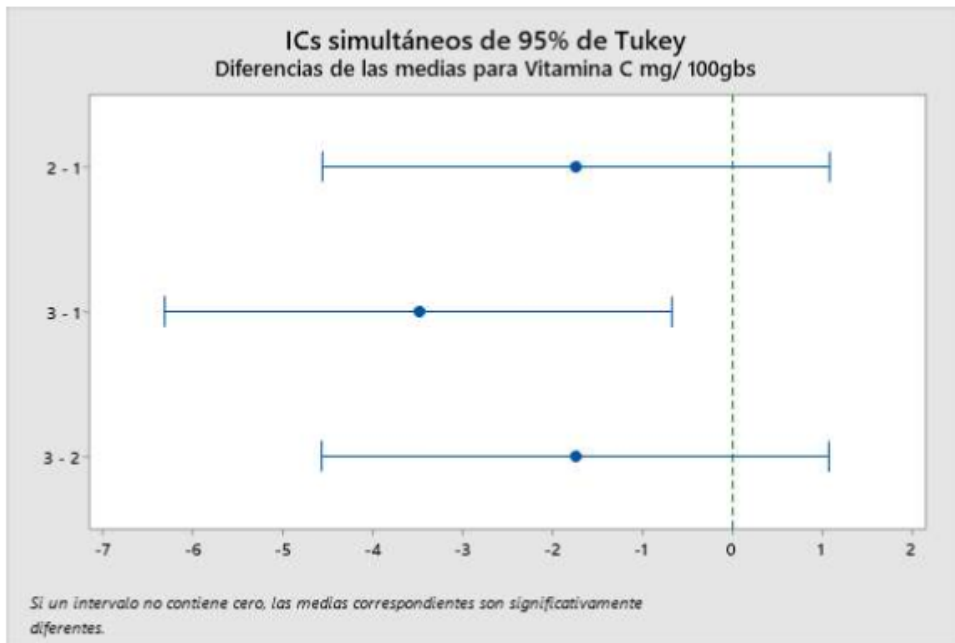
Metodo de Secado	N	Media	Agrupación
1	3	10,830	A
2	3	9,090	A B
3	3	7,340	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

##### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
2 - 1	-1,740	0,917	(-4,555; 1,075)	-1,90	0,220
3 - 1	-3,490	0,917	(-6,305; -0,675)	-3,80	0,021
3 - 2	-1,750	0,917	(-4,565; 1,065)	-1,91	0,217

Nivel de confianza individual = 97,80%



## Anexo 9. ANOVA Capacidad Antioxidante

### ANOVA de un solo factor: C. Antiox (umol Eq Trolox/g ) vs. Metodo de Secado

#### Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

#### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Metodo de Secado	3	1; 2; 3

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo de Secado	2	35030	17515	0,57	0,593
Error	6	183833	30639		
Total	8	218863			

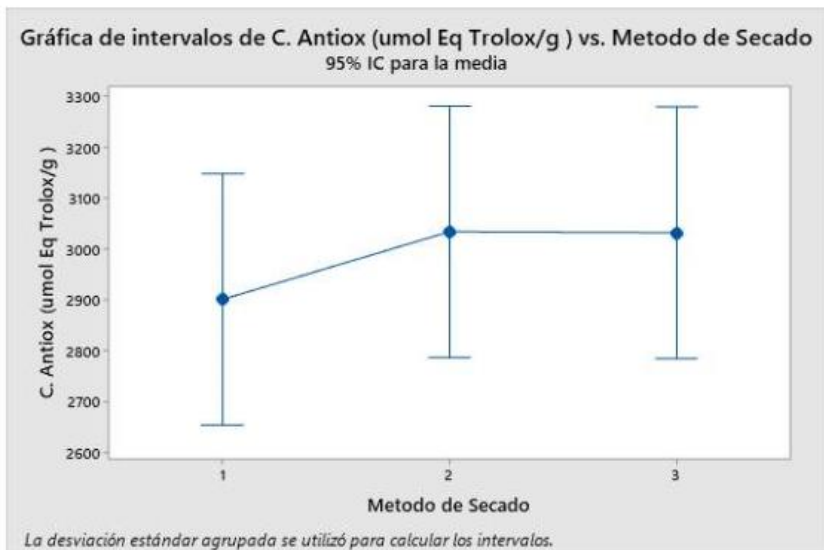
#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
175,040	16,01%	0,00%	0,00%

#### Medias

Metodo de Secado	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	2900,67	2,52	(2653,38; 3147,95)
2	3	3034	294	(2787; 3281)
3	3	3032,0	74,0	(2784,7; 3279,3)

*Desv.Est. agrupada = 175,040*



## Anexo 10. ANOVA Fuerza Máxima

### ANOVA de un solo factor: Fuerza Máxima (N) vs. Metodo de Secado

#### Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

#### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Metodo de Secado	3	1; 2; 3

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo de Secado	2	22250	11125	2,20	0,192
Error	6	30367	5061		
Total	8	52617			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
71,1418	42,29%	23,05%	0,00%

#### Medias

Metodo de Secado	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	112,60	12,90	(12,10; 213,10)
2	3	218,3	97,2	(117,8; 318,9)
3	3	217,8	74,6	(117,3; 318,3)

*Desv.Est. agrupada = 71,1418*

